

# DOCTORADO EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS MENCIÓN FÍSICA

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de  
Buenos Aires

Facultad de Ciencias Exactas

Departamento de Formación Docente

*Núcleo de Investigación en Educación  
en Ciencia y Tecnología (NIECyT)*

## TESIS DOCTORAL

**“Sistemas de referencia y enseñanza de las  
ciencias: el caso de los fenómenos  
astronómicos cotidianos”**

Diego Javier Galperin

Tandil, abril de 2016





**DOCTORADO EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS  
MENCIÓN FÍSICA**

**TESIS DOCTORAL**

“Sistemas de referencia y enseñanza de las ciencias:  
el caso de los fenómenos astronómicos cotidianos”

Tesis Doctoral realizada por el **Prof. Diego Javier Galperin** para optar por el título de Doctor en Enseñanza de las Ciencias, Mención Física, con la dirección del **Dr. Andrés Raviolo**.

Tandil, abril de 2016.



**DOCTORADO EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS  
MENCIÓN FÍSICA**

**TESIS DOCTORAL**

“Sistemas de referencia y enseñanza de las ciencias:  
el caso de los fenómenos astronómicos cotidianos”

Diego Javier Galperin

Director: Dr. Andrés Raviolo

A quienes todavía creemos  
que educar es una tarea posible  
y extremadamente fantástica.

A mis compañeros de ruta,  
del pasado como del presente.

A Matilde y Víctor,  
quienes me brindaron todo  
lo que tuvieron a su alcance.

A Mati, Maga y Anabel,  
por el amor  
y el acompañamiento  
de todos los días.

# Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, por la oportunidad brindada mediante la organización de este programa de doctorado y, especialmente, a su coordinadora, la Dra. María Rita Otero.

A la Universidad Nacional de Río Negro, por la beca de posgrado otorgada, la cual hizo posible la concreción de esta tesis y la inclusión de la didáctica de la astronomía como temática de desarrollo e investigación dentro de esta institución.

A mi director de tesis, el Dr. Andrés Raviolo, quien me guió en este nuevo camino de la investigación educativa brindándome todo su apoyo para el desarrollo de mis ideas y, a la vez, cuestionándome adecuadamente aquellas cuestiones que así lo requerían.

Al Instituto de Formación Docente Continua de El Bolsón, donde fueron gestadas muchas de las propuestas presentes en esta tesis a partir de la realización de actividades de enseñanza y divulgación de las ciencias durante los últimos quince años.

A la docente Ana Paula Rodríguez, de la Escuela 318 de El Bolsón, quien puso a disposición su grupo de clase para poder llevar a cabo la propuesta de enseñanza diseñada para esta tesis.

A los coordinadores del proyecto "Miradas al cielo", quienes han hecho propias muchas de mis ideas y las han potenciado a partir de ponerlas en práctica en los distintos niveles educativos.

A todos los alumnos de nivel medio que han integrado el Grupo Astronómico Osiris a lo largo de estos diez años de trabajo continuo en la zona de El Bolsón, quienes me han motivado en la búsqueda de estrategias innovadoras para la enseñanza de las ciencias, tanto en el ámbito formal como en el no formal.

A todos los docentes y alumnos de diferentes escuelas que han participado en actividades organizadas en el marco del proyecto "Miradas al cielo", con la convicción de que dicha participación ha sido realmente significativa.

A todos los docentes que a lo largo de mis diversas trayectorias educativas me han inspirado la pasión por la educación y me han dado esperanzas de que otra realidad educativa es posible.

A los docentes que hoy en día siguen estando al frente del aula, dando clases todos los días, intentando pese a todo.





# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1-1
<b>ABSTRACT</b> .....	1-3
<b>RÉSUMÉ</b> .....	1-5
<b>CAPÍTULO 1: .....INTRODUCCIÓN Y PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	1-7
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1-7
1.2. MOTIVACIÓN POR EL TEMA .....	1-7
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	1-9
1.4. LA IMPORTANCIA DE ESTUDIAR ASTRONOMÍA TOPOCÉNTRICA EN LA ESCUELA .....	1-11
1.5. INTERÉS DEL TEMA PARA LA INVESTIGACIÓN EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS .....	1-13
1.6. OBJETIVOS .....	1-15
1.7. PREGUNTAS DE LA INVESTIGACIÓN .....	1-15
1.8. PRESENTACIÓN SINTÉTICA DE LA TESIS .....	1-16
<b>CAPÍTULO 2: .....FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	2-19
2.1. INTRODUCCIÓN .....	2-19
2.2. FUNDAMENTOS COGNITIVOS .....	2-19
2.2.1. REPRESENTACIONES INTERNAS Y EXTERNAS .....	2-20
2.2.2. EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE AUSUBEL .....	2-21
2.2.3. LOS MODELOS MENTALES DE JOHNSON-LAIRD .....	2-23
2.2.4. LOS MODELOS CONCEPTUALES .....	2-25
2.2.5. LA MODULARIDAD DE KARMILOFF SMITH .....	2-27
2.2.6. LA TEORÍA DE LOS CAMPOS CONCEPTUALES DE VERGNAUD .....	2-31
2.3. FUNDAMENTOS EPISTEMOLÓGICOS .....	2-37
2.3.1. TEORÍAS, MODELOS Y MODELIZACIÓN EN CIENCIAS .....	2-37
2.3.2. LAS CORRESPONDENCIAS ENTRE MODELO Y REALIDAD .....	2-39
2.3.3. MODELOS Y ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS .....	2-40
2.3.4. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS .....	2-41
2.4. FUNDAMENTOS DIDÁCTICOS .....	2-42
2.4.1. LA TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA .....	2-43
2.4.2. IMPLICANCIAS EMOCIONALES EN EL PROCESO DE RECONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO .....	2-46
2.4.3. LA ENSEÑANZA BASADA EN MODELOS .....	2-48
2.5. FUNDAMENTOS DISCIPLINARES .....	2-51
2.5.1. LA ELECCIÓN DEL SISTEMA DE REFERENCIA .....	2-52
2.5.2. SISTEMAS DE REFERENCIA ASTRONÓMICOS .....	2-53
2.5.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS DISTINTOS SISTEMAS DE REFERENCIA ASTRONÓMICOS .....	2-56
2.5.3.1. SISTEMA HORIZONTAL O ALTACIMUTAL .....	2-56
2.5.3.2. SISTEMA ECUATORIAL HORARIO .....	2-57
2.5.3.3. SISTEMA ECUATORIAL ABSOLUTO .....	2-58
2.5.3.4. SISTEMA ECLÍPTICO .....	2-59
2.5.3.5. SISTEMA HELIOCÉNTRICO .....	2-60

2.5.4. LA ELECCIÓN DE UN DETERMINADO SISTEMA DE REFERENCIA ASTRONÓMICO .....	2-60
2.5.5. UN EJEMPLO ASTRONÓMICO DE ELECCIÓN DEL SISTEMA DE REFERENCIA .....	2-61
2.5.5.1. SISTEMA DE REFERENCIA INERCIAL CENTRADO EN LA TIERRA (SIN ROTACIÓN) ..	2-62
2.5.5.2. SISTEMA DE REFERENCIA NO INERCIAL CENTRADO EN LA TIERRA (CON ROTACIÓN) .....	2-63
2.5.6. LA MEDICIÓN DEL TIEMPO .....	2-64
2.5.7. LOS FENÓMENOS ASTRONÓMICOS COTIDIANOS EXPLICADOS EN FORMA TOPOCÉNTRICA .....	2-65
2.5.8. MOVIMIENTO DIARIO DEL SOL: EL DÍA Y LA NOCHE .....	2-66
2.5.9. CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO DIARIO DEL SOL .....	2-68
2.5.10. MOVIMIENTO ANUAL DEL SOL: LAS ESTACIONES DEL AÑO .....	2-70
2.5.11. CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO ANUAL DEL SOL .....	2-73
2.5.12. MOVIMIENTO PROPIO DE LA LUNA EN EL CIELO: LAS FASES LUNARES .....	2-79
2.6. UN MODELO TOPOCÉNTRICO PARA LA ENSEÑANZA DE LA ASTRONOMÍA .....	2-83

**CAPÍTULO 3: .....METODOLOGÍA**  
..... 3-85

3.1. INTRODUCCIÓN .....	3-85
3.2. LA INVESTIGACIÓN CUALITATIVA EN EDUCACIÓN .....	3-85
3.3. LA INVESTIGACIÓN-ACCIÓN EN EL ÁMBITO EDUCATIVO .....	3-87
3.4. LA INVESTIGACIÓN-ACCIÓN EN EL MARCO DE ESTA INVESTIGACIÓN .....	3-90
3.5. FASES DE LA INVESTIGACIÓN .....	3-91

**CAPÍTULO 4: .....REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE EL APRENDIZAJE Y LA ENSEÑANZA DE LOS FENÓMENOS ASTRONÓMICOS COTIDIANOS.....** 4-97

4.1. INTRODUCCIÓN .....	4-97
4.2. CONCEPCIONES DETECTADAS EN ALUMNOS Y DOCENTES .....	4-97
4.2.1. ENFOQUES DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL CONOCIMIENTO DE ALUMNOS Y DOCENTES .....	4-97
4.2.2. LA FORMA DE LA TIERRA .....	4-98
4.2.3. EL DÍA Y LA NOCHE .....	4-101
4.2.4. LAS ESTACIONES DEL AÑO .....	4-107
4.2.5. LAS FASES DE LA LUNA .....	4-113
4.2.6. CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN SOBRE CONCEPCIONES .....	4-118
4.3. PROPUESTAS DE ENSEÑANZA ACERCA DE LOS FENÓMENOS ASTRONÓMICOS COTIDIANOS .....	4-123
4.3.1. DIFICULTADES QUE CARACTERIZAN LA ENSEÑANZA DE LA ASTRONOMÍA .....	4-125
4.3.2. SUPERACIÓN DE ALGUNAS DIFICULTADES: LA OBSERVACIÓN A SIMPLE VISTA DEL CIELO .....	4-126
4.3.3. PROPUESTAS DE ENSEÑANZA QUE INCLUYEN LA OBSERVACIÓN DEL CIELO .....	4-128
4.3.4. ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS PARA EL DISEÑO DE PROPUESTAS DE ENSEÑANZA .....	4-131
4.3.5. ESTRATEGIAS RELACIONADAS CON EL DESARROLLO DE HABILIDADES MENTALES ..	4-134
4.4. SISTEMAS DE REFERENCIA EN LA ENSEÑANZA DE LA ASTRONOMÍA .....	4-136
4.5. CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	4-140

**CAPÍTULO 5: .....RESULTADOS PRELIMINARES**  
..... 5-143

5.1. INTRODUCCIÓN .....	5-143
5.2. SISTEMAS DE REFERENCIA EN LA ENSEÑANZA DE LA ASTRONOMÍA .....	5-143
5.2.1. SISTEMAS DE REFERENCIA ASTRONÓMICOS .....	5-144

5.2.2. METODOLOGÍA .....	5-145
5.2.3. FRASES QUE IDENTIFICAN SISTEMAS DE REFERENCIAS .....	5-145
5.2.4. RESULTADOS .....	5-148
5.2.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	5-153
5.2.6. CONCLUSIONES SOBRE EL USO DE LOS SISTEMAS DE REFERENCIA ASTRONÓMICOS.....	5-154
5.2.7. CONCLUSIONES RELACIONADAS CON EL TEMA DE INVESTIGACIÓN .....	5-155
5.3. LA ASTRONOMÍA EN LOS LIBROS ESCOLARES .....	5-156
5.3.1. LAS IMÁGENES EN LOS LIBROS .....	5-156
5.3.2. IMÁGENES EXTERNAS Y REPRESENTACIONES INTERNAS .....	5-158
5.3.3. CONCEPCIONES SOBRE LAS CAUSAS DE LOS FENÓMENOS ASTRONÓMICOS COTIDIANOS .....	5-159
5.3.4. METODOLOGÍA .....	5-161
5.3.5. ANÁLISIS DE IMÁGENES SOBRE EL DÍA Y LA NOCHE Y EL MOVIMIENTO DIARIO DEL SOL .....	5-164
5.3.6. ANÁLISIS DE IMÁGENES SOBRE ESTACIONES Y EL MOVIMIENTO ANUAL DEL SOL ...	5-166
5.3.7. ANÁLISIS DE IMÁGENES SOBRE FASES DE LA LUNA Y MOVIMIENTO PROPIO EN EL CIELO .....	5-168
5.3.8. CONCLUSIONES SOBRE LAS IMÁGENES PRESENTES EN LOS LIBROS DE TEXTO .....	5-170
5.3.9. CONCLUSIONES RELACIONADAS CON EL TEMA DE INVESTIGACIÓN .....	5-171
5.4. CONCEPCIONES DE ALUMNOS Y DOCENTES DE LA ZONA SOBRE EL DÍA Y LA NOCHE	5-172
5.4.1. INTRODUCCIÓN .....	5-172
5.4.2. CONCEPCIONES MÁS COMUNES DETECTADAS EN ALUMNOS Y DOCENTES .....	5-172
5.4.3. SISTEMAS DE REFERENCIA ASTRONÓMICOS: DOS EXPLICACIONES DEL DÍA Y LA NOCHE .....	5-173
5.4.4. METODOLOGÍA .....	5-174
5.4.5. RESULTADOS .....	5-175
5.4.6. DISCUSIÓN .....	5-183
5.4.7. CONCLUSIONES SOBRE LAS CONCEPCIONES DETECTADAS SOBRE EL DÍA Y LA NOCHE .....	5-184
5.4.8. CONCLUSIONES RELACIONADAS CON EL TEMA DE INVESTIGACIÓN .....	5-185

**CAPÍTULO 6: .....LA ESTRUCTURA CONCEPTUAL PROPUESTA PARA ENSEÑAR  
ACERCA DE LOS FENÓMENOS ASTRONÓMICOS COTIDIANOS EN LOS ÚLTIMOS  
AÑOS DE LA ESCUELA PRIMARIA.....** 6-187

6.1. INTRODUCCIÓN .....	6-187
6.2. PROPÓSITOS .....	6-187
6.3. CONTENIDOS .....	6-188
6.4. CONCEPTOS Y PRINCIPIOS CLAVE .....	6-188
6.5. LA SECUENCIA .....	6-191
6.5.1. SITUACIÓN 1: "PENSANDO ACERCA DE DÍA/NOCHE, ESTACIONES Y FASES LUNA- RES" .....	6-191
6.5.2. SITUACIÓN 2: "REFLEXIONANDO SOBRE LA RELATIVIDAD DEL MOVIMIENTO" .....	6-192
6.5.3. SITUACIÓN 3: "SIMULANDO EL MOVIMIENTO DIARIO DEL SOL MEDIANTE STELLA- RIUM" .....	6-195
6.5.4. SITUACIÓN 4: "REPRESENTACIÓN DEL MOVIMIENTO DIARIO DEL SOL EN UNA MA- QUETA Y EXPLICACIÓN DEL DÍA Y LA NOCHE" .....	6-197
6.5.5. SITUACIÓN 5: "SIMULANDO EL MOVIMIENTO ANUAL DEL SOL MEDIANTE STELLARIUM" .....	6-200
6.5.6. SITUACIÓN 6: "REPRESENTACIÓN DEL MOVIMIENTO ANUAL DEL SOL EN UNA MAQUETA Y EXPLICACIÓN DE LAS ESTACIONES DEL AÑO" .....	6-202

6.5.7. SITUACIÓN 7: "SIMULANDO EL MOVIMIENTO DIARIO DE LA LUNA MEDIANTE STELLARIUM" .....	6-206
6.5.8. SITUACIÓN 8: "SIMULANDO EL MOVIMIENTO PROPIO DE LA LUNA MEDIANTE STELLARIUM" .....	6-207
6.5.9. SITUACIÓN 9: "REPRESENTACIÓN DEL MOVIMIENTO PROPIO DE LA LUNA Y EXPLICACIÓN DE LAS FASES LUNARES" .....	6-209
6.5.10. SITUACIÓN 10: "PONIENDO EN ACCIÓN LOS CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS SOBRE EL DÍA Y LA NOCHE, LAS ESTACIONES Y LAS FASES LUNARES" .....	6-215
6.6. REFLEXIONES FINALES ACERCA DE LA ECPE .....	6-219

**CAPÍTULO 7: ..... LA ESTRUCTURA CONCEPTUAL EFECTIVAMENTE RECONSTRUIDA..... 7-221**

7.1. INTRODUCCIÓN .....	7-221
7.2. EL ÁMBITO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA .....	7-221
7.3. ANÁLISIS DE LA PROPUESTA Y DEL PROCESO DE CONCEPTUALIZACIÓN .....	7-221
7.3.1. SITUACIÓN 1: "PENSANDO ACERCA DE DÍA/NOCHE, ESTACIONES Y FASES LUNARES".....	7-224
7.3.1.1. LAS CAUSAS DEL DÍA Y LA NOCHE ....	7-225
7.3.1.2. LAS CAUSAS DE LAS ESTACIONES .....	7-227
7.3.1.3. LAS CAUSAS DE LAS FASES LUNARES .....	7-232
7.3.2. SITUACIÓN 2: "REFLEXIONANDO SOBRE LA RELATIVIDAD DEL MOVIMIENTO" .....	7-236
7.3.3. SITUACIÓN 3: "SIMULANDO EL MOVIMIENTO DIARIO DEL SOL MEDIANTE STELLARIUM" .....	7-241
7.3.4. SITUACIÓN 4: "REPRESENTACIÓN DEL MOVIMIENTO DIARIO DEL SOL EN UNA MAQUETA Y EXPLICACIÓN DEL DÍA Y LA NOCHE" .....	7-245
7.3.5. SITUACIÓN 5: "SIMULANDO EL MOVIMIENTO ANUAL DEL SOL MEDIANTE STELLARIUM" .....	7-249
7.3.6. SITUACIÓN 6: "REPRESENTACIÓN DEL MOVIMIENTO ANUAL DEL SOL EN UNA MAQUETA Y EXPLICACIÓN DE LAS ESTACIONES DEL AÑO" .....	7-252
7.3.7. SITUACIÓN 7: "SIMULANDO EL MOVIMIENTO DIARIO DE LA LUNA MEDIANTE STELLARIUM" .....	7-255
7.3.8. SITUACIÓN 8: "SIMULANDO EL MOVIMIENTO PROPIO DE LA LUNA MEDIANTE STELLARIUM" .....	7-259
7.3.9. SITUACIÓN 9: "REPRESENTACIÓN DEL MOVIMIENTO PROPIO DE LA LUNA Y EXPLICACIÓN DE LAS FASES LUNARES" .....	7-269
7.3.10. SITUACIÓN 10: " PONIENDO EN ACCIÓN LOS CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS SOBRE EL DÍA Y LA NOCHE, LAS ESTACIONES Y LAS FASES LUNARES" .....	7-277
7.3.10.1. EXPLICANDO EL DÍA Y LA NOCHE EN FORMA GRUPAL .....	7-277
7.3.10.2. EXPLICANDO LAS ESTACIONES DEL AÑO EN FORMA GRUPAL .....	7-281
7.3.10.3. EXPLICANDO LAS FASES DE LA LUNA EN FORMA GRUPAL .....	7-285
7.3.10.4. EVOLUCIÓN INDIVIDUAL DE LOS CONOCIMIENTOS EN RELACIÓN AL DÍA Y LA NOCHE .....	7-290
7.3.10.5. EVOLUCIÓN INDIVIDUAL DE LOS CONOCIMIENTOS EN RELACIÓN A LAS ESTACIONES .....	7-292
7.3.10.6. EVOLUCIÓN INDIVIDUAL DE LOS CONOCIMIENTOS EN RELACIÓN A LAS FASES ..	7-295
7.3.10.7. ANÁLISIS DEL NIVEL DE EVOLUCIÓN CONCEPTUAL DEL GRUPO DE CLASE .....	7-298
7.4. ANÁLISIS DEL PROCESO DE CONCEPTUALIZACIÓN A PARTIR DE ENTREVISTAS INDIVIDUALES .....	7-305
7.4.1. EVOLUCIÓN CONCEPTUAL SOBRE EL DÍA Y LA NOCHE Y EL MOVIMIENTO DIARIO DEL SOL .....	7-306

7.4.2. EVOLUCIÓN CONCEPTUAL SOBRE LAS ESTACIONES Y EL MOVIMIENTO ANUAL DEL SOL .....	7-310
7.4.3. EVOLUCIÓN CONCEPTUAL SOBRE LAS FASES Y EL MOVIMIENTO PROPIO DE LA LUNA .....	7-314
7.4.4. ANÁLISIS DEL PROCESO DE CONCEPTUALIZACIÓN .....	7-319
7.4.5. EVOLUCIÓN DEL CONOCIMIENTO PUESTO EN ACCIÓN POR LOS ESTUDIANTES .....	7-322
7.4.6. ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL PROCESO DE CONCEPTUALIZACIÓN .....	7-323

**CAPÍTULO 8: .....CONCLUSIONES E IMPLICACIONES**  
..... 8-327

8.1. INTRODUCCIÓN .....	8-327
8.2. LA ETAPA PRELIMINAR AL DISEÑO DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA .....	8-327
8.3. EL DISEÑO Y LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA .....	8-329
8.4. CONCLUSIONES DEL PROCESO DE CONCEPTUALIZACIÓN .....	8-330
8.5. LOGROS Y DIFICULTADES RELACIONADOS CON LA CONCEPTUALIZACIÓN .....	8-333
8.6. REFLEXIONES FINALES .....	8-334
8.7. PROYECCIONES FUTURAS .....	8-336

**CAPÍTULO 9: .....REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**  
..... 9-337

**ANEXO ..... 10-357**

10.1. TRANSFORMACIONES ENTRE SISTEMAS DE COORDENADAS .....	10-357
10.1.1. LA PARALAJE .....	10-357
10.1.2. TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS TOPOCÉNTRICAS A GEOCÉNTRICAS .....	10-359
10.1.3. TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS GEOCÉNTRICAS A HELIOCÉNTRICAS ....	10-360
10.2. EXPLICACIÓN HELIOCÉNTRICA DE LOS FENÓMENOS ASTRONÓMICOS COTIDIA- NOS .....	10-361
10.2.1. ROTACIÓN DE LA TIERRA: EL DÍA Y LA NOCHE .....	10-361
10.2.2. TRASLACIÓN DE LA TIERRA E INCLINACIÓN DEL EJE: ESTACIONES DEL AÑO .....	10-364
10.2.3. MOVIMIENTO DE REVOLUCIÓN DE LA LUNA: LAS FASES LUNARES .....	10-366
10.3. DEFINICIONES ASTRONÓMICAS DE TIEMPO Y SUS CORRECCIONES .....	10-368
10.3.1. EL TIEMPO SIDÉREO .....	10-368
10.3.2. EL TIEMPO SOLAR .....	10-368
10.3.3. TIEMPOS CIVIL, OFICIAL Y UNIVERSAL .....	10-369
10.3.4. TIEMPO DE EFEMÉRIDES .....	10-370
10.4. CÁLCULO CUANTITATIVO TOPOCÉNTRICO DE LA POSICIÓN DEL SOL .....	10-372
10.4.1. EJEMPLO DE CÁLCULO CUANTITATIVO DE LA POSICIÓN TOPOCÉNTRICA DEL SOL .....	10-373
10.4.2. ASPECTOS CUANTITATIVOS ADICIONALES DEL MOVIMIENTO ANUAL DEL SOL EN EL CIELO .....	10-376
10.5. CÁLCULO CUANTITATIVO DE LA POSICIÓN DE LA LUNA .....	10-378
10.6. SISTEMAS DE REFERENCIA EN LA ENSEÑANZA DE LA ASTRONOMÍA .....	10-383
10.7. GUÍA DE ACTIVIDADES DE OBSERVACIÓN DEL CIELO .....	10-393
10.7.1. MOVIMIENTO DEL SOL DURANTE SU SALIDA Y PUESTA .....	10-393

10.7.2. EL MOVIMIENTO DE LAS ESTRELLAS EN EL CIELO .....	10-394
10.7.3. CAMBIOS ANUALES EN LA SALIDA Y PUESTA DEL SOL .....	10-395
10.7.4. EL MEDIODÍA SOLAR Y LA LÍNEA NORTE-SUR .....	10-396
10.7.5. MOVIMIENTO PROPIO DE LA LUNA .....	10-397
10.8. MATERIAL INFORMATIVO PARA LOS ALUMNOS SOBRE DÍA/NOCHE Y ESTACIONES	10-398
10.9. REGISTROS DE OBSERVACIONES DEL CIELO .....	10-399
10.10. MATERIAL INFORMATIVO PARA LOS ALUMNOS SOBRE LAS FASES LUNARES .....	10-401
10.11. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS RESPUESTAS DE LOS ALUMNOS .....	10-403

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 2-1:</b> EL APRENDIZAJE A TRAVÉS DE MODELOS INTERMEDIARIOS	2-49
<b>FIGURA 2-2:</b> MODELO DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE MODELOS	2-50
<b>FIGURA 2-3:</b> ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA ESFERA CELESTE .....	2-55
<b>FIGURA 2-4:</b> COORDENADAS DE UN ASTRO EN LA ESFERA CELESTE .....	2-55
<b>FIGURA 2-5:</b> COORDENADAS HORIZONTALES DE UN ASTRO .....	2-56
<b>FIGURA 2-6:</b> COORDENADAS HORARIAS DE UN ASTRO .....	2-57
<b>FIGURA 2-7:</b> COORDENADAS ABSOLUTAS DE UN ASTRO .....	2-58
<b>FIGURA 2-8:</b> COORDENADAS ECLÍPTICAS DE UN ASTRO .....	2-59
<b>FIGURA 2-9:</b> MOVIMIENTO DIARIO DE LA CRUZ DEL SUR EN EL CIELO .....	2-62
<b>FIGURA 2-10:</b> MODELO DE UNIVERSO DE LAS DOS ESFERAS .....	2-63
<b>FIGURA 2-11:</b> MOVIMIENTOS DE PRECESIÓN Y NUTACIÓN .....	2-65
<b>FIGURA 2-12:</b> MOVIMIENTO DIARIO DEL SOL EN EL BOLSÓN .....	2-67
<b>FIGURA 2-13:</b> ECUACIÓN DEL TIEMPO .....	2-69
<b>FIGURA 2-14:</b> SISTEMA DE HUSOS HORARIOS .....	2-70
<b>FIGURA 2-15:</b> CAMBIOS ANUALES EN EL ARCO SOLAR (HEMISF. SUR) .....	2-71
<b>FIGURA 2-16:</b> MOVIMIENTO ANUAL DEL SOL (HEMISF. NORTE) .....	2-72
<b>FIGURA 2-17:</b> "VISTA" ANUAL DE GRAN BRETAÑA DESDE EL SOL .....	2-72
<b>FIGURA 2-18:</b> ANALOGÍA ENTRE LA INCLINACIÓN DE UNA LINTERNA Y LA INCIDENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR .....	2-73
<b>FIGURA 2-19:</b> DESPLAZAMIENTO ANUAL DEL SOL POR LA ECLÍPTICA .....	2-74
<b>FIGURA 2-20:</b> MOVIMIENTO DEL SOL EN LA ESFERA CELESTE .....	2-75
<b>FIGURA 2-21:</b> REPRESENTACIÓN DEL MOVIMIENTO ANUAL DEL SOL EN- TRE LOS TRÓPICOS .....	2-76
<b>FIGURA 2-22:</b> MEDICIÓN DE LA ALTURA DEL SOL EN EL MEDIODÍA SOLAR	2-77
<b>FIGURA 2-23:</b> RELOJ DE SOL ECUATORIAL .....	2-78
<b>FIGURA 2-24:</b> EXPLICACIÓN DE LAS FASES DE LA LUNA .....	2-80
<b>FIGURA 2-25:</b> ESQUEMA EXPLICATIVO TOPOCÉNTRICO DE LAS FASES CRECIENTES DE LA LUNA (HEMISFERIO SUR) .....	2-81
<b>FIGURA 2-26:</b> ESQUEMA EXPLICATIVO TOPOCÉNTRICO DE LAS FASES MENGUANTES DE LA LUNA (HEMISFERIO SUR) .....	2-81
<b>FIGURA 4-1:</b> MODELOS DETECTADOS SOBRE LA FORMA DE LA TIERRA ...	4-100
<b>FIGURA 4-2:</b> MODELOS CIENTÍFICAMENTE INAPROPIADOS SOBRE EL DÍA Y LA NOCHE (ALUMNOS Y DOCENTES) .....	4-104
<b>FIGURA 4-3:</b> IMAGEN DE LIBRO QUE ASOCIA LA NOCHE CON LA LUNA .....	4-105
<b>FIGURA 4-4:</b> PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE MODELOS Y CREENCIAS SOBRE EL DÍA Y LA NOCHE EN NIÑOS .....	4-106
<b>FIGURA 4-5:</b> RESTRICCIONES EN LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS Y CREENCIAS SOBRE EL DÍA Y LA NOCHE EN NIÑOS .....	4-107
<b>FIGURA 4-6:</b> MODELOS DE ALUMNOS Y DOCENTES PARA EXPLICAR LAS ESTACIONES DEL AÑO POR LA VARIACIÓN DE LA DISTANCIA AL SOL .....	4-108
<b>FIGURA 4-7:</b> MODELOS DE ALUMNOS Y DOCENTES PARA EXPLICAR LAS ESTACIONES DEL AÑO SIN VARIAR LA DISTANCIA AL SOL .....	4-108
<b>FIGURA 4-8:</b> MODELO DE ECLIPSE PARA EXPLICAR FASES DE LA LUNA ...	4-113
<b>FIGURA 4-9:</b> EXPLICACIÓN HELIOCÉNTRICA DE LAS FASES LUNARES .....	4-117
<b>FIGURA 4-10:</b> CATEGORIZACIÓN DE LOS MODELOS MENTALES .....	4-119
<b>FIGURA 4-11:</b> PROPUESTA DE APRENDIZAJE SOBRE EL DÍA Y LA NOCHE Y LAS ESTACIONES DEL AÑO .....	4-129

<b>FIGURA 5-1:</b> TIPOS DE ARTÍCULOS ANALIZADOS .....	5-148
<b>FIGURA 5-2:</b> ARTÍCULOS CLASIFICADOS POR DÉCADA .....	5-148
<b>FIGURA 5-3:</b> ARTÍCULOS CLASIFICADOS POR SISTEMA DE REFERENCIA .	5-149
<b>FIGURA 5-4:</b> ARTÍCULOS POR CATEGORÍA Y NIVEL EDUCATIVO .....	5-149
<b>FIGURA 5-5:</b> ARTÍCULOS DE NIVEL PRIMARIO POR CATEGORÍA .....	5-150
<b>FIGURA 5-6:</b> ARTÍCULOS CLASIFICADOS COMO HELIOCÉNTRICOS .....	5-150
<b>FIGURA 5-7:</b> ARTÍCULOS EN LA CATEGORÍA DUAL .....	5-151
<b>FIGURA 5-8:</b> ARTÍCULOS CLASIFICADOS COMO TERRESTRES .....	5-151
<b>FIGURA 5-9:</b> ARTÍCULOS CON PROPUESTAS DIDÁCTICAS .....	5-152
<b>FIGURA 5-10:</b> ARTÍCULOS QUE RELEVAN CONCEPCIONES .....	5-152
<b>FIGURA 5-11:</b> ARTÍCULOS QUE ANALIZAN MATERIALES CURRICULARES ..	5-153
<b>FIGURA 5-12:</b> ARTÍCULOS CLASIFICADOS POR DÉCADA Y CATEGORÍA .....	5-153
<b>FIGURA 5-13:</b> IMÁGENES DE LIBROS CON ERRORES CONCEPTUALES .....	5-162
<b>FIGURA 5-14:</b> IMÁGENES DE LIBROS CON ERRORES DIDÁCTICOS .....	5-163
<b>FIGURA 5-15:</b> IMÁGENES CON ERRORES DIDÁCTICOS DEBIDO A QUE RE-	
QUIEREN HABILIDADES DE ORIENTACIÓN ESPACIAL .....	5-164
<b>FIGURA 5-16:</b> PORCENTAJE LIBROS CON ERRORES SOBRE DÍA Y NOCHE	5-165
<b>FIGURA 5-17:</b> EJEMPLO DE IMAGEN CON ERRORES SOBRE DÍA/NOCHE ...	5-166
<b>FIGURA 5-18:</b> PORCENTAJE LIBROS CON ERRORES SOBRE ESTACIONES	5-166
<b>FIGURA 5-19:</b> EJEMPLO DE IMAGEN CON ERRORES SOBRE ESTACIONES	5-168
<b>FIGURA 5-20:</b> PORCENTAJE DE LIBROS CON ERRORES SOBRE FASES.....	5-169
<b>FIGURA 5-21:</b> EJEMPLO DE IMAGEN CON ERRORES SOBRE FASES .....	5-170
<b>FIGURA 5-22:</b> REPRESENTACIONES HELIOCÉNTRICAS CIENTÍFICAMENTE	
APROPIADAS .....	5-177
<b>FIGURA 5-23:</b> REPRESENTACIONES TOPOCÉNTRICAS CIENTÍFICAMENTE	
APROPIADAS .....	5-178
<b>FIGURA 5-24:</b> DIBUJO DEL MOVIMIENTO DIARIO DEL SOL .....	5-179
<b>FIGURA 5-25:</b> MODELOS HELIOCÉNTRICOS CIENTÍFICAMENTE INAPRO-	
PIADOS .....	5-180
<b>FIGURA 5-26:</b> REPRESENTACIONES HELIOCÉNTRICAS CIENTÍFICAMENTE	
INAPROPIADAS .....	5-181
<b>FIGURA 5-27:</b> REPRESENTACIONES TOPOCÉNTRICAS CIENTÍFICAMENTE	
INAPROPIADAS .....	5-183
<b>FIGURA 6-1:</b> RED CONCEPTUAL CON LOS CONCEPTOS CLAVE	
GENERALES DE LA ECPE .....	6-189
<b>FIGURA 6-2:</b> RED CONCEPTUAL CON LOS CONCEPTOS CLAVE DE LA	
ECPE .....	6-190
<b>FIGURA 6-3:</b> IMÁGENES DE LA SALIDA Y LA PUESTA DEL SOL USANDO EL	
PROGRAMA STELLARIUM .....	6-196
<b>FIGURA 6-4:</b> REPRESENTACIÓN DEL MOVIMIENTO DIARIO DEL SOL .....	6-197
<b>FIGURA 6-5:</b> REPRESENTACIÓN DEL MOVIMIENTO ANUAL DEL SOL .....	6-202
<b>FIGURA 6-6:</b> RESOLUCIÓN DE LA SITUACIÓN 9 .....	6-211
<b>FIGURA 6-7:</b> ESQUEMAS EXPLICATIVOS TOPOCÉNTRICOS DE LAS	
FASES LUNA .....	6-212
<b>FIGURA 7-1:</b> PROPORCIÓN DE ESTUDIANTES QUE SOSTIENE LAS	
OPCIONES SOBRE CÓMO ASCIENDE O DESCIENDE EL SOL .....	7-241
<b>FIGURA 7-2:</b> MAQUETA QUE REPRESENTA LA TRAYECTORIA DIARIA DEL	
SOL EN LOS EQUINOCCIOS .....	7-245
<b>FIGURA 7-3:</b> MAQUETAS ARMADAS POR ALUMNOS QUE REPRESENTAN	
LA TRAYECTORIA DEL SOL EN SOLSTICIOS Y EQUINOCCIOS .....	7-253



<b>FIGURA 7-4:</b> PROPORCIÓN DE ALUMNOS QUE RESPONDE ADECUADAMENTE LA MAYORÍA, LA MINORÍA O PORCENTAJES INTERMEDIOS EN LA ACTIVIDAD "DE COMPLETAMIENTO" .....	7-255
<b>FIGURA 7-5:</b> MOVIMIENTO PROPIO DE LA LUNA. CAMBIO DE POSICIÓN DE LA LUNA EN EL CIELO TRES NOCHES A LA MISMA HORA .....	7-263
<b>FIGURA 7-6:</b> RESOLUCIÓN DE LA CONSIGNA 1 SOBRE EL MOVIMIENTO PROPIO DE LA LUNA Y LA FASE CRECIENTE REALIZADA POR UN ALUMNO .....	7-263
<b>FIGURA 7-7:</b> MOVIMIENTO PROPIO DE LA LUNA. CAMBIO DE POSICIÓN DE LA LUNA TRES MAÑANAS SEGUIDAS A LA MISMA HORA .....	7-265
<b>FIGURA 7-8:</b> RESOLUCIÓN DE LA CONSIGNA 2 SOBRE EL MOVIMIENTO PROPIO DE LA LUNA Y LA FASE MENGUANTE POR UN ALUMNO .....	7-266
<b>FIGURA 7-9:</b> RESOLUCIÓN DE LA SITUACIÓN 9 POR UN ALUMNO .....	7-270
<b>FIGURA 7-10:</b> RESOLUCIÓN DE LA CONSIGNA 2 POR UN ALUMNO .....	7-270
<b>FIGURA 7-11:</b> RESOLUCIÓN DE LA CONSIGNA 1 EN EL PIZARRÓN .....	7-271
<b>FIGURA 7-12:</b> ESQUEMA EXPLICATIVO DE LA FASE CRECIENTE DE LA LUNA, DESDE NUEVA HASTA LLENA (HEMISFERIO SUR) .....	7-272
<b>FIGURA 7-13:</b> ESQUEMA EXPLICATIVO DE LA FASE MENGUANTE DE LA LUNA, DESDE LLENA HASTA NUEVA (HEMISFERIO SUR) .....	7-273
<b>FIGURA 7-14:</b> MAQUETAS QUE MUESTRAN LA POSICIÓN DE LA LUNA EN LAS DISTINTAS FASES EN EL HORARIO DE PUESTA DEL SOL .....	7-276
<b>FIGURA 7-15:</b> DIBUJOS Y FRASES ELABORADAS EN GRUPO QUE EXPLICAN EL DÍA Y LA NOCHE .....	7-277
<b>FIGURA 7-16:</b> DIBUJOS ELABORADOS EN GRUPO QUE EXPLICAN LAS ESTACIONES DEL AÑO .....	7-281
<b>FIGURA 7-17:</b> DIBUJOS Y TEXTOS ELABORADOS EN GRUPO PARA EXPLICAR LAS FASES DE LA LUNA .....	7-285
<b>FIGURA 7-18:</b> DIBUJO INICIAL Y FINAL DE UN MISMO ALUMNO SOBRE DÍA Y NOCHE AL INICIO Y AL FINAL DE LA SECUENCIA .....	7-291
<b>FIGURA 7-19:</b> DIBUJOS SOBRE LAS ESTACIONES DEL AÑO REALIZADOS POR ESTUDIANTES AL INICIO Y AL FINAL DE LA SECUENCIA DE ACTIVIDADES .....	7-293
<b>FIGURA 7-20:</b> DIBUJOS SOBRE LAS FASES LUNARES REALIZADOS POR ESTUDIANTES AL INICIO Y AL FINAL DE LA SECUENCIA DE ACTIVIDADES .....	7-297
<b>FIGURA 7-21:</b> EVOLUCIÓN CONCEPTUAL DEL GRUPO DE CLASE A PARTIR DE LOS RESULTADOS DE LA SEGUNDA ACTIVIDAD FINAL .....	7-299
<b>FIGURA 7-22:</b> EVOLUCIÓN CONCEPTUAL DE LOS ALUMNOS EN RELACIÓN AL MOVIMIENTO DIARIO DEL SOL Y AL FENÓMENO DEL DÍA Y LA NOCHE .....	7-300
<b>FIGURA 7-23:</b> EVOLUCIÓN CONCEPTUAL DE LOS ALUMNOS EN RELACIÓN AL MOVIMIENTO ANUAL DEL SOL Y AL FENÓMENO DE LAS ESTACIONES .....	7-301
<b>FIGURA 7-24:</b> EVOLUCIÓN CONCEPTUAL DE LOS ALUMNOS EN RELACIÓN AL MOVIMIENTO PROPIO DE LA LUNA Y A LAS FASES LUNARES .....	7-302
<b>FIGURA 7-25:</b> EVOLUCIÓN CONCEPTUAL DE LOS ALUMNOS EN RELACIÓN A LOS FENÓMENOS ASTRONÓMICOS COTIDIANOS .....	7-302
<b>FIGURA 7-26:</b> PUNTAJES DEL 1 AL 10 OBTENIDOS POR CADA ALUMNO AL REALIZAR LA SEGUNDA CONSIGNA FINAL INDIVIDUAL .....	7-304

<b>FIGURA 10-1:</b> PARALAJE DIURNA Y PARALAJE HORIZONTAL DE UN ASTRO SITUADO EN EL HORIZONTE DEL LUGAR .....	10-357
<b>FIGURA 10-2:</b> PARALAJE ANUAL DE UN ASTRO .....	10-358
<b>FIGURA 10-3:</b> ESQUEMA EXPLICATIVO HELIOCÉNTRICO DEL DÍA Y LA NOCHE .....	10-362
<b>FIGURA 10-4:</b> DIFERENCIA ENTRE DÍA SIDÉREO Y DÍA SOLAR .....	10-363
<b>FIGURA 10-5:</b> POSICIONES CORRESPONDIENTES A SOLSTICIOS Y EQUINOCCIOS EN LA ÓRBITA DE LA TIERRA ALREDEDOR DEL SOL .....	10-364
<b>FIGURA 10-6:</b> CAMBIOS EN EL MODO DE INCIDENCIA DE LOS RAYOS SOLARES A MEDIDA QUE LA TIERRA SE TRASLADA EN SU ÓRBITA .....	10-365
<b>FIGURA 10-7:</b> ELIPSES PARALÁCTICAS DESCRIPTAS POR DISTINTAS ESTRELLAS DEBIDO AL MOVIMIENTO DE TRASLACIÓN DE LA TIERRA ....	10-366
<b>FIGURA 10-8:</b> EXPLICACIÓN HELIOCÉNTRICA DE LA FASES DE LA LUNA MEDIANTE DOS PUNTOS DE VISTA .....	10-367
<b>FIGURA 10-9:</b> REGISTROS DE LOS CAMBIOS EN EL LUGAR Y HORARIO DE SALIDA Y/O PUESTA DEL SOL .....	10-399
<b>FIGURA 10-10:</b> REGISTROS DEL CAMBIO DE POSICIÓN DE LA LUNA EN EL CIELO DE UN DÍA AL OTRO A LA MISMA HORA .....	10-400

# ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 2-1:</b> SISTEMAS DE REFERENCIA ASTRONÓMICOS MÁS UTILIZADOS .....	2-56
<b>TABLA 2-2:</b> VARIACIÓN ANUAL DE LA ALTURA DEL SOL EN EL BOLSÓN ...	2-77
<b>TABLA 4-1:</b> CONCEPCIONES DE ALUMNOS SOBRE LA FORMA DE LA TIERRA .....	4-98
<b>TABLA 4-2:</b> CONCEPCIONES DE ALUMNOS Y DOCENTES SOBRE EL DÍA Y LA NOCHE .....	4-101
<b>TABLA 4-3:</b> CONCEPCIONES DE ALUMNOS Y DOCENTES SOBRE LAS ESTACIONES DEL AÑO .....	4-109
<b>TABLA 4-4:</b> CONCEPCIONES DE ALUMNOS Y DOCENTES SOBRE LAS FASES DE LA LUNA .....	4-114
<b>TABLA 4-5:</b> TIPOS DE MODELOS MENTALES SOBRE LOS FENÓMENOS LUNARES .....	4-119
<b>TABLA 5-1:</b> CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE REFERENCIA ASTRONÓMICOS .....	5-144
<b>TABLA 5-2:</b> LISTADO DE LIBROS DE TEXTO ANALIZADOS .....	5-162
<b>TABLA 5-3:</b> CANTIDAD DE ALUMNOS Y DOCENTES EN LA INDAGACIÓN ...	5-174
<b>TABLA 5-4:</b> CLASIFICACIÓN DE LAS RESPUESTAS DE ALUMNOS Y DOCENTES SOBRE EL DÍA Y LA NOCHE .....	5-176
<b>TABLA 5-5:</b> PORCENTAJE DE PERSONAS POR NIVEL QUE PRESENTA MODELOS HELIOCÉNTRICOS CIENTÍFICAMENTE INAPROPIADOS .....	5-180
<b>TABLA 6-1:</b> ANÁLISIS DIDÁCTICO DE LA SITUACIÓN 2 .....	6-194
<b>TABLA 6-2:</b> ANÁLISIS DIDÁCTICO DE LAS SITUACIONES 3 Y 4 .....	6-199
<b>TABLA 6-3:</b> ANÁLISIS DIDÁCTICO DE LAS SITUACIONES 5 Y 6 .....	6-205
<b>TABLA 6-4:</b> ANÁLISIS DIDÁCTICO DE LAS SITUACIONES 7, 8 Y 9 .....	6-214
<b>TABLA 6-5:</b> ANÁLISIS DIDÁCTICO DE LA SITUACIÓN 10 .....	6-218
<b>TABLA 7-1:</b> ORGANIZACIÓN Y REGISTRO DE LAS DISTINTAS SITUACIONES PLANTEADAS A LO LARGO DE LAS CLASES .....	7-222
<b>TABLA 7-2:</b> DIBUJOS REPRESENTATIVOS DE CADA MODELO ACERCA DE LA CAUSA DEL DÍA Y LA NOCHE .....	7-227
<b>TABLA 7-3:</b> DIBUJOS REPRESENTATIVOS DE CADA MODELO ACERCA DE LA CAUSA DE LAS ESTACIONES DEL AÑO .....	7-231
<b>TABLA 7-4:</b> PORCENTAJE DE ALUMNOS EN LOS QUE SE HAN IDENTIFICADO LOS DISTINTOS MODELOS ACERCA DE LA CAUSA DE LAS ESTACIONES .....	7-232
<b>TABLA 7-5:</b> DIBUJOS REPRESENTATIVOS DE MODELOS ACERCA DE LA CAUSA DE LAS FASES DE LA LUNA .....	7-235
<b>TABLA 7-6:</b> PORCENTAJE DE ALUMNOS QUE BRINDAN CADA UNA DE LAS RESPUESTAS SOBRE LOS DISTINTOS MODELOS SOBRE LAS FASES .....	7-235
<b>TABLA 7-7:</b> ANÁLISIS DE LAS RESPUESTAS DE ALGUNOS GRUPOS DE TRABAJO A LA CONSIGNA FINAL DE LA SITUACIÓN 4 .....	7-246
<b>TABLA 7-8:</b> PORCENTAJE DE ALUMNOS EN LOS QUE SE HAN IDENTIFICADO LOS DISTINTOS MODELOS SOBRE LAS ESTACIONES AL INICIO Y AL FINAL .....	7-292

<b>TABLA 7-9:</b> PORCENTAJE DE ALUMNOS EN LOS QUE SE HAN IDENTIFICADO LOS DISTINTOS MODELOS SOBRE LAS FASES LUNARES .	7-295
<b>TABLA 7-10:</b> CANTIDAD DE RESPUESTAS SOLICITADAS EN LA SEGUNDA ACTIVIDAD FINAL .....	7-298
<b>TABLA 7-11:</b> RESULTADOS OBTENIDOS POR LOS ALUMNOS DEL CURSO AL RESOLVER LA SEGUNDA ACTIVIDAD FINAL INDIVIDUAL .....	7-299
<b>TABLA 7-12:</b> CLASIFICACIÓN DEL NIVEL DE EVOLUCIÓN CONCEPTUAL DE CADA ALUMNO SOBRE LOS FENÓMENOS ASTRONÓMICOS .....	7-303
<b>TABLA 7-13:</b> DESCRIPCIÓN SINTÉTICA DE LA EVOLUCIÓN CONCEPTUAL DE CADA UNO DE LOS ALUMNOS ENTREVISTADOS .....	7-319
<b>TABLA 7-14:</b> ELEMENTOS REPRESENTATIVOS DE LOS ESQUEMAS PRESENTES EN LOS ESTUDIANTES AL INICIO Y AL FINAL .....	7-322
<b>TABLA 7-15:</b> CATEGORÍAS DE ANÁLISIS Y CANTIDAD DE ALUMNOS QUE SOSTIENE CADA UNA AL INICIO Y AL FINAL .....	7-324
<b>TABLA 7-16:</b> PUNTAJE TOTAL INICIAL Y FINAL DE CADA ALUMNO A PARTIR DE LA PRESENCIA O AUSENCIA DE CIERTAS CATEGORÍAS .....	7-325
<b>TABLA 10-1:</b> TRANSFORMACIONES ENTRE SISTEMAS DE COORDENADAS ASTRONÓMICAS .....	10-360
<b>TABLA 10-2:</b> CAMBIOS EN LA ALTURA DEL SOL Y EN LA CANTIDAD DE HORAS DE LUZ A LO LARGO DEL AÑO EN EL BOLSÓN .....	10-377
<b>TABLA 10-3:</b> TÉRMINOS PERIÓDICOS CORRESPONDIENTES A LA LONGITUD Y A LA DISTANCIA DE LA LUNA .....	10-379
<b>TABLA 10-4:</b> TÉRMINOS PERIÓDICOS CORRESPONDIENTES A LA LATITUD LUNAR .....	10-380
<b>TABLA 10-5:</b> CLASIFICACIÓN DE LOS ARTÍCULOS Y EJEMPLO DE TRANSCRIPCIÓN REPRESENTATIVA .....	10-387
<b>TABLA 10-6:</b> RESPUESTAS DE CADA ESTUDIANTE AL INICIO DE LAS CLASES CLASIFICADAS POR CATEGORÍAS DE ANÁLISIS .....	10-404
<b>TABLA 10-7:</b> RESPUESTAS DE CADA ESTUDIANTE AL FINAL DE LAS CLASES CLASIFICADAS POR CATEGORÍAS DE ANÁLISIS .....	10-405

# Resumen

Esta Tesis aborda la relevancia de los sistemas de referencia en el tratamiento de los fenómenos físicos, focalizando la atención en el problema de la enseñanza de los fenómenos astronómicos cotidianos (día y noche, estaciones del año y fases de la Luna) en la escuela primaria, la cual se encuentra mayormente desarrollada en base a la utilización del sistema de referencia heliocéntrico. El problema de este enfoque es que implica que los estudiantes deban posicionarse "imaginariamente" en el espacio exterior para observar el movimiento de los astros, lo que involucra una determinada complejidad conceptual y el requerimiento de ciertas habilidades visoespaciales.

En este trabajo se describe una Estructura Conceptual de Referencia (Otero, 2006) alternativa y se elabora un "modelo cinemático celeste" a partir de la utilización didáctica del sistema de referencia topocéntrico, lo que permite realizar descripciones, explicaciones y predicciones adecuadas de dichos fenómenos desde un marco de referencia terrestre. A su vez, se desarrolla una Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos en la escuela primaria a partir de distintos lineamientos epistemológicos, cognitivos y didácticos, la cual fue implementada en un curso de 6to. año de dicho nivel educativo. El análisis de esta implementación ha permitido estudiar el proceso de conceptualización con el fin de conocer cuál fue la Estructura Conceptual Efectivamente Reconstruida por los estudiantes.

El análisis final llevado a cabo permitió concluir que la secuencia didáctica desarrollada es eficaz para enseñar sobre el día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares a estudiantes de los últimos años de la escuela primaria, lo que implica la pertinencia en cuanto a la utilización del sistema de referencia topocéntrico en este nivel educativo. Esto indica un posible rumbo para una mejora de la enseñanza y el aprendizaje de la astronomía en las escuelas.



## Abstract

This thesis discusses the relevance of reference systems in dealing with physical phenomena, and in particular the problem of teaching everyday astronomical phenomena (day and night, the seasons of the year and the lunar phases) at primary school level. At the present time this teaching is mainly based on the heliocentric reference system. The problem with this approach is that it assumes pupils can “imagine” their position in outer space in order to observe the movement of celestial bodies in space. This implies a certain level of conceptual complexity and requires visuospatial ability.

In this work an alternative Conceptual Structure of Reference (Otero, 2006) is described and a “kinematic celestial model” is devised, based on didactic use of the topocentric reference system, which allows descriptions, explanations and satisfactory predictions of these phenomena to be made from a terrestrial frame of reference. In addition, a proposal for a Conceptual Structure for Teaching is presented, to be employed in teaching everyday astronomical phenomena in primary schools using different epistemological, cognitive and didactic guidelines. This Structure was implemented with a 6th form primary class. The analysis of this implementation has enabled us to study the process of conceptualization, with a view to determining the Conceptual Structure Effectively Reconstructed by the pupils.

The final analysis carried out led to the conclusion that the didactic sequence developed here is effective in teaching day and night, the seasons of the year and the lunar phases to pupils in the last years of primary school. This indicates that the topocentric reference system is appropriate for this age group and suggests a possible path for improvement of the teaching and learning of astronomy in schools.





# Résumé

Cette Thèse aborde l'importance des systèmes de référence dans le traitement des phénomènes physiques, en focalisant l'attention sur le problème de l'enseignement des phénomènes astronomiques quotidiens (le jour et la nuit, les saisons de l'année et les phases de la Lune) à l'école primaire, lequel est surtout développé sur la base de l'utilisation du système de référence héliocentrique. Le problème de cette focalisation c'est que les étudiants doivent se positionner d'une manière "imaginaire" dans l'espace extérieur pour observer le mouvement des astres dans l'espace, ce qui implique une certaine complexité conceptuelle ainsi qu'un besoin de certaines habiletés visuel-spatiales.

Ce travail décrit une Structure Conceptuelle de Référence (Otero, 2006) alternative, ainsi qu'élabore un "modèle cinématique céleste" à partir de l'utilisation didactique du système de référence topocentrique, ce qui permet de réaliser des descriptions, des explications et des prédictions adéquates de ces phénomènes à partir d'un cadre de référence terrestre. En même temps, il développe une Structure Conceptuelle Proposée pour l'Enseignement relatif aux phénomènes astronomiques quotidiens, à l'école primaire, à partir des différents linéaments épistémologiques, cognitifs, et didactiques, laquelle a été appliquée dans un cours de la sixième année dudit niveau éducatif. L'analyse de cette implémentation a permis d'étudier le processus de la conceptualisation afin de connaître quelle a été la Structure Conceptuelle Effectivement Reconstituée par les étudiants.

L'analyse finale réalisée a permis de conclure que la séquence didactique développée est efficace dans l'enseignement sur le jour et la nuit, les saisons de l'année et les phases lunaires pour les étudiants des dernières années de l'école primaire, ce qui implique la pertinence quant à l'utilisation du système de référence topocentrique dans ce niveau éducatif. Cela montre un chemin possible pour l'amélioration de l'enseignement et l'apprentissage de l'astronomie dans les écoles.



# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

---

## 1.1. Introducción

En este capítulo se presenta, delimita y justifica el problema de investigación. Para ello se detallan las razones por las que ha sido elegido el tema, su relevancia en el ámbito escolar y en el campo de la investigación en Enseñanza de la Física, los objetivos a alcanzar, las preguntas que guían el proceso investigativo y el recorte del problema. A su vez, se realiza la revisión de la literatura y se plantea la organización del trabajo de tesis, indicando el contenido del resto de los capítulos.

## 1.2. Motivación por el tema<sup>1</sup>

Cuando comencé a ejercer como Profesor de Física en una escuela media de la ciudad de Buenos Aires, hace veinte años atrás, a los pocos meses tomé conciencia de que muchas de las preguntas e inquietudes que poseían mis estudiantes, principalmente los de los primeros años, estaban relacionadas con los fenómenos astronómicos. Sin embargo, las mismas se orientaban a tópicos complejos y poco asociados con la vida cotidiana, apareciendo cuestiones de lo más variadas que mostraban el entusiasmo que la temática despertaba en los alumnos y, a la vez, el desconocimiento general acerca de ella. Esto me llevó a comenzar a incorporar ejemplos de astronomía y astronáutica en las clases, tratando de enfatizar la necesidad de aprender Física como modo de comprender y explicar mejor dichos fenómenos.

A medida que la Astronomía fue incorporándose paulatinamente a mis clases de Física, comencé a darme cuenta que, pese al entusiasmo por el tema, la mayoría de los estudiantes nunca habían observado el cielo ni a simple vista ni a través de un telescopio. Esto me llevó a reorientar mi práctica y a comenzar a indagar a los alumnos de nivel medio acerca de sus conocimientos e ideas propias acerca de los fenómenos astronómicos más cotidianos, tales como el día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares. Para mi sorpresa, la mayoría poseía concepciones alternativas acerca de estos fenómenos y no poseía conocimientos certeros acerca del modo en que se desplazan el Sol, la Luna y las estrellas en el cielo. Esto me llamaba la atención ya que el Sol y la Luna son astros muy luminosos y extensos, fáciles de distinguir aún desde una gran ciudad como Buenos Aires donde la contaminación lumínica provoca que sólo sea posible la observación de una muy escasa cantidad de estrellas nocturnas.

Como consecuencia de todo esto, comencé a leer trabajos de investigación relacionados con la enseñanza de la astronomía y con las ideas más comunes presentes tanto en niños como en adultos y, al mismo tiempo, desarrollé un módulo de actividades sobre estos fenómenos, el cual incorporé a las clases de Física. A su vez, creé el primer taller de astronomía para alumnos de la escuela, con quienes nos juntábamos a observar el cielo sumamente iluminado de Buenos Aires desde la terraza del edificio escolar. Esta experiencia me permitió detectar los centros de interés de los alumnos, sus dificultades de comprensión, las ideas intuitivas más comunes y,

---

<sup>1</sup> Al ser un aspecto netamente personal, se ha optado por expresarlo en primera persona.

sobre todo, la poca observación del cielo que caracteriza la vida en las grandes ciudades.

Esta realidad se modificó en el año 1998, cuando cambié radicalmente mi lugar de residencia, desplazándome a la localidad de El Bolsón, en la provincia de Río Negro, lugar donde resido y desarrollo mis actividades profesionales desde ese momento. Dado que esta localidad contaba en ese momento con sólo 10.000 habitantes, la observación del cielo pasó a ser una de mis actividades centrales, aprovechando el escaso alumbrado público presente en esa época. Comparado con Buenos Aires, en El Bolsón el cielo podía "tocarse con la mano" y los cambios observables a simple vista eran realmente notorios y fácilmente registrables. En consecuencia, mis conocimientos crecieron rápidamente a partir de cursos, investigaciones personales y del contacto con astrónomos y especialistas en didáctica de la astronomía, quienes llevaban a cabo proyectos que proponían revalorizar la observación a simple vista del cielo e incorporar esta práctica dentro del contexto escolar. A partir de estos aportes, tomé conciencia que utilizar el sistema de referencia topocéntrico, centrado en la posición de un observador ubicado en la superficie terrestre, me permitía comprender y realizar mejores predicciones sobre los fenómenos astronómicos más cotidianos. Por el contrario, los cambios que observaba eran mucho más difíciles de explicar desde una posición externa a la Tierra. De este modo, comencé paulatinamente a tratar de explicar todos los fenómenos celestes cotidianos desde este sistema de referencia muy poco utilizado en las aulas, lo que me permitió vivenciar personalmente su enorme potencial.

Mientras continuaba dando clases en escuelas medias, al poco tiempo advertí que, pese a la escasa contaminación lumínica y a la ausencia de edificios altos, las personas que vivían en El Bolsón tampoco observaban el cielo. Un tiempo después comencé a dar clases en el Instituto de Formación Docente Continua de El Bolsón, lo que me permitió incorporar las actividades de observación del cielo como parte de la formación de los futuros docentes de la zona y el sistema de referencia topocéntrico como un modo posible para explicar en forma sencilla dichas observaciones. Posteriormente, desde el Instituto implementé un proyecto de extensión con el fin de poner a prueba estos desarrollos en las escuelas y que, como parte del mismo, gestó la creación de un grupo extraescolar de alumnos de nivel medio y docentes interesados en la astronomía: el "Grupo Astronómico Osiris". Este grupo se convirtió en el eje de liderazgo de este proyecto y lleva diez años de funcionamiento continuo.

Toda esta experiencia recogida a lo largo de estos años me ha permitido detectar que la observación a simple vista del cielo constituye una actividad motivadora para muchos de los alumnos con los que he trabajado, que permite desarrollar procedimientos propios de las ciencias y, a su vez, que la utilización del sistema de referencia topocéntrico parece resultar de utilidad para analizar e interpretar muchas de estas observaciones. Sin embargo, la mayoría de los libros de texto, materiales curriculares, secuencias de actividades e investigaciones a las que he podido acceder dejan de lado dicho sistema y utilizan únicamente el sistema de referencia heliocéntrico, en el cual se observa el movimiento de la Tierra desde el espacio exterior. Este sistema de referencia posee una dificultad intrínseca debido a que nuestra posición de observación cotidiana es netamente terrestre, por lo que para poder interpretar los fenómenos celestes observables a simple vista debemos realizar, casi siempre mentalmente, lo que en Física llamaríamos una "transformación entre sistemas de coordenadas". Esta transformación, del sistema heliocéntrico al topocéntrico, que no es sencilla, podría ser una de las razones por las cuales la gente desconoce muchos aspectos acerca de la observación cotidiana del cielo.

En consecuencia, en esta tesis he decidido ocuparme en primer lugar de los sistemas de referencia, un tema crucial de la Física que es generalmente muy poco desarrollado

en las escuelas. En este tema se distingue la idea errónea respecto a la existencia de un sistema de referencia absoluto y privilegiado, que en el caso de la astronomía parecería estar ocupado por el sistema de referencia heliocéntrico. En contraposición, la utilización de un sistema de referencia terrestre como el topocéntrico no es visto como correcto por muchas personas.

En este contexto, cobra relevancia el desarrollo de un "modelo cinemático celeste" que permita describir, explicar y predecir con relativa sencillez los fenómenos astronómicos cotidianos a partir de la utilización del sistema de referencia topocéntrico. Este modelo debe ser correcto desde el punto de vista científico, debe facilitar la comprensión de los fenómenos celestes por parte de los alumnos y docentes y, por sobre todo, debe motivarlos a relacionar las enseñanzas y los aprendizajes escolares con los sucesos que ocurren todos los días a su alrededor. De este modo, la enseñanza de la Física contará con dos aportes significativos: la gran trascendencia del sistema de referencia al analizar cualquier fenómeno físico y, a su vez, la relevancia de vincular los fenómenos cotidianos con la observación a simple vista del cielo.

### **1.3. Formulación del problema**

La elección adecuada del sistema de referencia a la hora de describir y explicar los fenómenos físicos es un aspecto que se encuentra muy poco desarrollado en los materiales curriculares, en los espacios educativos y en los trabajos de investigación. Esto puede tener relación con las concepciones detectadas en alumnos, e incluso en docentes y en libros de texto, que indican una tendencia a definir el movimiento como una característica propia del objeto y no en relación a algún cuerpo o sistema de referencia específico (Saltiel y Malgrange, 1980). Esta concepción no llama especialmente la atención ya que en la vida cotidiana las personas suelen tomar al suelo como un sistema de referencia absoluto (Driver, 1986). En contraposición, las teorías científicas vigentes actualmente sostienen la no existencia de un sistema de referencia natural absoluto ni preponderante: cada sistema de referencia es relativo (Lanciano, 1989).

Por su parte, la Astronomía ha sido siempre un área de especial interés a lo largo de la historia de la humanidad. En este sentido, los astros presentes en el cielo han despertado enorme curiosidad, cuestionamientos, formulación de preguntas, elaboración de teorías de lo más variadas y, sobre todo, una profunda revisión del "rol" y el lugar de los seres humanos en el Universo. Este gran interés continúa hoy en día, donde las series, películas, artículos y demás materiales referidos a este tema son de habitual lectura y admiración por gran parte de la población. Sin embargo, numerosas investigaciones muestran que muchos adultos, incluidos los docentes en ejercicio, desconocen cuestiones básicas acerca de la temática (Camino, 1995; Summers y Mant, 1995; Atwood y Atwood, 1995, 1996; Vega Navarro, 2001, 2007; Galperin et al., 2012; Rincón Voelzke y Pereira Gonzaga, 2013; De la Torre, 2014).

A su vez, la mayoría de las personas no se encuentra acostumbrada a levantar la vista para observar el cielo y los fenómenos que allí ocurren. Del mismo modo, la información que habitualmente se brinda en los medios de comunicación y en los libros de texto está relacionada con la visualización de los movimientos de los astros desde afuera de la Tierra (Galperin et al., 2014). Por ejemplo, en muchos materiales audiovisuales se describen las características del Sistema Solar, pero en pocos de ellos se explica qué planetas pueden observarse a simple vista en el cielo y que, justamente, fue su observación sistemática lo que hizo posible comenzar a construir esta idea de "Sistema Solar" que poseemos hoy en día. Otro ejemplo de esta realidad es la existencia de gran

cantidad de producciones en las cuales se detalla el gran tamaño del Sol respecto a la Tierra, su elevada temperatura, sus violentas explosiones, etc, pero se aprecian pocos materiales que explican cómo éste astro se desplaza en el cielo a lo largo de los meses, hecho sumamente notorio que provoca una consecuencia tan importante como las estaciones del año.

Por otro lado, es habitual encontrar en los adultos una creencia bastante común, que el paso por los años de escolaridad no ha logrado transformar: que en el cielo ocurren cosas muy diferentes a las que suceden en la Tierra y que le dan a éste un carácter “sobrenatural”. O sea, pese a que la información científica que se transmite día a día evidencia la universalidad de los fenómenos físicos, muchas personas siguen pensando que los fenómenos terrestres, y las leyes que los rigen, no tienen conexión con lo que sucede fuera de la Tierra, manteniéndose una dicotomía cielo - tierra (Galperin, 2005).

Por lo tanto, la comprensión acerca de los sistemas de referencia constituye un eje central en la enseñanza de la Astronomía ya que de ello depende que los estudiantes logren relacionar sus conocimientos astronómicos con experiencias concretas de observación y registro de los fenómenos celestes (Shen y Confrey, 2010). En este sentido, existen gran cantidad de investigaciones realizadas que muestran las dificultades presentes en estudiantes de todos los niveles educativos, y en docentes, para comprender las causas de los fenómenos astronómicos más cotidianos: el día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna (Baxter, 1989; Nussbaum, 1992; Schoon, 1992, 1995; Vosniadou y Brewer, 1992, 1994; Camino, 1995; Stahly, Krockover y Shepardson, 1999; Trumper, 2001; Vega Navarro, 2001, 2007; Trundle, Atwood y Christopher, 2002, 2006; Chiras y Valanides, 2008; Bayraktar, 2009; Iglesias, Quinteros y Gangui, 2010; Galperin et al., 2012). Estas dificultades pueden tener su origen en el modo de instrucción llevado a cabo con los alumnos, aunque también es posible que sean consecuencia de no haber elegido el sistema de referencia más adecuado para describir y comprender dichos fenómenos astronómicos desde una perspectiva centrada en el estudiante como observador del cielo.

Al respecto, existen distintos sistemas de referencia astronómicos que permiten describir el movimiento de los cuerpos celestes de distintas formas, aunque una de las diferencias fundamentales entre ellos radica en el lugar en que posicionan el origen de coordenadas: en el centro de masas del Sistema Solar (sistema heliocéntrico), en el centro de masas del planeta Tierra (sistema geocéntrico) o en una ubicación particular de la superficie terrestre (sistema topocéntrico). Sin embargo, los materiales curriculares y las producciones audiovisuales parecerían sostener la existencia de un único sistema de referencia para estudiar estos fenómenos: el heliocéntrico. Por ese motivo, en este trabajo se focalizará la atención en la utilización didáctica del sistema de referencia topocéntrico como un modo de aproximación de los estudiantes a la comprensión de los fenómenos astronómicos cotidianos posibles de ser observados a simple vista en el cielo: el día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna (Camino, 1999; Galperin, 2011).

En síntesis, las dificultades detectadas en relación al problema a analizar son:

- a) Concepción de sistema de referencia como algo absoluto. Tendencia a definir el movimiento como una característica propia del objeto y no en relación a algún cuerpo o sistema de referencia específico.
- b) Escasa comprensión de cuestiones básicas acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos (día/noche, estaciones y fases) por parte de estudiantes de todos los niveles educativos y de docentes en ejercicio.

- c) Tratamiento de los fenómenos astronómicos cotidianos en los materiales curriculares y en las producciones audiovisuales, que emplean en forma casi exclusiva el sistema de referencia heliocéntrico.
- d) Existencia de falta de práctica, hábito e interés en la observación del cielo en gran parte de la población.
- e) Escaso desarrollo del sistema de referencia topocéntrico como modo de aproximación de los estudiantes a la comprensión de los fenómenos astronómicos cotidianos posibles de ser observados a simple vista en el cielo.

#### **1.4. La importancia de estudiar Astronomía en forma topocéntrica en la escuela**

El tema de los sistemas de referencia constituye uno de los tópicos más relevantes en la comprensión de los fenómenos físicos ya que la descripción y explicación de los mismos dependen del marco de referencia elegido. Sin embargo, este tópico posee un muy escaso desarrollo en los libros escolares, en los textos de Física de nivel universitario e incluso en las investigaciones acerca de la enseñanza de las ciencias. En este sentido, casi no existen artículos publicados que se centren en la comprensión de este tema por parte de alumnos y docentes.

Por otro lado, ya se ha mencionado que la mayoría de la información astronómica brindada por los distintos medios masivos de comunicación se encuentra desarrollada describiendo y explicando los sucesos desde un sistema de referencia externo a la Tierra, generalmente a través de un formato muy compactado, lo que dificulta su comprensión y decodificación. A su vez, algunas investigaciones han mostrado que la comprensión de los fenómenos astronómicos cotidianos desde un sistema de referencia externo a la Tierra posee cierta complejidad, incluso para estudiantes de nivel superior, debido a que requiere el desarrollo previo de determinadas habilidades visoespaciales (Kikas, 2006; Dicovskiy et al., 2012). Por ejemplo, las explicaciones "heliocéntricas" requieren habilidades de orientación espacial para lograr describir los movimientos de los astros desde un punto externo a la Tierra y, a partir de allí, explicar lo que se observa desde su superficie.

Esta forma comunicacional en la cual se brinda información parcial sin sustento físico, sin relación con el entorno celeste, sin pasar de una mera descripción cualitativa de los fenómenos y sin ahondar científicamente en cómo éstos sucesos influyen o no en la vida de nuestro planeta, parece haber sido reproducida en gran medida por el sistema educativo. Por ejemplo, es una práctica común en las aulas la realización de maquetas que representan el Sistema Solar en las cuales se visualiza, en forma esquemática, el orden de los planetas y alguna característica propia de cada uno, la cual queda casi siempre representada por el color con el que se pinta a cada astro. Sin embargo, una idea más aproximada acerca de nuestro sistema planetario que ponga el énfasis en las distancias y los tamaños a escala de los cuerpos que lo forman, o que ayude a la comprensión de las causas físicas que rigen su comportamiento, suele ser poco trabajada pese a que se encuentra como propuesta didáctica en muchos textos.

A su vez, es poco habitual que las actividades que se proponen en las escuelas intenten relacionar los fenómenos astronómicos con lo que los estudiantes pueden observar cotidianamente a simple vista en el cielo. En consecuencia, pareciera ser que estudiar Astronomía no tiene que ver con conocer el cielo que es posible distinguir a diario y, por lo tanto, se brinda implícitamente una idea equivocada respecto a que estos fenómenos no tienen trascendencia en la vida corriente, quedando sólo para aquellos que deseen profundizar en su conocimiento. De esta forma, los alumnos pierden una importante

oportunidad educativa e intelectual: la de comprender la cantidad de cambios culturales, filosóficos y científicos que ha habido en la historia de la humanidad en relación a la necesidad de explicar y predecir el movimiento de los astros en el cielo (Kuhn, 1957).

El desarrollo y la utilización del sistema de referencia topocéntrico en las aulas hace posible aunar estas problemáticas al posicionar al alumno como centro de sus propios aprendizajes astronómicos (Camino, 1999; Galperin, 2011), vinculando sus observaciones directas con los fenómenos que observa a su alrededor. De este modo, permite un acercamiento a la comprensión acerca de la relatividad de los sistemas de referencia y, al mismo tiempo, hace posible la construcción de conocimiento científicamente apropiado acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos. Al respecto, los fenómenos celestes más fácilmente observables (día/noche, estaciones del año y fases de la Luna) pueden ser explicados por los cambios que ocurren en las posiciones de los astros, tanto desde el sistema de referencia heliocéntrico como del topocéntrico. En consecuencia, una comprensión adecuada del desplazamiento de los mismos en el cielo permite la construcción de explicaciones acordes y sumamente predictivas, tal como hicieron las culturas de la antigüedad hace muchos siglos. De este modo, es posible utilizar una "cinemática topocéntrica", más cercana a lo que las personas perciben en su vida cotidiana (Galperin y Raviolo, 2014).

Enseñar Astronomía utilizando el sistema de referencia topocéntrico también permite cuestionar las ideas inadecuadas acerca de la naturaleza de la ciencia que sostienen que la misma se encuentra caracterizada por la formulación de explicaciones únicas, absolutas y acabadas (Fernández et al., 2002). En este sentido, la construcción de una "cinemática topocéntrica" con propiedades descriptivas, explicativas y predictivas, hace posible incorporar la noción de modelo científico, el cual actúa como mediador entre el mundo de la teoría y el de la experiencia (Lombardi, 1998; Morrison, 1999; Islas y Pesa, 2004). También ejemplifica otra función de los modelos relacionada con la posibilidad de operar con eficiencia sobre el sistema, lo que permite actuar o moverse en el sistema anticipando su comportamiento. Esta relación modelo-realidad es compleja ya que un cierto fenómeno puede ser representado y explicado por más de un modelo (Harrison y Treagust, 2000), tal como sucede en el caso de los fenómenos astronómicos cotidianos.

Por estos motivos, se torna necesario comenzar a incorporar en las escuelas el tratamiento topocéntrico de los fenómenos astronómicos con el fin de mostrar que los mismos pueden ser descritos y explicados a partir del análisis de sencillas observaciones del cielo. Así, a través de descripciones y explicaciones adecuadas a cada nivel de escolaridad, se intenta que los alumnos logren relacionar los fenómenos celestes con los cambios periódicos visibles en la superficie terrestre.

En cuanto a la motivación de los alumnos, es destacable la fascinación que provoca el cielo en la mayoría de ellos, generando cuestionamientos respecto al lugar que ocupa la Tierra (y el ser humano) en el universo, a su origen y a su evolución. A su vez, la observación a simple vista del cielo hace posible que los estudiantes puedan poner a prueba sus propias teorías, transformándose en eje de sus propios aprendizajes en relación a las regularidades astronómicas observables a simple vista. Mirando el cielo con atención y sensibilidad es posible observar el pasado, percibir el presente y pensar el futuro. Esto despierta sentimientos e ideas muy apasionantes.

En síntesis, las razones para enseñar Astronomía topocéntrica en las escuelas son:

- a) El escaso o casi nulo desarrollo del tema "Sistemas de referencia" en los distintos niveles educativos. Esto refuerza la idea intuitiva respecto a la existencia de marcos de referencia absolutos o "privilegiados". La utilización del



sistema de referencia topocéntrico permite cuestionar esta idea a partir de la construcción de la noción de relatividad de dichos sistemas.

- b) El actual desarrollo de los temas de Astronomía en forma casi exclusiva desde el sistema de referencia heliocéntrico, reforzando la idea de que existe un sistema de referencia "privilegiado" para describir los fenómenos físicos. Sin dudas, dicho sistema posee ciertas "ventajas" para explicar determinados eventos, pero también ciertas "desventajas" para tratar de comprender adecuadamente lo que observa en el cielo una persona situada en la superficie terrestre.
- c) La necesidad de desarrollo de determinadas habilidades visoespaciales para poder comprender los fenómenos astronómicos desde el sistema de referencia heliocéntrico, donde el punto de vista es sumamente distinto al de un observador terrestre. Las descripciones topocéntricas no requieren este cambio de "punto de vista" del observador.
- d) La necesidad de mejorar la comprensión acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos por parte de estudiantes de todos los niveles y de docentes.
- e) Los ciclos astronómicos cotidianos (día/noche, estaciones y fases de la Luna) ocurren debido a cuestiones cinemáticas: el cambio en las posiciones de los astros involucrados. Por lo tanto, la utilización de una "cinemática topocéntrica" hace posible generar explicaciones científicamente adecuadas de dichos fenómenos.
- f) La utilización del sistema de referencia topocéntrico en las aulas permite cuestionar concepciones inadecuadas acerca de la ciencia y contribuye a la construcción del concepto de modelo científico, poniendo en evidencia la posibilidad de tener más de un modelo para explicar un mismo fenómeno.
- g) La observación del cielo es una actividad que despierta fascinación, entusiasmo e interrogantes en gran parte de las personas de todas las edades. A su vez, brinda motivación a los alumnos en función de ser ellos mismos quienes pueden evaluar la pertinencia de sus propias teorías acerca de estos fenómenos.

En función de lo expuesto, se ha buscado diseñar y poner en práctica una secuencia didáctica topocéntrica innovadora, fundamentada científica y didácticamente, con el fin de que los estudiantes puedan realizar descripciones, explicaciones y predicciones adecuadas de los fenómenos astronómicos cotidianos (día/noche, estaciones y fases de la Luna). Para ello se desarrolló un "modelo cinemático celeste", el cual incluye conceptos físicos actualizados, centrando su utilización desde un sistema de referencia situado en la superficie terrestre.

### **1.5. Interés del tema para la investigación en Enseñanza de las Ciencias**

La didáctica de las ciencias posee un extenso recorrido de investigaciones llevadas a cabo de un modo más o menos formal en los últimos sesenta años, pasando por diferentes etapas en los distintos países (Adúriz-Bravo e Izquierdo Aymerich, 2002). En gran medida, estas investigaciones se centraron en dos ejes. Por un lado, se elaboraron y pusieron en práctica distintos modelos de enseñanza en las aulas con el fin de poner atención en el modo en que los docentes planifican y desarrollan sus actividades con los estudiantes. Por otro lado, se analizaron las ideas intuitivas presentes en niños y adultos en relación a distintos tópicos de las ciencias naturales con el fin de poner el acento en las dificultades de los alumnos para comprender determinados temas o para construir ideas y teorías acordes con el conocimiento científico.

En el caso que nos ocupa, las investigaciones en relación a la enseñanza y el aprendizaje acerca de los sistemas de referencia es sumamente escasa, quedando este tópico generalmente circunscripto como una de las dificultades para la comprensión adecuada de la Teoría Especial de la Relatividad por parte de los estudiantes (Arriasecq, I. y Greca, I., 2005). En este sentido, los alumnos suelen considerar al sistema de referencia como algo decorativo, sin un fin explicativo, y muestran muy poco entendimiento del principio físico de relatividad galileana (Panse et al., 1994). Sin embargo, la importancia de los sistemas de referencia dentro de la enseñanza de la Física es innegable (Nuvoli, 1992; Bosman, Lazzeri y Legitimo, 1992; Dunin-Borkowski y Mank, 1992; Jiménez Gómez y Guirao Moya, 2007), por lo que su desarrollo constituye una tarea pendiente dentro de este área de investigación.

Por otro lado, la investigación en el área de la enseñanza de la Astronomía posee varias décadas de desarrollo, especialmente en lo referido a la indagación de las ideas que poseen estudiantes de todos los niveles, futuros docentes y docentes en ejercicio en relación con las causas de los fenómenos astronómicos cotidianos (Bailey y Slater, 2003). Al respecto, Vega Navarro (2007) realizó una síntesis de muchas de estas investigaciones en las que se indagaban las ideas de niños y adultos en relación a la forma de la Tierra y el concepto de gravedad, el ciclo día/noche, las estaciones del año y las fases lunares. Al mismo tiempo se han diseñado, puesto en práctica y evaluado gran cantidad de propuestas didácticas para la enseñanza acerca de dichos fenómenos, con las cuales se han obtenido resultados diversos (Camino, 1995, 1999; García Barros, Mondelo y Martínez Losada, 1995, 1996; García Barros, et al., 2003; Atwood y Atwood, 1997; Moreno Lorite, 1998; Stahly, Krockover y Shepardson, 1999; Trundle, Atwood y Christopher, 2002, 2006, 2007; Olivares Alfonso, 2003; Hannust y Kikas, 2007; Ogan-Bekiroglu, 2007; Hans, Kali y Yair, 2008; Lanciano y Camino, 2008; Aydeniz y Brown, 2010; Shen y Confrey, 2010; Galperin, 2011; Kallery, 2011; Navarro Pastor, 2011; Plummer, Wasko y Slagle, 2011; Plummer, Kokareli y Slagle, 2014; Sneider, Bar y Kavanagh, 2011; Camino y Gangui, 2012; Çelikten et al., 2012; Jiménez Liso, López-Gay y Martínez Chico, 2012; Rincón Voelzke y Pereira Gonzaga, 2013; Isik-Ercan, Zeynep Inan y Nowak, 2014). Sin embargo, la mayoría de ellas describen y explican los fenómenos desde el sistema de referencia heliocéntrico, como si fuese el único posible para la descripción e interpretación de los mismos (Galperin y Raviolo, 2014).

En consecuencia, cobra relevancia la investigación en torno a los sistemas de referencia aplicados a la enseñanza de la Astronomía ya que permite abordar la conceptualización acerca de dichos sistemas, en conjunto con su utilización didáctica para lograr una mejor comprensión acerca de los fenómenos astronómicos ya mencionados. De este modo, se intenta profundizar en aspectos poco desarrollados dentro de la investigación en enseñanza de la Física:

- a) La indagación de las ideas intuitivas más comunes presentes en estudiantes y docentes en torno a la relatividad de los sistemas de referencia.
- b) El nivel de conceptualización acerca de la relatividad de los sistemas de referencia que es posible lograr en alumnos de nivel primario. En particular, la posibilidad de comprensión de la validez de las descripciones heliocéntrica y topocéntrica del movimiento de los astros.
- c) Las habilidades espaciales necesarias para una comprensión adecuada de los fenómenos astronómicos cotidianos desde un punto de vista externo a la Tierra.
- d) La potencialidad del sistema de referencia topocéntrico para describir, explicar y predecir los fenómenos celestes más cotidianos y regulares.

- e) El desarrollo de una secuencia didáctica para el nivel primario acerca del ciclo día/noche, las estaciones y las fases lunares basada en el sistema de referencia topocéntrico y en su relación con la observación a simple vista del cielo.
- f) La evaluación de los aspectos motivacionales presentes en los alumnos al poder vincular los contenidos escolares con el entorno celeste que los rodea.

## 1.6. Objetivos

### Generales

- a) Analizar qué sistema de referencia astronómico utilizan alumnos, docentes y textos para la descripción y explicación de los fenómenos astronómicos más apreciables a simple vista en el cielo (día y noche, estaciones del año y fases de la Luna).
- b) Diseñar y poner en práctica una propuesta didáctica para la enseñanza de la Astronomía en las escuelas basada en la utilización del sistema de referencia topocéntrico.

### Específicos

- a) Indagar las concepciones de estudiantes y docentes de la región de El Bolsón y Bariloche acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos.
- b) Examinar la relación entre las concepciones detectadas en alumnos y docentes y la utilización de un determinado sistema de referencia astronómico.
- c) Analizar el tratamiento que se realiza de los fenómenos mencionados en los textos de uso más frecuente en las escuelas de nivel primario.
- d) Desarrollar un modelo escolar ("modelo cinemático celeste") que permita describir en forma sencilla los movimientos del Sol, la Luna y las estrellas nocturnas en el cielo con el fin de poder explicar los fenómenos astronómicos cotidianos desde el sistema de referencia topocéntrico.
- e) Implementar una propuesta didáctica basada en el "modelo cinemático celeste" desarrollado, en un curso de los últimos años del nivel primario.
- f) Llevar adelante un diseño de investigación de seguimiento y evaluación de la propuesta didáctica mencionada en el punto anterior.

## 1.7. Preguntas de la Investigación

- a) ¿Cuáles son los conocimientos y concepciones alternativas más frecuentes en alumnos y docentes de distintos niveles educativos de la región sobre los fenómenos astronómicos más apreciables a simple vista en el cielo?
- b) ¿Cuáles son los sistemas de referencia que emplean alumnos y docentes para describir y explicar los fenómenos astronómicos cotidianos? ¿Pueden existir dificultades relacionadas con la utilización de un sistema de referencia centrado en el Sol para explicar fenómenos que son observados desde un punto de la superficie terrestre (que no es el punto origen del sistema)?

- c) ¿Puede existir relación entre las dificultades de comprensión detectadas en los alumnos y el tratamiento que se realiza del tema en los libros escolares? ¿Qué sistema de referencia astronómico se utiliza en estos textos?
- d) ¿Qué características debe tener un modelo escolar que permita describir en forma sencilla los movimientos del Sol, la Luna y las estrellas nocturnas en el cielo con el fin de poder explicar los fenómenos astronómicos cotidianos desde el sistema de referencia topocéntrico?
- e) ¿Cómo debería ser una propuesta didáctica dirigida a alumnos de los últimos años del nivel primario que utilice el sistema de referencia topocéntrico para comprender acerca de los fenómenos celestes más apreciables? ¿Cómo puede implementarse esta propuesta centrada en la observación a simple del cielo, tanto de día como de noche?
- f) ¿Qué evaluación se puede hacer de la propuesta didáctica implementada? ¿Qué ventajas y dificultades origina la utilización del sistema de referencia topocéntrico en las aulas?

### 1.8. Presentación sintética de la Tesis

En el **Capítulo 1** se detallan los lineamientos del trabajo de investigación, las reflexiones y preguntas que lo han guiado y los fundamentos generales del mismo.

En el **Capítulo 2** se desarrollan los fundamentos que han permitido delinear el proceso de investigación en relación a la construcción de conocimiento sobre los fenómenos astronómicos cotidianos a partir de la utilización didáctica del sistema de referencia topocéntrico. Para ello se presentan los lineamientos relacionados con las perspectivas cognitiva, epistemológica y didáctica y, a su vez, se incluyen los fundamentos físicos de la investigación en base a la reconstrucción del saber validado por la comunidad científica de referencia.

En el **Capítulo 3** se encuentra detallada la metodología utilizada, incluyéndose la misma dentro del marco de la investigación cualitativa, centrando la atención en el análisis y la transformación de la práctica educativa dentro del aula de clase en relación a la enseñanza y el aprendizaje acerca de los fenómenos celestes.

En el **Capítulo 4** se brindan los resultados del proceso de revisión bibliográfica llevado a cabo, el cual se orientó a conocer las concepciones más comunes presentes en estudiantes y docentes en relación a los fenómenos astronómicos cotidianos, las propuestas de enseñanza sugeridas e implementadas en investigaciones anteriores y el modo de inclusión del tema "sistemas de referencia" como parte del desarrollo de los contenidos de astronomía.

En el **Capítulo 5** se presentan resultados preliminares obtenidos en el marco de esta investigación. En los mismos se analizan los sistemas de referencia astronómicos utilizados en los distintos artículos presentes en la revisión bibliográfica, las imágenes sobre los fenómenos celestes presentes en los libros escolares y los conocimientos de alumnos y docentes de la zona acerca del fenómeno del día y la noche. Estos resultados permiten poner en contexto la investigación y mostrar la pertinencia de este trabajo de Tesis.

En el **Capítulo 6** se presenta el diseño de la propuesta de enseñanza a ser llevada a cabo en un curso de los últimos años de la escuela primaria, y su análisis a priori del proceso de implementación. La misma propone la enseñanza de los fenómenos del día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna a partir de un modelo cinemático celeste basado en el uso del sistema de referencia topocéntrico.

En el **Capítulo 7** se detalla el proceso de implementación de la propuesta didáctica y el análisis de los resultados obtenidos. Para ello se presentan transcripciones de los registros de audio de las clases y producciones elaboradas por los alumnos, lo que permite analizar la estructura conceptual reconstruida por los estudiantes. Finalmente, se desarrolla un análisis cuantitativo del proceso de conceptualización.

En el **Capítulo 8** se discuten las conclusiones y las implicaciones que se desprenden de este trabajo de investigación en relación con los objetivos planteados al inicio del mismo. A su vez, se analizan las proyecciones futuras acerca de la investigación en relación a la enseñanza "topocéntrica" de los fenómenos astronómicos cotidianos.

En el **Capítulo 9** se encuentran las referencias bibliográficas mencionadas a lo largo de la Tesis.

El **Anexo** presenta información que complementa desarrollos presentes en distintas secciones, la cual es incluida aquí para no extender el contenido de cada capítulo y para clarificar su exposición. Incluye un desarrollo teórico acerca de los sistemas de referencia y de la explicación de los fenómenos astronómicos cotidianos, el análisis de los artículos de la revisión bibliográfica en relación a los sistemas de referencia, la guía de actividades de observación del cielo, el material informativo para los alumnos sobre los fenómenos astronómicos cotidianos utilizando el sistema de referencia topocéntrico y registros de observaciones del cielo realizadas por alumnos y docentes. Por último, contiene tablas de datos que permitieron realizar un análisis estadístico del proceso de conceptualización.



## CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

---

### 2.1. Introducción

En este capítulo se detallan los aportes que realizan diferentes campos teóricos que se conjugan en el abordaje del problema definido en el capítulo anterior en relación a la utilización didáctica del sistema de referencia topocéntrico. En este sentido, se desarrollan los fundamentos cognitivos, epistemológicos, didácticos y físicos que guiarán el proceso de construcción de los conocimientos a enseñar, a partir de los saberes astronómicos científicamente aceptados en relación a los fenómenos astronómicos cotidianos y a los sistemas de referencia utilizados en astronomía.

Desde el campo cognitivo se centra la atención en la corriente constructivista del aprendizaje y en el modo en que los estudiantes construyen sus representaciones internas acerca de los fenómenos naturales. A su vez, se posa la mirada en las actividades cognitivas complejas vinculadas al aprendizaje de conceptos científicos.

Desde el campo epistemológico se tienen en cuenta aspectos de la naturaleza de la ciencia, de las características de las teorías y modelos científicos, y de sus similitudes y diferencias con los modelos de enseñanza utilizados en las aulas.

Desde lo didáctico se toman ideas relativas al proceso de transformación de los conocimientos científicos en los contenidos de la ciencia escolar, describiendo las etapas del proceso de transposición didáctica que van desde la reconstrucción de la Estructura Conceptual de Referencia (ECR), la construcción de la Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar (ECPE) y, finalmente, el análisis de la Estructura Conceptual Efectivamente Reconstruida (ECER) por los estudiantes (Otero, 2006, 2007; Fanaro, 2009).

Por último, se presentan los fundamentos físicos de esta investigación, los cuales involucran el desarrollo de los conocimientos científicamente aceptados acerca de los sistemas de referencia y, en particular, de los sistemas de referencia astronómicos. Estos últimos constituyen un eje central en el diseño de la propuesta didáctica a ser elaborada e implementada.

### 2.2. Fundamentos cognitivos

En el marco de este trabajo de investigación, las contribuciones cognitivas de relevancia para el desarrollo del saber a enseñar se centran en la corriente constructivista del aprendizaje, la cual concede una gran importancia a la participación del sujeto en el proceso de aprendizaje, construyendo sus propias representaciones o interpretaciones de la realidad por medio de signos, imágenes, proposiciones, modelos mentales y esquemas. Esta concepción constructivista postula que el conocimiento no es una copia o reflejo de la realidad, tal como planteaban posturas empiristas anteriores, sino que es altamente dependiente del sujeto y del contexto en que se genera. En este sentido, existe actualmente consenso respecto a que cada persona realiza importantes aportes al acto de conocer, construyendo sus propias representaciones o interpretaciones de la realidad, lo que le permite comprenderla y operar sobre ella.

En consecuencia, se puede decir que no existe un mundo o una realidad “única” ya que la misma es construida por cada persona de un modo diferente en función de las transformaciones que ocurren debido al complejo funcionamiento del sistema cognitivo humano. En este sentido, “*no conocemos el mundo directamente sino que lo representamos por medio de signos, símbolos, esquemas, modelos mentales, imágenes y proposiciones*” (Otero, 1999, p. 94). Por lo tanto, no existe una relación directa entre las representaciones internas (o mentales) que construyen los sujetos, y que pasan a formar parte de su estructura cognitiva, y las representaciones externas, las cuales pueden ser icónicas (o pictóricas), verbales o una combinación de ambas.

Sin embargo, pese al acuerdo existente en relación a cómo las personas aprenden y construyen sus ideas sobre el mundo externo, existen diferentes explicaciones acerca del modo en que se produce este proceso de construcción personal. En este sentido, algunos investigadores han centrado su análisis en la dimensión individual del propio sujeto, mientras otros han puesto el acento en el contexto sociocultural. Por otro lado, existen investigaciones vinculadas al análisis de las representaciones internas construidas por los sujetos, y al modo en que tiene lugar este proceso, mientras que otros trabajos enfatizan y ponen en cuestionamiento la relación entre la mente del sujeto y la realidad, señalando la no correspondencia unívoca entre ambos.

En esta sección se realiza una descripción de ideas de distintos autores relacionadas con el proceso de aprendizaje y de desarrollo cognitivo, detallando algunas consecuencias didácticas que pueden derivarse de estas investigaciones con el fin de utilizarlas en la construcción de una propuesta fundamentada de enseñanza acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos en las aulas.

### **2.2.1. Representaciones internas y externas**

El estudio científico de la mente humana representa una tarea muy compleja. Esto se debe a que los fenómenos a analizar no son accesibles en forma directa, pudiendo observarse solamente aspectos externos como el lenguaje y algunas manifestaciones de la memoria y del razonamiento. Por lo tanto, se debe utilizar alguna teoría para lograr inferir los procesos mentales internos en función de las manifestaciones externas (Otero, 1999). A su vez, los sentimientos, las emociones y los estados de ánimo influyen en gran medida en las funciones mentales, modificando distintas capacidades tales como las de memorizar, de comprender, de percibir, de recordar y de aprender (Izquierdo, 2004).

Al respecto, el proceso de formación de sucesivas representaciones internas en los estudiantes es central en la elaboración de una propuesta didáctica fundamentada ya que una de las metas de la educación escolar a la hora de enseñar ciencias es lograr que los alumnos construyan modelos escolares que, en forma similar al modo en que lo hacen los modelos científicos, puedan actuar como mediadores entre la teoría y la realidad (Lombardi, 1998). Sin embargo, no debe caerse en una postura ingenua de pensar que existe una relación directa entre las representaciones internas que construyen los sujetos y las representaciones externas a las que éste se encuentra expuesto. Es decir que la exposición a representaciones externas no determinará cuál será la representación interna que se construirá, ni el formato, ni los significados a los que arribará cada persona.



## 2.2.2. El aprendizaje significativo de Ausubel

En relación con la idea de que las construcciones mentales de los individuos no son réplicas de las informaciones externas que reciben a través de sus sentidos, y que el desarrollo cognitivo no se produce de la misma manera en forma individual que en forma colectiva en las aulas, se destacan los trabajos de David Ausubel. El concepto central de su teoría, enfocada a la actividad intelectual en el ámbito escolar, es el de “aprendizaje significativo”, un proceso en el cual la nueva información se relaciona de manera sustantiva y no arbitraria con un aspecto relevante de la estructura cognitiva del sujeto que aprende. En este proceso, la nueva información interacciona con una idea, proposición o concepto ya existente en la estructura cognitiva, llamado “concepto subsumidor”, que sirve de “anclaje” para dicha información (Ausubel, 1968).

De esta manera, el aprendizaje significativo tiene lugar cuando se produce la “asimilación” de la nueva información, proceso en el cual ésta “se ancla” en los “subsumidores” existentes en la mente del sujeto, provocando la modificación de ambos (subsumidor e información nueva). Este proceso requiere predisposición para aprender por parte del estudiante y que el material que le sea presentado por el docente sea potencialmente significativo en función de que el alumno posea las ideas de anclaje adecuadas para su asimilación.

En contraposición con el aprendizaje significativo, Ausubel define el “aprendizaje mecánico”, en el que la nueva información no se relaciona con la ya existente en la estructura cognitiva, por lo que se aprende en forma literal y arbitraria, prácticamente sin relación con subsumidores específicos. Sin embargo, este tipo de aprendizaje es necesario cuando un individuo adquiere nuevas informaciones en un área de conocimiento que le es completamente novedosa, hasta que algunos nuevos elementos de conocimiento estén presentes en su estructura cognitiva y puedan servir como subsumidores (Novak, 1977).

Por su parte, Ausubel sostiene que si una persona posee madurez intelectual suficiente pero no dispone de los subsumidores necesarios para el aprendizaje significativo, se torna indispensable el uso de “organizadores previos”, los que actúan como puente entre lo que ya se sabe y lo que se precisa saber para aprender significativamente el nuevo material. Estos organizadores son materiales introductorios que se presentan antes del propio material que va a ser aprendido, pero en un nivel más alto de abstracción. Su función es la de *“llenar la laguna entre lo que el alumno ya sabe y lo que precisa saber, para que el nuevo conocimiento pueda aprenderse de forma significativa”* (Moreira, 1999, p. 11).

Para Ausubel, el conocimiento previo es la variable que más influye en el aprendizaje ya que sólo es posible aprender a partir de aquello que ya se conoce. En consecuencia, el desarrollo cognitivo representa un proceso dinámico en el que nuevos y antiguos significados se encuentran interactuando constantemente, dando como resultado una estructura cognitiva más organizada, con una cierta organización jerárquica, en la cual los conceptos más generales abarcan progresivamente a proposiciones y conceptos menos inclusivos (Ausubel, 1976).

Para Ausubel, el conocimiento previo es la variable que más influye en el aprendizaje ya que sólo podemos aprender a partir de aquello que ya conocemos:

*"Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría este: de todos los factores que influyen en el aprendizaje, el más importante consiste en lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto, y enséñese consecuentemente" (ibíd., p. 151).*

La Teoría del Aprendizaje Significativo ha tenido importantes consecuencias pedagógicas ya que ha incorporado el análisis de la evolución de la estructura cognitiva del sujeto que aprende como una parte fundamental del proceso educativo. En este sentido, propone que el docente identifique los conceptos principales que articulan una disciplina y, por otra parte, que los desarrolle adecuadamente para que resulten significativamente aprendidos.

Las ideas ausubelianas han reconocido la existencia de concepciones anteriores al proceso de enseñanza formal en los alumnos, las cuales deben ser conocidas para planificar adecuadamente las estrategias didácticas a utilizar en las clases. De allí ha surgido una línea de investigación muy fuerte con el fin de conocer estas "ideas o concepciones alternativas" que suelen encontrarse en forma implícita en la mente de los alumnos, las cuales es importante conocer y hacer explícitas con el fin de que puedan ser revisadas y cuestionadas por el propio sujeto.

Para Ausubel, los conceptos constituyen un eje central en el aprendizaje significativo ya que su asimilación en forma no literal a la estructura cognitiva produce una modificación sustancial de la misma. Esto permite dar nuevos significados a los conceptos y proposiciones presentes en ella, enriqueciendo la estructura cognitiva ante la aparición de nuevos subsumidores que antes no se encontraban presentes. El lenguaje juega un rol fundamental en este proceso ya que el aprendizaje significativo se logra por medio de la verbalización y, por lo tanto, implica la comunicación entre distintos individuos, y con uno mismo (Rodríguez Palmero, 2008).

Pese a que Ausubel plantea a la exposición verbal como el modo más eficiente de enseñar en forma significativa, cuestión que ha sido muy criticada, hay que valorar sus ideas en contexto ya que su teoría toma impulso en los años setenta, en medio de la polémica con otros dos modelos de enseñanza muy vigentes en ese momento: el aprendizaje por descubrimiento y la enseñanza receptiva. Sin embargo, la postura de Ausubel asume al proceso de aprendizaje del estudiante como totalmente activo cognitivamente, lo cual ha resultado un gran aporte a la enseñanza de las ciencias y a las investigaciones posteriores en relación al modo de construcción de las concepciones de los estudiantes.

Algunas de las críticas realizadas al aprendizaje significativo se centran en la persistencia de las ideas anteriores al proceso de enseñanza en la mente de los alumnos. En este sentido, algunos autores asociaron esta dificultad detectada con la escasa importancia dada por la teoría de Ausubel a la toma de conciencia acerca de la reestructuración del propio conocimiento por parte de cada sujeto. A su vez, en muchos casos el concepto de aprendizaje significativo ha sido trivializado, utilizándose sin conocer en profundidad su significado ni su fundamentación teórica (Moreira, 1997).

Aportes más recientes han permitido ampliar las ideas acerca del aprendizaje significativo y sus implicancias educativas. Pese a que Ausubel había propuesto que la predisposición del estudiante es importante en el proceso de construcción de significados, Novak (1988) incorpora como central la influencia de la experiencia emocional y de los sentimientos en dicho proceso.

A su vez, el constructo aprendizaje significativo puede considerarse actualmente como una idea compatible con distintas teorías constructivistas, desde las piagetianas hasta las vigotskianas, propiciando un marco teórico común que subyace a varias de ellas.

Como ya se ha mencionado, es crucial que quien aprende sea crítico con su proceso cognitivo, manifestando su disposición a trabajar activamente para atribuir significados. Al respecto, Moreira (2000) plantea las ideas del “aprendizaje significativo crítico”, que propone una serie de principios básicos a tener en cuenta al momento de planificar una adecuada enseñanza: que el alumno pueda aprender a partir de distintos materiales educativos, que aprenda a preguntar más que a responder, que cuestione sus propias representaciones del mundo, que analice cómo el lenguaje influye en dichas representaciones, que comprenda que el significado está en las personas y no en las palabras, que pueda reconocer al error como fuente de aprendizaje y que las definiciones y las metáforas son instrumentos útiles para poder pensar.

El aprendizaje significativo ha mostrado poseer importantes implicancias educativas, particularmente en lo relativo a la necesidad de conocer las concepciones que poseen los estudiantes antes de comenzar un proceso de instrucción acerca de una determinada temática. A continuación se abordan algunas teorías psicológicas que permiten comprender con más detalle cómo se produce el proceso cognitivo de interpretación del mundo y de construcción de significados.

### **2.2.3. Los modelos mentales de Johnson-Laird**

En relación con las representaciones internas que construyen los sujetos con el fin de interpretar el mundo y construir significados, Johnson-Laird (1983) propuso la existencia de un triple código representacional formado por proposiciones, imágenes y modelos mentales. Esto se contrapone con las ideas anteriores, donde se pensaba que los aspectos cognitivos estaban mediados únicamente por procesos verbales y lingüísticos.

Una proposición es una representación abstracta, es una afirmación verbalmente expresable que toma la información explícita proveniente de distintas formas del lenguaje verbal y que posee una estructura que puede escribirse a partir de predicados y argumentos. Por su parte, las imágenes mentales son producto de la percepción y/o de la imaginación y representan aspectos perceptibles de los objetos del mundo real. Las imágenes son representaciones analógicas con una similitud estructural con aquello que representan y no meras experiencias subjetivas (Otero, 1999). Ser una representación analógica implica que la imagen de un objeto debe parecerse en forma, tamaño y orientación a aquello que está representando. Las mismas no pueden representar elementos abstractos y contienen características visuales sin poseer capacidades explicativas. Por último, los modelos mentales constituyen una representación interna que actúa como modelo de trabajo y permite al sujeto razonar y explicar el funcionamiento de las cosas. En este sentido, los modelos mentales “*permiten a los individuos hacer inferencias, entender fenómenos, decidir las actitudes a ser tomadas, controlar su ejecución y principalmente experimentar eventos*” (Johnson-Laird, 1983, p. 397).

A diferencia de las imágenes mentales, que representan los aspectos perceptibles y concretos de una situación desde el punto de vista de un observador (por ejemplo, la imagen de un triángulo en particular), los modelos mentales permiten representar

elementos abstractos no visualizables que pueden corresponder a toda una clase de situaciones (por ejemplo, la definición de triángulo en general). El modelo mental subyacente contiene las relaciones necesarias para definir triángulo. La proposición “la suma de los ángulos interiores de un triángulo es  $180^{\circ}$ ” puede ser evaluada como verdadera o falsa con respecto al modelo mental. Las imágenes comparten los atributos del modelo mental pero son apenas una visual de éstos y no poseen capacidades explicativas.

Los modelos mentales pueden ser completamente analógicos o parcialmente analógicos y parcialmente proposicionales. Que sea analógico se traducirá en que la persona posee una comprensión más cualitativa del fenómeno, basada en la utilización de imágenes mentales, que en general se expresan en sus explicaciones mediante dibujos o movimientos corporales (Greca y Moreira, 1996). En el otro caso, el proposicional, puede traducirse en que la persona maneje definiciones y relaciones matemáticas, que no significa que pueda interpretarlas a la luz de un modelo. En el ámbito educativo, es común que los estudiantes guarden de manera inconexa definiciones y leyes que serán olvidadas después de la evaluación. En cambio los modelos mentales son más fáciles de recordar porque requieren mayor cantidad de procesamiento para ser construidos. A su vez, el razonamiento es perfectamente posible sin la necesidad de construir imágenes mentales, como queda en evidencia al utilizar conceptos totalmente abstractos como verdad o justicia (Johnson-Laird, 1996).

Johnson–Laird (1983) sostiene que los sujetos perciben el mundo y construyen modelos a partir de los cuales pueden evaluar afirmaciones acerca del mundo y manipular dichos modelos para realizar inferencias sobre conocimientos abstractos. Además, pueden establecer correspondencias entre los modelos y el lenguaje, de modo que por medio de comportamientos simbólicos como expresiones lingüísticas, los modelos pueden ser comunicados a los demás. De esta manera, cuando otra persona decodifica una expresión lingüística, construye un modelo que se parece, pero no es idéntico, al estado de cosas del mundo que su interlocutor intenta comunicar. En consecuencia, los modelos mentales desempeñan un rol central en la representación de objetos, hechos y eventos de la vida diaria, permitiendo realizar inferencias, comprender fenómenos, decidir actitudes y experimentar eventos. Por lo tanto, son el instrumento con el que se aprehende la realidad exterior que no es posible incorporar directamente como tal. Sin embargo, existe una diferencia importante entre los modelos y las imágenes: las personas suelen ser conscientes de las imágenes mentales que poseen, aunque muchas veces no son conscientes de los modelos mentales que utilizan.

Los modelos mentales son representaciones funcionales, funcionales a los sujetos, que los mismos construyen para representar sistemas físicos u abstractos y que no necesitan ser precisos, modificándose naturalmente al interactuar con el sistema hasta alcanzar una cierta funcionalidad. En consecuencia, un modelo mental nunca es completo ya que va siendo ampliado a medida que nuevas informaciones son incorporadas en un proceso de revisión que depende del conocimiento del sujeto, de su destreza y de la finalidad para la cual el modelo es construido (Greca y Moreira, 1998).

#### **2.2.4. Los modelos conceptuales**

En relación con la enseñanza de las ciencias, comprender un fenómeno natural involucra la construcción de un modelo mental que permita conocer sus causas, sus efectos y su funcionamiento, lo cual implica mucho más que conocer la lógica proposicional de sus enunciados o formulaciones matemáticas. En este sentido, el aprendizaje acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos desde el sistema de referencia topocéntrico requiere construir las representaciones mentales adecuadas para comprender el modo de desplazamiento del Sol, la Luna y las estrellas nocturnas en el cielo, para explicar dichos fenómenos utilizando los cambios de posición observables a simple vista y para predecir cómo ocurrirán y se repetirán estos sucesos.

Estas representaciones internas a construir tienen su correlato en los llamados modelos conceptuales que, a diferencia de los modelos mentales, son representaciones externas creadas por investigadores, profesores, ingenieros, con el fin de facilitar la comprensión o la enseñanza de sistemas físicos. Son representaciones precisas, completas y consistentes con el conocimiento científicamente compartido. En este sentido, mientras los modelos mentales son representaciones internas, personales y funcionales, los modelos conceptuales son representaciones externas, compartidas por una determinada comunidad y consistentes con el conocimiento científico que esa comunidad posee. Los modelos conceptuales son una representación simplificada de objetos, fenómenos o situaciones reales y pueden expresarse como formulaciones matemáticas, verbales o pictóricas, de analogías o de artefactos materiales (Moreira, Greca y Rodríguez Palmero, 2002). En contraposición, los modelos mentales pueden permitirle al sujeto explicar y predecir con relativa precisión determinado fenómeno físico pero, dado que son personales y funcionales, estas ideas pueden no ser adecuadas desde el punto de vista científico.

Esta diferencia entre modelos conceptuales y mentales posee relación con el proceso de enseñanza y aprendizaje que ocurre en las escuelas. Las investigaciones muestran que no existe una correlación directa entre el modelo conceptual que presenta el docente en el aula y los modelos mentales que construyen sus alumnos. A su vez, tampoco se verifica en muchos casos la idea de que los modelos mentales que los alumnos traen al aula evolucionan, con el correr del tiempo, hacia los modelos conceptuales con que son instruidos. A su vez, esto se reitera en los libros de texto, donde los modelos y teorías científicas aparecen como estructuras acabadas, lógicamente organizadas, sin tener en cuenta que esto no implica que las clases de representaciones que los científicos emplean para pensar la teoría sean idénticas, ni que para razonar en situaciones nuevas utilicen esas mismas reglas lógicas (Greca y Moreira, 1996).

Como un ejemplo de lo anterior es posible mencionar el modelo conceptual elaborado para intentar explicar las estaciones del año utilizando una esfera de telgopor y una linterna, como análogo concreto del movimiento de la Tierra (la esfera), con su eje inclinado, alrededor del Sol (la linterna). Al respecto, diversas investigaciones muestran que, a partir de la propia interpretación de este modelo conceptual por parte de alumnos, y también de docentes, es común la construcción de modelos mentales que continúan relacionando inadecuadamente a las estaciones del año con su alejamiento o acercamiento al Sol, dejando de lado en todo momento a la inclinación del eje terrestre como el factor más importante dentro de la explicación (Vega Navarro, 2007).

Otro ejemplo de la diferencia sustancial entre los modelos mentales construidos por los alumnos y los modelos conceptuales que intentan transmitir los docentes (o los medios masivos de comunicación) se aprecia en relación a la esfericidad de la Tierra y a la posición de las personas en ella. Al respecto, es sabido que los niños reciben mensajes continuos desde muy temprana edad respecto a que ellos viven en un planeta, la Tierra, y que el mismo tiene forma esférica. Esta información se transmite en forma proposicional, “las personas vivimos en la Tierra”, o pictórica, mediante imágenes o dibujos de nuestro planeta visto desde el espacio exterior.

De este modo, es común que gran parte de los niños de 5 años expliciten verbalmente estas ideas en forma proposicional: “Las personas vivimos en la Tierra, que es redonda”. Sin embargo, diversas investigaciones han permitido detectar que muchos alumnos de entre 8 y 10 años de edad poseen un modelo mental en el que representan a la Tierra esférica pero hueca, de forma tal que sostienen la idea de estar viviendo adentro del planeta Tierra y no en su superficie (Vosniadou y Brewer, 1992). En este sentido, Vosniadou (1994) propone que este modelo mental construido por los estudiantes es un “modelo sintético” resultado de la combinación entre el modelo culturalmente aceptado respecto a la esfericidad de la Tierra y los modelos mentales iniciales que ya poseen los estudiantes en base a su percepción cotidiana de los fenómenos. Este modelo de “Tierra hueca” estaría basado en dos presupuestos básicos presentes en los niños acerca del funcionamiento del mundo físico: a) que el espacio está organizado en función de las direcciones arriba y abajo en relación a una tierra plana y b) que los objetos caen hacia abajo si no se encuentran sostenidos.

Los modelos mentales de los estudiantes no son accesibles directamente sino que se infieren desde los distintos modos de la comunicación humana. Cuando los modelos mentales son puestos en dominio público a través de cualquier modo de representación, se convierten en modelos expresados (Gilbert y Boulter, 2000). Estos modelos constituyen representaciones externas, expresadas a través de la acción, el habla, la escritura, el dibujo u otra forma material de representación. El acto de expresar un modelo mental tiene un efecto sobre el mismo dado que, al expresarlo, éste cambia. Como se aprecia en el párrafo anterior, las investigaciones sobre los modelos mentales de los alumnos en función de sus exteriorizaciones suele asignar rótulos, como el “modelo de la Tierra hueca”, los cuales corresponden a modelos mentales definidos o caracterizados por la investigación.

Existe suficiente evidencia de que la presentación de una representación externa, tal como el modelo conceptual que el docente, los materiales curriculares o los medios de comunicación intentan transmitir, no implica en modo alguno la construcción por parte de los alumnos de una representación interna idéntica. Por el contrario, dado que la construcción de los modelos mentales es una actividad personal de cada individuo, cobra relevancia la transformación de los modelos científicos en modelos curriculares o de enseñanza (Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998) con el fin de adaptarlos al nivel de desarrollo y a la estructura cognitiva de los estudiantes en función de la comprensión de determinados fenómenos físicos que se consideran relevantes.

Dado que los modelos mentales de los estudiantes poseen la capacidad de irse modificando a medida que se aporta nueva información o en función de nuevas etapas de desarrollo de cada sujeto, es indispensable que los modelos de enseñanza vayan evolucionando a lo largo de los distintos niveles educativos. Este proceso dinámico incluye la construcción y puesta a prueba del modelo enseñado con el fin de acercarlo paulatinamente a los modelos curriculares que han sido consensuados por la comunidad educativa como los más adecuados para cada nivel educativo. Al respecto, Clement

(2000) propone un proceso de aprendizaje a través de modelos intermediarios sucesivos, partiendo de las ideas iniciales de los estudiantes hasta llegar al modelo objetivo de enseñanza, que no necesariamente coincide con el modelo científico consensuado.

Los modelos conceptuales a utilizar en las clases de ciencias serán relevantes en la medida en que puedan actuar como mediadores entre el mundo de la teoría y el de la experiencia, cumpliendo distintas funciones: hacer predicciones, guiar la investigación, hacer un sumario de datos, justificar resultados, proveer explicaciones y facilitar la comunicación (Justi y Gilbert, 1999). En este sentido, dado que la relación entre modelo y realidad es compleja, la elección del más adecuado estará determinada por los propósitos de estudio y por las condiciones de su realización, por lo cual será preferible aquel que sea más potente a la hora de realizar predicciones y de poder ponerlas a prueba con el fin de legitimar la validez del modelo elegido (Islas y Pesa, 2004). En consecuencia, dado su carácter de constructos humanos tentativos posibles de ser modificados y ampliados, los modelos de enseñanza deben evaluarse constantemente en función de su validez como representaciones de la realidad.

### **2.2.5. La modularidad de Karmiloff-Smith**

Para comprender el proceso por el cual el sujeto va construyendo y modificando sus representaciones internas en función de la interacción con el ambiente y de su propio proceso de desarrollo, Karmiloff-Smith (1994) realizó aportes a partir de posicionarse en una postura intermedia entre el innatismo de Jerry Fodor y el constructivismo extremo de Jean Piaget.

Según Fodor (1986), la mente está compuesta de módulos o sistemas de entrada de datos innatamente especificados con propósitos específicos. Esta teoría presenta al bebé recién nacido como un ser que posee módulos preconfigurados que le permiten recibir y procesar la información procedente del entorno, en forma similar al sistema computacional de procesamiento de la información. En este sentido, Fodor establece dos procesos mentales distintos: el perceptivo, de ingreso de la información en forma automática e involuntaria, y el cognitivo o sistema central, de procesamiento de dicha información en forma voluntaria. De esta manera, si por algún motivo un módulo no se encuentra presente, el aprendizaje en determinado dominio no puede darse dado que la información no logra recibirse ni procesarse.

Las ideas innatistas de Fodor minimizan la influencia del ambiente en el desarrollo y su posición modularista enfatiza que el proceso de aprendizaje es de dominio específico, al igual que los módulos. Esto se contraponen radicalmente con la teoría genética de Piaget, que sostiene la idea de la generalidad de dominios, donde el desarrollo implica cambios que afectan a todo el sistema cognitivo por igual, provocando una nueva estructuración del sujeto y del objeto. En este sentido, para Piaget existe una relación dialéctica entre sujeto y objeto en el proceso de conocimiento, en el cual el sujeto juega un rol activo de relevancia al interpretar la información proporcionada por los sentidos en función de los esquemas construidos a partir de continuos procesos de desequilibrio y equilibrio.

Por su parte, Karmiloff-Smith propone que las posturas de Fodor y de Piaget podrían no ser incompatibles si se le agregan algunas predisposiciones innatas a las propuestas de este último y una posibilidad de modularización más progresiva a las ideas del primero. Al respecto, se considera al niño recién nacido como un sujeto dotado de ciertas predisposiciones que orientan, pero que no determinan, y que aprende por interacción con su entorno pero, sobre todo, por interacción consigo mismo al ser cada vez más consciente de sus propias representaciones:

*“Los bebés y los niños son constructores activos de su propio conocimiento, y esto implica tanto la existencia de restricciones de dominio específico como de procesos de dominio general” (Karmiloff-Smith, 1994, p. 29).*

En contraposición a lo propuesto por Fodor respecto a la existencia de módulos especializados preestablecidos, Karmiloff-Smith propone pensar el desarrollo como un proceso de modularización que sería el resultado del desarrollo cognitivo y no su punto de partida. Para ello, la autora propone un modelo de “Redescripción Representacional” o “RR” que *“pretende explicar de qué manera se hacen progresivamente más manipulables las representaciones de los niños, cómo surge el acceso consciente al conocimiento y cómo los niños construyen teorías” (ibíd., p. 37)*. Este proceso abarca tres fases y cuatro niveles de representación a través de los cuales el conocimiento, inicialmente específico y totalmente implícito, se re-representa volviéndose explícito y accesible, a veces, a todo el sistema cognitivo.

En la fase 1 el niño se centra principalmente en la información proveniente del medio externo en forma de datos y en su adición representacional sin interactuar con las representaciones existentes. Esta fase finaliza cuando se alcanza una cierta “maestría conductual”, lo que implica la capacidad de ejecutar en forma correcta las conductas relativas a un microdominio específico.

En la fase 2 el niño ya no se centra en los datos externos por lo que el centro del cambio pasan a ser las representaciones internas, que se vuelven accesibles a otras partes de la mente como estructura de datos. Por ese motivo es posible que se produzca una disminución de las conductas correctas debido a la confrontación interna y conflictiva entre aspectos que antes se encontraban yuxtapuestos y no relacionados. La aparición de estos “errores conductuales” no implica en modo alguno una marcha hacia atrás en la estructura representacional.

Por último, en la fase 3 las representaciones internas se reconcilian con los datos externos y, en consecuencia, se alcanza un equilibrio entre la búsqueda de control interno y externo, con lo cual el conocimiento se torna consciente y verbalizable.

A su vez, el modelo RR postula la existencia de al menos cuatro niveles en los que el conocimiento puede representarse y re-representarse: Implícito (I), Explícito 1 (E1), Explícito 2 (E2) y Explícito 3 (E3). Estos niveles no corresponden a estadios que dependen de la edad del sujeto, sino que son parte de un proceso de desarrollo en los distintos microdominios.

En el nivel I (Implícito) las representaciones son específicas de dominio y se obtienen como respuesta del organismo al medio. En este nivel las representaciones se encuentran disponibles en forma implícita como un todo, sin poder acceder a la información que contienen, por lo cual pueden procesar entradas específicas y responder rápida y eficazmente al entorno.



Posteriormente, el proceso de redescrición representacional posibilita la aparición de representaciones de nivel E1, donde las mismas se explicitan en un formato compactado y reducido que hace que se pierdan muchos detalles informativos. Pese a encontrarse explícitamente representado, el conocimiento todavía no puede expresarse verbalmente ni se puede acceder a él conscientemente, aunque está abierto a potenciales vínculos representacionales intra e interdominios. Sin embargo, las representaciones del nivel I siguen vigentes en la mente del niño, quien puede recurrir a ella para procesos que requieran automaticidad y rapidez.

El modelo RR también postula que la posibilidad de acceder conscientemente y de verbalizar las representaciones se abre recién cuando se supera el nivel E1. En este sentido, en el nivel E2 las representaciones se hacen accesibles a la conciencia pero aún no pueden expresarse verbalmente, lo que recién será posible en el nivel E3. En este último nivel el conocimiento se recodifica mediante un código común a todos los sistemas, cercano al lenguaje natural, de forma tal que resulte sencillo traducirlo a un formato verbalmente comunicable.

El modelo no propone un orden lineal estricto entre representaciones, aunque sí sostiene que la mayoría de las veces es necesario alcanzar “maestría conductual” antes de lograr producir una redescrición:

*“Existen múltiples niveles en los que un mismo conocimiento puede representarse” (ibíd., p. 43).*

A su vez, en contraposición al modelo piagetiano, este proceso de redescrición representacional actúa en diferentes momentos en cada dominio específico, por lo cual no se alcanza un nivel determinado a una cierta edad.

En relación con el diseño de secuencias de enseñanza para las clases de ciencias, un aporte del modelo de Redescrición Representacional es que centra la mirada en el proceso interno que ocurre en la mente del sujeto y no sólo en la interacción con el ambiente, lo que sugiere la necesidad de brindar espacios donde los estudiantes puedan reflexionar acerca de sus propias representaciones internas con el fin de re-representarlas y hacerlas cada vez más explícitas y verbalizables:

*“Mi idea es que una forma específicamente humana de obtener conocimiento consiste en que la mente explote internamente la información que ya tiene almacenada (tanto innata como adquirida) mediante el proceso de redescibir sus representaciones o, para ser más precisos, volviendo a representar iterativamente, en formatos de representación diferentes, lo que se encuentra representado por sus representaciones internas” (ibíd., p. 34).*

Al ser un proceso continuo y paulatino de transformación de los datos externos de un determinado microdominio en significados posibles de ser comunicados, el proceso de construcción de un determinado modelo conceptual puede llegar a abarcar mucho más que un año escolar. Esto muestra la necesidad de abordar un mismo eje de conocimiento en distintos ciclos y niveles educativos, aunque con distinta profundidad, comenzando por la adquisición de una cierta “maestría conductual” basada en la construcción de representaciones implícitas, las cuales servirán de base para su posterior redescrición. En consecuencia, ciertos aprendizajes mecánicos y repetitivos pueden tomarse relevantes dentro del aprendizaje escolar en esta primera etapa representacional.

A su vez, dado que las representaciones de nivel I no son explicitables, el modelo RR sugiere la necesidad de mantener ciertos recaudos al momento de evaluar los conocimientos alcanzados por los alumnos ya que la conducta de los estudiantes no será necesariamente representativa de sus representaciones internas. Sin embargo, luego de desarrolladas en un determinado microdominio, las mismas estarán siempre presentes y disponibles en caso de no existir otras mejores. Por lo tanto, es posible que un alumno posea representaciones de alto nivel en un dominio y no en otro, lo cual es frecuentemente observado en las aulas.

Una vez que los estudiantes construyeron representaciones implícitas acerca de un determinado dominio, es muy importante el proceso de redescrición con el fin de hacerlas evolucionar. En esta etapa cobra relevancia el desarrollo de secuencias didácticas adecuadas que permitan la interacción de los estudiantes con los fenómenos a analizar, con otras informaciones e ideas acerca de los mismos elaboradas por distintas personas, pero también por sus pares, con el fin de comenzar a reflexionar acerca de sus propias representaciones. Por lo tanto, este proceso de reorganización y reestructuración de la estructura cognitiva del sujeto es fundamental en las clases de ciencias, donde se deberían realizar evaluaciones constantes del nivel representacional en el que se encuentran los alumnos en cada dominio que se desee abordar.

En concordancia con lo mencionado, Karmiloff-Smith sostiene que existen tres modos de adquirir conocimiento: por especificación innata, por interacción con el entorno y por utilización del conocimiento ya representado. En función del segundo modo, cobra relevancia la interacción con personas, objetos y productos culturales dentro de las clases de ciencias. Sin embargo, es el tercer modo el que debe ser puesto en práctica para lograr el cambio representacional ya que este proceso interno, propio de cada sujeto, es el que permite redescibir internamente la información externa adquirida.

El modelo RR asigna gran importancia al éxito ya que sostiene que los cambios representacionales no ocurren necesariamente por fallos o inadaptaiones anteriores, tal como planteaba Piaget, sino que el proceso de redescrición ocurre por la necesidad del sujeto de ir más allá de lo conductual como modo de poder comprender sus propios procesos cognitivos. Por lo tanto, la enseñanza de las ciencias debería no sólo provocar un cierto conflicto cognitivo con las propias representaciones internas, sino también lograr que los alumnos construyan representaciones que les permitan comprender mejor el mundo físico y, sobre todo, el modo en que ellos lo están representando internamente:

*"En eso precisamente es en lo que creo que consiste el desarrollo: los niños no se conforman con lograr aprender a hablar o resolver problemas; también quieren comprender cómo hacen esas cosas. Y, al buscar dicha comprensión, se convierten en pequeños teóricos" (ibíd., p. 36).*

Como ya se ha detallado, el modelo indica la posibilidad de que los alumnos construyan representaciones internas que no puedan ser explicitables ni verbalizables, lo que implica la necesidad de poner en cuestionamiento determinadas frases de sentido común de los docentes que sostienen que una vez que el alumno entiende un fenómeno físico, puede explicarlo. Sin embargo, el poder explicarlo implica un nivel representacional más alto, pero no quiere decir, necesariamente, que no posea conocimientos acerca del fenómeno quien no logre hacerlo.

Como ejemplo de lo anterior, un trabajo de investigación mostró que niños de distintas edades podían dibujar casas, árboles y hombres, pero que sólo los chicos más grandes

podían dibujar una “casa que no exista” (ibíd., p. 193). Esto hace posible visualizar que un mismo procedimiento (dibujar una casa) no permite conocer el nivel representacional en el que se encuentra cada niño ya que éste podría estar haciéndolo en forma netamente mecánica. Por el contrario, dibujar una casa que no existe implica poder descomponer el procedimiento utilizado, convirtiéndolo en datos con los cuales poder trabajar internamente para resolver la situación planteada.

En síntesis, más allá de ciertas imprecisiones en relación al modo en que ocurre en la práctica el proceso de redescrición representacional, las ideas de Karmiloff-Smith poseen implicancias para diseñar las clases de ciencias y para pensar el modo más adecuado de lograr que los alumnos construyan, paulatinamente, representaciones internas acordes a los modelos conceptuales que los docentes intentan transmitir.

### **2.2.6. La Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud**

Esta construcción teórica constituye una teoría cognitivista que pone el acento en la complejidad cognitiva y en los mecanismos de conceptualización, ocupándose del estudio del desarrollo y del aprendizaje de competencias complejas, proporcionando un marco de referencia para comprender cómo se construye el conocimiento, entendiendo como tal el saber hacer y el saber expresado (Vergnaud, 1990).

Vergnaud asume que el conocimiento racional es una construcción del sujeto para adaptarse al medio, generando acciones que le permitan actuar en situación. Por eso sugiere que para estudiar a un sujeto hay que analizar su actividad, y no su conducta observable, ya que hay mucho más de conceptualización implícita que explícita. En este sentido, la conducta del sujeto sería sólo una pequeña parte visible del “iceberg” que constituye toda su actividad cognitiva.

Esta teoría reconoce la importancia del concepto de "esquema" en la teoría de Piaget, el cual sintetiza la relación entre la representación y la acción, aunque asumiendo la importancia del contenido del conocimiento y el análisis conceptual del mismo. Por ese motivo, Vergnaud sostiene que se debe analizar el funcionamiento cognitivo del sujeto cuando éste actúa en situación ya que, para él, Piaget no tomó conciencia de la vinculación entre el desarrollo cognitivo y las situaciones y conceptualizaciones necesarias para lidiar con ellas. A su vez, a diferencia de Piaget, sostiene que la complejidad conceptual de un determinado campo no puede ser reducida a algún tipo de complejidad lógica general ya que los estudiantes pueden encontrar dificultades diferentes en distintos campos del conocimiento (Vergnaud, 1994).

Por su parte, Vergnaud reconoce la influencia de la teoría de Vygotsky, indicando la importancia que tiene para los estudiantes la interacción social, el lenguaje y la simbolización en el progresivo dominio de un cierto campo conceptual. En consecuencia, el docente debe asumir el rol central de mediador en el proceso paulatino de dominio de un campo conceptual para brindar a sus alumnos las situaciones más oportunas con el fin de que éstos desarrollen y pongan en juego sus esquemas en la zona de desarrollo próximo (Vergnaud, 1998).

En esta construcción teórica, el centro del desarrollo cognitivo es la conceptualización, la cual es considerada la piedra angular de la cognición (ibíd.). En este sentido, Vergnaud sostiene que la conceptualización constituye un proceso específico del contenido, que

no puede ser reducido a operaciones lógicas generales, ni a operaciones meramente lingüísticas, ni a una reproducción social, ni a una emergencia de estructuras innatas, ni al modelo de procesamiento de la información (Vergnaud, 1983).

La teoría sostiene que el conocimiento está organizado en campos conceptuales cuyo dominio ocurre luego de un largo período de tiempo a través de experiencia, madurez y aprendizaje. Estos campos conceptuales pueden definirse como grandes conjuntos de situaciones y problemas cuyo análisis y tratamiento requiere diversas clases de conceptos, procedimientos y representaciones simbólicas que se conectan unas con otras (Vergnaud, 1982).

Esta aproximación mediante las situaciones es ventajosa dado que permite centrar el *“análisis en las tareas cognitivas y en los procedimientos que pueden ser puestos en juego en cada una de ellas”* (op cit., 1990, p. 8). En consecuencia, un campo conceptual es una unidad de estudio que puede ser tratada en forma independiente, aunque el estudio de uno de ellos puede ser importante para la comprensión de otro.

Por otra parte, se propone que un concepto adquiere sentido sólo a través de situaciones y problemas a resolver por el alumno, por lo cual no basta con conocer sólo su definición. Por lo tanto, un sujeto conoce un campo conceptual cuando domina un conjunto de situaciones que relacionan varios de los conceptos englobados en dicho campo, siendo en consecuencia las situaciones las que les dan sentido a los conceptos, constituyendo la entrada principal a un campo conceptual (Moreira, 2002).

El planteo del concepto de campo conceptual por parte de Vergnaud se basa en tres argumentos (Vergnaud, 1983):

- a) Un concepto no se forma dentro de un solo tipo de situaciones.
- b) Una situación no se analiza con un solo concepto.
- c) La construcción y apropiación de las propiedades de un concepto es un proceso largo que involucra diversas analogías y malos entendidos entre situaciones, conceptos, procedimientos y significantes.

Vergnaud llama “esquema” a la *“organización invariante de la acción para cierta clase de situaciones”* (Vergnaud, 1994, p. 53). Los esquemas necesariamente se refieren a situaciones, por lo cual debe hablarse de la interacción esquema-situación en vez de sujeto-objeto, como planteaba Piaget:

*“En los esquemas es donde se deben investigar los conocimientos-en-acto del sujeto, es decir, los elementos cognitivos que permiten a la acción del sujeto ser operatoria”* (Vergnaud, 1990, p. 2).

Por su parte, un esquema está formado por cuatro clases de elementos principales (Vergnaud, 1996):

Objetivos y anticipaciones: son las situaciones hacia las cuales está dirigido un esquema, en las cuales el sujeto puede descubrir una cierta finalidad de su actividad o esperar ciertos efectos o fenómenos.

Reglas de acción del tipo "si... entonces": son la parte generadora de los esquemas, permitiendo poner en marcha la secuencia de acciones de transformación de lo real, de acopio de información y de control de los resultados.

Invariantes operatorios: son la base conceptual implícita o explícita de los esquemas ya que permiten obtener la información pertinente e inferir de ella la meta a alcanzar y las reglas de acción adecuadas. Estos invariantes constituyen el "conocimiento en acción" que permite que la acción del sujeto se vuelva operatoria ante una determinada situación, pudiendo clasificarse principalmente en dos categorías: los conceptos-en-acto y los teoremas-en-acto.

Posibilidades de inferencia: dado que toda actividad requiere la realización de cálculos en situación, es necesario que el sujeto pueda realizar anticipaciones en función de los invariantes y de las informaciones con las que cuenta.

En cuanto a los invariantes operatorios, los *conceptos-en-acto* son concebidos como conceptos clave para resolver una cuestión o problema, los cuales están relacionados por medio de una construcción mental más compleja con formato proposicional, los teoremas-en-acto, que pueden considerarse verdaderos o falsos. De este modo, un *teorema-en-acto* es una proposición sobre lo real considerada como verdadera, mientras que un concepto-en-acto es una categoría de pensamiento considerada como pertinente (Vergnaud, 1998).

Dado que la percepción y la búsqueda y la selección de la información se basan en los conceptos-en-acto que posee el sujeto y en los teoremas-en-acto subyacentes a su conducta, los invariantes operatorios resultan indispensables para la articulación entre la teoría y la práctica, o entre las situaciones a las que se enfrenta y el conocimiento en acción que el sujeto posee. Sin embargo, los conceptos sólo pueden ser relevantes o irrelevantes ya que no permiten inferencias o derivaciones, las cuales requieren proposiciones, que pueden ser verdaderas o falsas (Greca y Moreira, 2002). En consecuencia, existe una relación dialéctica entre los "conceptos en acción" y los "teoremas en acción": los conceptos son parte de los teoremas, pero estos últimos son quienes les dan su contenido a los primeros.

Los invariantes operatorios pueden permanecer totalmente implícitos ya que se orientan hacia el saber hacer, más que hacia el desarrollo de conceptualizaciones. Por ese motivo, no son verdaderos conceptos ni teoremas ya que, en la ciencia, éstos son explícitos, haciendo posible discutir su pertinencia y veracidad. Por ese motivo, Vergnaud (1990) sostiene que los conocimientos explícitos serían la "punta del iceberg" de la conceptualización, debajo de la cual se encuentran los invariantes operatorios. A su vez, estos conocimientos explícitos son los que hacen posible la identificación de los invariantes operatorios asociados a los esquemas.

Por ejemplo, cuando los alumnos deben analizar una situación didáctica relacionada con el movimiento de un cuerpo en una trayectoria curvilínea, es común que a partir de sus propias experiencias previas en este tipo de movimientos, los alumnos propongan la existencia de una fuerza que apunta hacia afuera del centro de giro. Esto puede identificarse en las verbalizaciones, en los diagramas de fuerzas que realizan, en la resolución de ejercicios, etc. Por lo tanto, a partir de sus acciones en situación es posible inferir la presencia del concepto-en-acción "fuerza centrífuga" y de su correspondiente teorema-en-acción asociado: "*Si un cuerpo toma una curva, seguro actúa una fuerza que apunta hacia afuera de la trayectoria seguida*" (Escudero, Moreira y Caballero, 2003). Este invariante suele formar parte de los esquemas de pensamiento de los alumnos en relación al movimiento en curvas dado que el mismo es efectivo para explicar lo que se "siente". Por lo tanto, un objetivo de las clases de Física será mostrar que su campo de aplicación es limitado.

Dado que el centro del desarrollo cognitivo es la conceptualización, es necesario prestar mucha atención a los aspectos conceptuales de los esquemas y al análisis de las situaciones en que los alumnos desarrollan sus esquemas en la escuela o fuera de ella (Vergnaud, 1994, p.58):

*"En otras palabras, un esquema es un universal que es eficaz para un amplio rango de situaciones y puede generar diferentes secuencias de acción, información recogida o control, dependiendo de las características específicas de cada situación particular" (Vergnaud, 1998, p. 172).*

Por otro lado, Vergnaud (1983, p. 393; 1990, p. 145) define al concepto como un triplete de tres conjuntos C (S, I, R):

- a) S: un conjunto de situaciones que dan sentido al concepto y sirven como referencia. Constituye el referente del concepto.
- b) I: un conjunto de invariantes operatorios que otorgan significado al concepto y que le asignan operacionalidad a los esquemas. Es el significado del concepto.
- c) R: un conjunto de representaciones simbólicas (lenguaje natural, gráficos, sentencias formales, etc) que permiten indicar y representar el concepto. Constituye el significante del concepto.

Por ejemplo, el concepto "velocidad" adquiere sentido en el marco de situaciones y problemas en los que es puesto en juego, como es el caso del movimiento de distintos cuerpos. De estas situaciones, el sujeto va abstrayendo los invariantes operatorios que le permiten dar significado al mismo asociando, por ejemplo, el concepto-en-acción "cálculo de la velocidad" con el teorema-en-acción "la velocidad se calcula como el cociente entre la distancia y el tiempo". A su vez, el concepto "velocidad" aparecerá asociado a una representación simbólica del estilo " $v = d / t$ ". Posteriormente, y en forma paulatina a medida que continúe el proceso de aprendizaje, el sujeto irá pasando de la forma operatoria del conocimiento, en donde los conceptos son instrumentos de la acción del sujeto, a la forma predicativa de ese conocimiento, donde el concepto se constituye como objeto del pensamiento.

Para estudiar el desarrollo y el uso de un concepto es necesario considerar esos tres conjuntos simultáneamente ya que en general no hay correspondencia biunívoca entre significantes y significados, ni entre invariantes y situaciones, y por lo tanto no se puede reducir el significado ni a los significantes ni a las situaciones (Vergnaud, 1990).

El concepto de situación no se refiere específicamente a una situación didáctica de aula, sino a una tarea. En este sentido, Vergnaud plantea que toda situación compleja se puede analizar como una combinación de tareas y que *"la dificultad de una tarea no es ni la suma ni el producto de la dificultad de las diferentes subtareas, pero está claro que el fracaso en una subtarea implica el fracaso global"* (Vergnaud, 1990, p. 8).

Vergnaud retoma el concepto de esquema de Piaget, y lo define como *"la organización invariante del comportamiento para una determinada clase de situaciones"* (ibíd., p. 136). Dado que el comportamiento no es invariante, pero sí la organización del mismo, un esquema constituye un universal eficiente para toda una gama de situaciones (Vergnaud, 1998).

Para Vergnaud, los esquemas se refieren siempre a situaciones, por lo cual el sujeto puede encontrarse ante dos posibilidades: que ya disponga de las competencias

necesarias para el tratamiento de la situación que se le plantea o que esto todavía no suceda. En este último caso, estará obligado a dedicar tiempo para reflexionar, explorar, probar, pudiendo llegar incluso al fracaso al no poder resolver la situación planteada. Si esto último sucede, la experiencia lo llevará, probablemente, a modificar su esquema. Aquí se nota la presencia del concepto piagetiano de adaptación en la teoría de Vergnaud.

El funcionamiento cognitivo del sujeto en situación reposa sobre el repertorio de esquemas disponibles anteriormente formados, los cuales determinan su modo de actuar en función de las situaciones a las que se enfrenta. Al mismo tiempo se pueden descubrir nuevos aspectos y, eventualmente, nuevos esquemas en situación. A la vez, Vergnaud plantea que puede suceder que un esquema sea aplicado a una clase demasiado amplia de situaciones, lo que provoca que éste falle y que el sujeto deba restringir el alcance del mismo (op cit., 1990).

En función de lo expresado, pese a que no es posible tener acceso directo a la parte no observable de la actividad del sujeto, el esquema determina la actividad y la conducta en situación. Por ese motivo, es posible inferir el funcionamiento del esquema (sus invariantes operatorios) mediante el análisis de las conductas en una situación dada y, a partir de allí, extraer conclusiones respecto al modo más adecuado de hacer evolucionar los esquemas presentes en la mente de los estudiantes.

En cuanto a las implicancias educativas, la teoría de los campos conceptuales puede ser tomada como complementaria de la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel: la primera se aboca a analizar el proceso interno de adquisición de conocimientos desde un punto de vista conceptual, mientras que esta última se centra en la adquisición de conocimientos organizados en una situación formal de enseñanza. En este sentido, Vergnaud propone una teoría psicológica sobre el proceso de conceptualización, mientras que Ausubel plantea una teoría acerca del aprendizaje en el aula.

Sin embargo, pese a que la teoría de los campos conceptuales no es una teoría sobre la enseñanza, ésta propone consecuencias didácticas en relación al modo en que los docentes pueden actuar para propiciar la evolución de los esquemas presentes en la mente de sus alumnos (Moreira, 2002).

La teoría de los campos conceptuales sugiere que una buena “puesta en escena didáctica” debe apoyarse *“sobre el conocimiento de la dificultad relativa de las tareas cognitivas, de los obstáculos que habitualmente se encuentran, del repertorio de procedimientos disponibles, y de las representaciones posibles”* (Vergnaud, 1990, p. 14).

Otra consecuencia de la teoría de Vergnaud es la idea de que desestabilizar cognitivamente al alumno es el medio didáctico para provocar el descubrimiento o la comprensión de un concepto o de un razonamiento nuevo. En este sentido, es preciso que el docente identifique sobre qué conocimientos previos el alumno puede apoyarse para aprender, pero también es importante distinguir sobre cuáles no. En consecuencia, es necesario generar en la enseñanza un proceso simultáneo y opuesto: estabilizar las competencias adquiridas por los estudiantes y, al mismo tiempo, desestabilizarlas. Este proceso de desestabilización debe ser cuidadoso y planificado ya que, de ser demasiado, puede provocar dificultades de aprendizaje en los alumnos (op cit., 2002).

La teoría de los campos conceptuales sostiene que gran parte del conocimiento que las personas poseen se encuentra en forma implícita. Sin embargo, en el ámbito escolar se

sobreestima el conocimiento explícito y, al mismo tiempo, se subestima y desvaloriza el conocimiento implícito de los alumnos (Vergnaud, 1994). Dado que la actividad física y mental está constituida en gran parte por esquemas, y que éstos poseen invariantes operatorios los cuales son ampliamente implícitos, es natural que los alumnos muchas veces no sean capaces de explicar sus teoremas-en-acción pese a que logran resolver muy bien ciertas tareas (situaciones) (op cit., 2002).

En consecuencia, el proceso de conceptualización, que es necesariamente explícito, requiere un largo período de desarrollo cognitivo a través de una serie de situaciones y actividades a desarrollar por el docente. Por lo tanto, la enseñanza de las ciencias debe propiciar la evolución paulatina del conocimiento que poseen los alumnos, el cual se encuentra inicialmente como representaciones internas totalmente implícitas, hacia verdaderos modelos conceptuales explícitos y formalizados. Este proceso puede demandar mucho tiempo, por lo cual no es de esperar que un estudiante domine un campo conceptual luego de un proceso de instrucción de unas pocas clases dado que *"el dominio de un campo conceptual no se hace en algunos meses ni incluso en algunos años"* (Vergnaud, 1983, p. 401).

Por eso es central el rol del docente aportando situaciones relevantes y actuando como mediador a través del lenguaje, las analogías y los símbolos correspondientes (Rodríguez Palmero y Moreira, 2004). Este proceso de dominio de un campo conceptual a largo plazo sugiere que no tiene sentido *"rodear las dificultades conceptuales: ellas son superadas en la medida en que son detectadas y enfrentadas, pero esto no ocurre de una sola vez"* (ibíd., p. 401).

Por su parte, cuando los estudiantes operan con determinados conceptos, muchas veces lo hacen utilizando solamente los invariantes operatorios, donde estos conceptos son instrumentos de la acción del sujeto. En consecuencia, muchos alumnos no logran poder decir lo que están haciendo, o explicar el problema o la situación que están resolviendo, ya que esto implica el paso del *"concepto como instrumento al concepto como objeto del pensamiento"*. Es decir, de la forma operatoria, a la forma predicativa del conocimiento (Greca y Moreira, 2002, p. 42).

Para comprender la articulación entre estos dos grandes tipo de representaciones mencionadas anteriormente, los modelos mentales (Johnson-Laird, 1983) y los esquemas (Vergnaud, 1990), Greca y Moreira (2002) proponen relacionarlas en función de su grado de estabilidad cognitiva: consideran que los modelos mentales son estructuras que se activan en la memoria de trabajo y son inestables e incluso "descartables", mientras que los esquemas son estructuras estables que se ubican en la memoria a largo plazo, permitiendo a la persona actuar en un conjunto de situaciones.

Esta distinción permite brindar una mayor precisión al constructo "modelo mental", el cual se caracteriza por una diversificación de usos dentro de la investigación. Por ejemplo, algunos autores consideran que los modelos mentales son estructuras dinámicas e inestables, generadas frente a una situación concreta, mientras que otros los piensan como una organización estable en la memoria de largo plazo. En este trabajo utilizaremos la primera visión, definiendo los modelos mentales como estructuras cognitivas que actúan en la memoria de trabajo, actuando como análogos estructurales de la situación o el proceso que se desea comprender, explicar o predecir (ibíd.). Estas estructuras son dinámicas, generalmente incompletas, posibles de modificar o actualizar en la medida en que el sujeto encuentra inconsistencias entre las predicciones generadas por el modelo y los eventos externos (Greca y Moreira, 2002).



De este modo, cuando una persona se enfrenta a una situación nueva en la que su esquema no es suficientemente eficaz ni válido, el sujeto utiliza los invariantes para construir un modelo mental, el cual actúa de intermediario para hacer frente a esta nueva realidad. Posteriormente, las predicciones realizadas mediante dicho modelo pueden provocar inconsistencias entre el pensamiento del sujeto y los datos del mundo exterior, llevando a producir modificaciones en el modelo mental. A medida que se van detectando invariantes en estos modelos, se avanza en el dominio progresivo de esta y otras situaciones, llevando a una paulatina estabilización de la representación construida y conduciendo a su transformación en esquema de asimilación. Sin embargo, dado que la conceptualización es un proceso complejo, lo anterior no significa que todo modelo mental dará origen a un esquema (ibíd.).

### **2.3. Fundamentos epistemológicos**

En función de sus experiencias escolares y del contacto cotidiano con los medios masivos de comunicación, los estudiantes y docentes en actividad suelen creer que la ciencia es una colección de hechos, los cuales se aprenden adecuadamente a partir de la memorización de los mismos. A su vez, conciben a los modelos científicos como simples copias de eventos observables, de explicaciones absolutas y verdaderas y no logran establecer la distinción entre modelo y observación (Gellon et al., 2005).

De este modo se genera una imagen de ciencia alejada de la real la cual provoca dos líneas de pensamiento "ingenuo" muy diferentes. Por un lado, la "posición relativista extrema" rechaza de plano a la ciencia por considerarla la "causa de todos los males de la humanidad". En contraposición, la "posición científicista extrema" considera a la ciencia como un conjunto de "verdades dogmáticas" que son motivo de admiración y que no deben ser puestas en duda (Adúriz-Bravo y Ariza, 2013). En este sentido, la comprensión de ciertos aspectos de la naturaleza de la ciencia hace posible la reflexión sobre la actividad científica, proporcionando una imagen de ciencia más completa, coherente con los conocimientos actuales y con los avances recientes en la reflexión metacientífica.

Dado que la enseñanza de las ciencias está directamente vinculada a la enseñanza y el aprendizaje de diversos modelos explicativos, conocer su naturaleza facilita la comprensión de modelos específicos y lo que ellos representan (Van Driel y Verloop, 1999).

#### **2.3.1. Teorías, modelos y modelización en ciencias**

Las teorías científicas son estructuras complejas que buscan describir, explicar y predecir fenómenos observables (Hodson, 1986), aunque las mismas no se derivan directamente de la observación. Al respecto, los enunciados observacionales se hacen siempre en el lenguaje de alguna teoría y, en consecuencia, ésta precede a la observación (Chalmers, 1987). En este sentido, las teorías no son sólo los enunciados teóricos que las componen ya que también incluyen los hechos interpretados por ellas y un "saber-cómo" en relación a las explicaciones e intervenciones que se pueden hacer con ellas (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009).

Por su parte, las teorías se encuentran formadas por un conjunto de modelos, los cuales se relacionan con el mundo real mediante varias hipótesis (Giere, 1988). De este modo, los modelos constituyen una especie de intermediarios “visibles” entre el mundo imaginario y el mundo real (Justi y Gilbert, 1999) y pueden considerarse como una representación simplificada de un sistema cuyas principales funciones son descriptivas, explicativas y predictivas. En este sentido, un modelo puede ser considerado como una representación simplificada de un sistema, el cual centra la atención en un aspecto específico y permite o facilita la visualización de algunos aspectos del mismo. Por lo tanto, son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo con un objetivo específico (Chamizo, 2010) y que se usan para hacer predicciones, guiar la investigación, resumir datos, justificar resultados y facilitar la comunicación (Ingham y Gilbert, 1991).

Por lo tanto, una teoría queda mejor caracterizada por la familia de modelos que la componen, los cuales se encuentran vinculados por relaciones lógicas y experimentales que aseguran cierta coherencia al conjunto (Joshua y Dupin, 2005).

Dado que los modelos son construcciones o invenciones sociales que dan respuesta a demandas prácticas o teóricas, la ciencia debe entenderse como un proceso imaginativo de pensamiento, y no como un proceso puramente descriptivo de objetos: no es un discurso sobre lo real, sino un discurso sobre los modelos posibles. De este modo, la definición de modelo integra los dos componentes de la ciencia: el proceso y el producto (Pozo y Gomez Crespo, 1998). El desarrollo científico es, por lo tanto, un complejo proceso de construcción de modelos conceptuales predictivos (Gilbert S., 1991).

Como propone Giere (1988), un modelo es una entidad que sigue “las reglas” que sostiene la teoría en la que se inscribe y que no es “verdadero”: es similar al sistema real en aspectos que dependen tanto de factores biológicos humanos como de convenciones y paradigmas socialmente aceptados. De este modo, el modelo se convierte en un “mediador” entre la teoría y la realidad en el cual se consideran sólo los factores relevantes, se suponen los elementos inobservables del sistema real e incluso en algunos casos se introducen entidades ideales inexistentes. Por ejemplo, el modelo de un gas ideal es construido como un conjunto de pequeñas esferas macizas que interactúan de acuerdo con las leyes del choque elástico (Lombardi, 2010).

Este modo de concebir a los modelos puede ser explicada a partir de la analogía con un mapa, el cual es una forma pensada e imaginada de “ver” un determinado terreno (Smith, Snir y Grosslight, 1992). Al igual que los modelos, los mapas capturan algunos aspectos del lugar real que han sido seleccionados por un interés determinado (relieve, poblaciones, etc) y los representa mediante diversos recursos gráficos (letras, colores, líneas, etc). A su vez, el mapa (que es bidimensional y tiene letras y colores arbitrarios) no es homomórfico al terreno representado, aunque guarda similitudes y semejanzas respecto a él: el mapa permite moverse y guiarse en el terreno, del mismo modo en que el modelo constituye una guía para la intervención y el desempeño en el mundo (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009; Raviolo et al., 2010).

Además de funciones descriptivas, explicativas y predictivas, los modelos representan una versión simplificada de un fenómeno concentrando la atención sobre algunas características especiales del mismo y, al mismo tiempo, contribuyen a visualizar imaginariamente el fenómeno y sus propiedades (Osborne y Gilbert, 1980).

Por lo tanto, la modelización es una herramienta esencial y propia de la investigación científica en la que se pueden identificar una serie de pasos (Webb, 1993):

- a) Identificar y definir el problema o sistema a ser modelizado.
- b) Definir el propósito del modelo, incluyendo quién lo usará, cómo lo usará y qué valor tendrá asignado.
- c) Decidir cuales son los principales factores en el modelo.
- d) Definir las relaciones entre los componentes del modelo.
- e) Evaluar el modelo poniéndolo a prueba y examinando su funcionamiento en relación a su propósito declarado, mejorándolo cuando sea apropiado.
- f) Repetir este proceso desde el paso c) cuando sea necesario.

### 2.3.2. Las correspondencias entre modelo y realidad

Como ya se ha dicho, los modelos poseen un carácter "híbrido", a mitad de camino entre las teorías y el mundo, por lo que pueden actuar como mediadores entre la teoría y realidad (Lombardi, 1998; Morrison y Morgan, 1999; Greca y Moreira, 1998). Por lo tanto, no existe una relación directa entre lo que decimos del mundo (proposiciones) y la manera en que ese mundo se nos muestra (fenómenos). Esta relación está mediada por los modelos, que son representaciones abstractas de la realidad que satisfacen determinados sistemas teóricos (Adúriz-Bravo, 2012).

El proceso de modelización requiere tomar decisiones respecto a cuáles variables son relevantes con el fin de construir una representación idealizada del objeto de estudio. De este modo, el científico ejerce el "derecho a despreciar" cuando argumenta, por ejemplo, que *"el color de un proyectil no modifica sus propiedades balísticas"* (Bachelard, 1991, p. 261). A su vez, se evalúa el ajuste del modelo con el conocimiento teórico aceptado por la comunidad científica, lo que puede provocar que se modifique el modelo o incluso la propia teoría. De este modo, se manifiesta que los modelos son constructos humanos tentativos y abiertos al cambio, debiendo evaluarse constantemente su validez como representaciones de la realidad (Gilbert S., 2000; Grosslight et al., 1991).

Según Chamizo (2006, p. 476), las características de los modelos científicos son:

- a) Los modelos simplifican lo que representan para poder entenderlo. Son siempre modelo de algo: representan objetos, sistemas, fenómenos o procesos.
- b) Los modelos se emplean para obtener información de hechos a los cuales no se tiene acceso directo: son instrumentos para intentar responder preguntas científicas.
- c) Los modelos son similares a la realidad hasta cierto grado y permiten derivar hipótesis susceptibles de ser puestas a prueba: guardan analogía con los fenómenos que representan.
- d) Los modelos son distintos y más simples que la realidad ya que responden a un sentido: para qué se propusieron, de dónde vienen y adónde van.
- e) Los modelos se pueden ampliar y corregir: se construyen en un compromiso entre las analogías y las diferencias que tienen con la realidad que representan.

- f) Los modelos se desarrollan a lo largo de la historia, en un proceso iterativo de revisión para acomodar la nueva evidencia empírica.
- g) Los modelos deben ser consensuados por la comunidad científica ya que la ciencia es conocimiento público y validable.
- h) Los modelos se pueden clasificar en icónicos (imágenes y maquetas) y conceptuales (relacionados con el lenguaje, como símbolos y fórmulas).

Dado que la relación modelo-realidad es compleja, los modelos no necesitan parecerse a los entes que representan (Gilbert S., 2000). Esto implica que un mismo modelo puede ser representativo de diferentes sistemas reales que comparten los atributos que fueron considerados relevantes al modelizarlos y que un cierto sistema real puede ser representado por más de un modelo. En consecuencia, la selección de uno de ellos estará determinada por los propósitos del estudio y por las condiciones de su realización (Grosslight et al., 1991; Harrison y Treagust, 2000; Snyder, 2000). Por ejemplo, un tipo de mapa (político) no es mejor que otro (geográfico), depende la función que se le dará.

Por lo tanto, no existe un modelo que sea "mejor" en sentido abstracto ya que esto depende de las características y condiciones particulares de la situación a resolver:

*"Se preferirá aquel que establezca la analogía más potente a la hora de formular predicciones, tanto respecto del curso de los fenómenos como respecto de la manera de someter a prueba la validez del modelo" (Islas y Pesa, 2004, p. 120).*

### **2.3.3. Modelos y enseñanza de las ciencias**

El concepto de modelo ha recibido gran atención en las últimas décadas con el fin de entender las representaciones del mundo que poseen los científicos sobre un determinado fenómeno físico, cuáles son las que utilizan los docentes en las aulas y, finalmente, qué representación del fenómeno terminan construyendo los alumnos. En este sentido, se han identificado grandes diferencias entre los modelos acerca del mundo que utilizan los científicos y los del alumnado, aunque diversas investigaciones han mostrado la conveniencia de utilizar representaciones propias de la ciencia escolar como paso necesario para aprender la ciencia de los científicos:

*"Pretender que desde un primer momento los alumnos utilicen un lenguaje estrictamente científico no necesariamente es una manifestación de que la información que manejan está sustentada en representaciones científicas cercanas a las propuestas por la ciencia erudita en ese campo" (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001, p. 232).*

Como se verá en el **Capítulo 4**, existen notables diferencias entre el lenguaje de la ciencia escolar, muy cercano al del sentido común, y el lenguaje más complejo de la ciencia erudita contemporánea. Sin embargo, otorgar cierta autonomía y carácter propio a la ciencia escolar abre la posibilidad de crear representaciones, herramientas y lenguaje propio de este campo, de forma tal de hacer posible la transición paulatina hacia la ciencia erudita. De este modo, la ciencia escolar no es una simplificación de la ciencia de los científicos adaptada al nivel de los alumnos, sino que constituye una serie de etiquetas lingüísticas, conceptos y modelos propios que facilitan la comprensión de los fenómenos por parte de los estudiantes.

Por lo tanto, el concepto de modelo debe ser trabajado en las aulas con el fin de que los estudiantes comprendan que todos los modelos, tanto los que se utilizan dentro del contexto escolar como los que usan los científicos, son construcciones provisorias y perfectibles ya que ninguno de ellos posee la verdad absoluta ni definitiva. Al respecto, la elección de un determinado modelo se basa, generalmente, en aspectos tales como la sencillez, el poder explicativo y la riqueza teórica, ocupando menor lugar los aspectos empíricos (ibíd.).

A su vez, el reemplazo de un modelo por otro no implica en modo alguno el abandono definitivo del primero ya que algunos modelos históricamente propuestos siguen formando parte activa de la ciencia actual:

*"Instrumentalmente, pueden utilizarse modelos perimidos cuando facilitan la manipulación formal y constituyen aproximaciones sencillas y legítimas a un problema científico; este procedimiento es usual en la investigación tecnológica. De esto se sigue que todos los temas son tratables por aproximaciones sucesivas (un abordaje «en espiral») y que los contenidos que se estudian sirven de base provisoria para nuevas formas de pensarlos en el futuro; nunca quedan cerrados definitivamente" (ibíd., p. 234).*

En contraposición a lo anterior, en las aulas generalmente se utilizan modelos científicos simplificados que suelen ser de difícil inserción en la estructura cognitiva de los estudiantes. Por lo tanto, éstos suelen incorporar en forma memorística un modelo que no es completamente científico y que, al mismo tiempo, les resulta poco significativo. De este modo, muchos aprendizajes podrán ser inadecuados desde el punto de vista científico y se constituirán, posteriormente, en obstáculos epistemológicos para acceder al conocimiento científicamente validado.

#### **2.3.4. Clasificación de los modelos**

Dado los diversos usos que se le otorga al concepto de modelo, Gilbert y Boulter (2000) realizaron una clasificación en función del origen y la evolución de los mismos teniendo en cuenta consideraciones epistemológicas, psicológicas y educativas:

- Modelo mental: representación analógica que los individuos generan durante su funcionamiento cognitivo que permite conocer, controlar y hacer predicciones acerca de eventos del mundo (Vosniadou, 1994).
- Modelo expresado: representación externa de un concepto o situación blanco generada desde un modelo mental y expresada a través de una acción, discurso oral o escrito u otros modos de representación (Gallarreta, 2003). El expresar un modelo mental implica que el mismo está cambiando.
- Modelo consensuado: es un modelo expresado que ha sido desarrollado y verificado, y donde varias personas de una determinada comunidad (científicos, docentes, etc) han alcanzado cierto grado de acuerdo sobre su uso. Estos modelos constituyen uno de los principales productos de la ciencia.
- Modelo científico: es un modelo expresado que ha obtenido aceptación social después de ser verificado y aceptado por la comunidad científica. Para Justi y Gilbert (2003), un modelo consensuado que se encuentra a la vanguardia de la investigación científica se transforma en modelo científico cuando ha ganado

aceptación en la comunidad científica y es publicado en revistas reconocidas con arbitraje.

- Modelo histórico: es un modelo científico concebido en un determinado contexto específico de creencias filosóficas, científicas, tecnológicas y sociales, pero que ha sido reemplazado como producto del avance de la ciencia.
- Modelo curricular: es una versión simplificada de cualquier modelo consensuado o histórico que es incluido en el currículo de ciencias en cualquier nivel del sistema educativo.
- Modelos de enseñanza (o enseñados): suelen ser desarrollados y utilizados por los docentes, quienes suelen recurrir a simplificaciones o a centrar su atención en algunos atributos particulares de ciertos fenómenos dado que la comprensión de un modelo consensuado es generalmente dificultosa.
- Modelo híbrido: se encuentra formado por combinación de algunas características de varios modelos científicos, históricos o curriculares en un campo de estudio. Se usan para propósitos curriculares, o de enseñanza en el aula, como si fueran un todo coherente.
- Modelos pedagógicos: los utilizan los docentes para la planificación, práctica y reflexión sobre las actividades de clase. Los mismos implican cuestiones relacionadas con la naturaleza de la ciencia y la naturaleza de la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia.

En función de lo anterior, es posible decir que aprender ciencias implica una paulatina comprensión de las principales características de determinados modelos históricos y/o científicos a través del desarrollo de determinados modelos curriculares. En este sentido, la utilización del sistema de referencia topocéntrico para la descripción, explicación y predicción de los fenómenos astronómicos cotidianos constituye un modelo curricular en el que se conjuga un modelo científico (la astronomía topocéntrica) junto con algunos aspectos de un modelo histórico (el modelo de universo de las dos esferas). Este modelo curricular no pretende sostener la idea de Tierra estática y central correspondiente al modelo geocéntrico de universo; por el contrario, pretende sostener a la Tierra y a los propios alumnos como centro de sus propias observaciones, explicaciones y aprendizajes.

## **2.4. Fundamentos didácticos**

La ciencia escolar (Izquierdo et al, 1999) implica conocimientos construidos y elaborados en el entorno escolar a partir de una reconstrucción de la ciencia de los científicos. Este proceso de transposición didáctica (Chevallard, 1991) transforma el conocimiento científico en un conocimiento a ser enseñado en un aula específica a determinados alumnos particulares. En este proceso de transformación existirán ciertas actividades de investigación, domésticas, culturales, ideológicas, etc, que servirán como prácticas de referencia para la construcción y definición de los contenidos de enseñanza (Martinand, 1989).

### 2.4.1. La transposición didáctica

El concepto de transposición didáctica (Chevallard, 1991) remite al proceso de transformaciones mediante el cual el saber científico se transforma en un saber posible de ser enseñado, poniendo en evidencia la necesidad de crear objetos de enseñanza que guarden correspondencia, pero que no pueden ser idénticos, al objeto académico.

En este sentido, la transformación de la ciencia practicada por los científicos en ciencia escolar depende de las interpretaciones que se hagan, de las intencionalidades curriculares del grado y del nivel del sistema educativo del que se trate. Estas intencionalidades están justificadas dentro del proyecto cultural, social, político y económico que establece cuál es la concepción de ciencia vigente y para qué se pretende socializarla entre los futuros ciudadanos. En consecuencia, esta multiplicidad de transposiciones se encuentra determinada por las concepciones epistemológicas, didácticas y pedagógicas de quien o quienes profesionalmente ejercen como didactas de las ciencias (Gallego Badillo, 2004).

Esta transformación de la cultura al currículum formal del plan de estudios, y luego al currículum enseñado, debe ser considerada a través de una transposición didáctica ampliada, la cual involucra múltiples referencias: conocimientos, competencias, prácticas e incluso normas, valores o actitudes (Perrenoud, 1994). Por lo tanto, la transposición didáctica se refiere a los conocimientos de referencia elegidos como contenido que debe enseñarse tal como se presenta en el currículum, al contenido efectivamente enseñado, al contenido tal como es aprendido por los alumnos y al contenido de aprendizaje tal como es evaluado por el sistema didáctico, por el sistema de enseñanza y por la sociedad en general. En la enseñanza científica, esto produce la distinción entre la Física del físico, la Física a enseñar, la Física enseñada, la Física aprendida por los alumnos y la Física evaluada por los distintos sistemas (Boilevin, 2000).

En función de lo anterior, el diseño de una determinada secuencia didáctica implicará la reconstrucción de una cierta Estructura Conceptual de Referencia (ECR) con la mirada puesta en el conocimiento de la comunidad científica y, al mismo tiempo, en la institución en donde este conocimiento será reconstruido:

*"ECR (Estructura Conceptual de Referencia) es el conjunto de conceptos, relaciones entre ellos, principios, afirmaciones de conocimiento y explicaciones relativos a un cierto campo conceptual, según aparece formulado, explicado y consensuado en las conversaciones y los textos especializados propios de una cierta comunidad científica de referencia" (Otero, 2006, p. 47).*

En este trabajo de investigación, la ECR reconstruida se encuentra centrada en el campo conceptual de la "astronomía topocéntrica", lo que implica la utilización del sistema de referencia topocéntrico, el cual describe con precisión los movimientos del Sol, la Luna y las estrellas nocturnas en el cielo vistos desde la superficie terrestre, lo que permite explicar y predecir los fenómenos del día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares, entre otros. Esta reconstrucción constituye los fundamentos físicos de esta Tesis, que se encuentran desarrollados en la **Sección 2.5.**, donde se distinguen, seleccionan y adoptan conceptos, explicaciones y principios del campo disciplinar con el propósito de, en otra etapa, transformarlos y volverlos objeto de enseñanza.

Una vez establecida la ECR, será necesaria la reconstrucción de una determinada Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar (ECPE), la cual consiste en las

transformaciones necesarias para que el saber científico pueda volverse enseñable a un determinado grupo de alumnos, lo que implica que esta nueva estructura será totalmente relativa, tanto en lo institucional como en lo personal:

*"Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar (ECPE): conjunto de conceptos, relaciones entre ellos, principios, afirmaciones de conocimiento y explicaciones relativos a un cierto campo conceptual, reconstruida por los profesores a partir de una estructura conceptual de referencia (ECR) a la que también contribuyen los programas oficiales y textos escolares, con el objeto de convertirla en enseñable en un contexto y en una institución dada" (ibíd., p. 47).*

La reconstrucción de la ECPE origina un conjunto de situaciones que pretenden hacer emerger conceptos clave, explicaciones, descripciones, etc, especialmente pensadas para el grupo de clase al que se destina. La reconstrucción de esta estructura incluye el análisis de la conveniencia de utilización de determinados soportes, como el informático, y el análisis de qué decisiones y acciones didácticas resultan adecuadas para favorecer una dinámica motivacional y emocional acorde (Fanaro, 2009).

Dentro del análisis didáctico de la ECPE deberán tenerse en cuenta las situaciones que se propondrán, los conceptos y preguntas clave, las explicaciones y afirmaciones de conocimiento, las emociones y acciones, los sentimientos, los mecanismos explicativos, el lenguaje en el que serán formuladas las explicaciones y las afirmaciones de conocimiento (Otero, 2006, p. 49):

*Situaciones:* según la noción de situación adoptada por Vergnaud (1990). Las mismas permitirán el surgimiento y el funcionamiento de los conceptos clave.

*Conceptos clave:* conceptos centrales que se espera construir como emergentes de la situación propuesta y sin los cuales el problema formulado no podría resolverse.

*Principios clave:* afirmaciones de conocimiento que se aceptan sin deducirse de otras. Por ejemplo, la ley de gravitación universal.

*Preguntas clave:* conjunto cuya respuesta da lugar a un grupo de interacciones recurrentes o conversaciones entre los miembros del grupo de clase. Surgen a partir del carácter problemático de las situaciones propuestas a los alumnos.

*Emociones:* disposiciones que determinan el dominio de acciones. No son controlables, aunque el organismo puede modularlas. Las conversaciones de las que las personas son parte afectan las emociones, las que a la vez afectan el modo de vivir en una cierta cultura. La ECPE tiene que operar al nivel del alumno como una invitación a ingresar en un cierto dominio de conocimiento y debe contemplar el desarrollo de una dinámica emocional propicia para el aprendizaje.

*Acciones:* dado que el significado de un objeto de conocimiento emerge del sistema de prácticas asociadas a él dentro de cada dominio, se trata de anticipar cuáles acciones son adecuadas en el dominio que está en construcción. Pueden ser biológicas, mentales o actuativas. En la ECPE se privilegia la dimensión actuativa ya que interesan las acciones de los miembros del grupo de clase en relación al conocimiento.



*Explicaciones:* son conjuntos sistémicos de afirmaciones de conocimiento (que se esperan realizar) que permiten predecir los eventos físicos, o dar razón de ellos, mediante la atribución de relaciones causales a los objetos físicos construidos en un cierto dominio. Estas afirmaciones tienen el carácter de explicaciones para quienes las aceptan dentro del dominio de conocimiento al que pertenecen. En este caso, la Física escolar.

*Mecanismo explicativo:* es el procedimiento o conjunto de acciones aceptadas dentro de un dominio explicativo como método para generar afirmaciones de conocimiento válidas. En el caso de la Física, se trata de la construcción de modelos físicos y matemáticos que generen objetos físicos, fenómenos nuevos a ser explicados, experimentos, predicciones y contrastaciones.

*Lenguaje:* especifica de qué manera serán formuladas las explicaciones y las afirmaciones de conocimiento. En sentido amplio, se refiere a los diversos modos semióticos que constituyen, especifican, y describen a los objetos propios de cada dominio de conocimiento.

En el marco de esta investigación, la reconstrucción de la ECPE implicó el diseño de situaciones didácticas que permitieron poner en acto la utilización del sistema de referencia topocéntrico en un aula de los últimos años de una escuela primaria. Este enfoque particular permite relacionar los conocimientos astronómicos a construir por los alumnos con sus propias vivencias cotidianas al revalorizar el papel fundamental de la observación del cielo para aprender acerca de los fenómenos celestes. A su vez, coloca al aprendiz como centro de su propio proceso de aprendizaje y posibilita una transición progresiva hacia el sistema de referencia heliocéntrico, el cual requiere un mayor desarrollo del pensamiento abstracto debido a que se sostiene en "evidencias" de difícil (o incluso imposible) percepción desde nuestra vida cotidiana, como es el caso del movimiento de nuestro planeta. En contraposición, el enfoque topocéntrico sólo requiere la observación y el registro de los movimientos del Sol, la Luna y las estrellas nocturnas desde cualquier ubicación terrestre, permitiendo la explicación adecuada de fenómenos tales como el día y la noche, las estaciones del año, las fases de la Luna, los eclipses, el movimiento diario de las estrellas en el cielo, el desplazamiento de los planetas, etc.

Dado que *"las estructuras conceptuales son indisociables del conjunto de problemas y situaciones que les dan sentido"* (Otero, 2006, p. 48), las situaciones que formarán parte de la ECPE tendrán absoluta relación con la observación de los astros a simple vista en el cielo. El proceso de reconstrucción de la ECPE, que implica el análisis didáctico y el diseño de las situaciones, se presenta en el **Capítulo 6**.

Por último, el proceso de transposición didáctica continúa cuando la ECPE es puesta en práctica en un grupo de clase y en una institución específica. Allí aparece en juego una nueva estructura, la Estructura Conceptual Efectivamente Reconstruida (ECER), la cual se define como:

*"El conjunto de conceptos, relaciones entre ellos, principios, afirmaciones de conocimiento y explicaciones relativos a un cierto campo conceptual que efectivamente resulta reconstruido por un grupo de clase, a partir de las coordinaciones consensuales de acciones que tienen lugar en las conversaciones de las cuales participan el profesor y los alumnos en dinámicas emocionales adecuadas"* (Otero, 2007, p. 21).

Dentro de esta estructura, los significados construidos por los estudiantes deben ser comprendidos en una doble dimensión cognitiva, tanto personal como grupal, ya que *"cada miembro del grupo de clase construirá una estructura conceptual personal y una red de significados única -en el sentido de propia- y privada"* (Otero, 2006, p. 48).

Esta ECER es la que será analizada al finalizar el desarrollo de la secuencia didáctica topocéntrica. Con este fin se tendrán en cuenta tanto los aspectos conceptuales reconstruidos por los estudiantes y, al mismo tiempo, los aspectos motivacionales implicados a lo largo de las clases. Este último aspecto forma parte prioritaria del enfoque topocéntrico ya que es el que posibilita el compromiso de los estudiantes en lo cognitivo, para la construcción de los modelos explicativos, y en lo emocional, con el fin de que vinculen sus conocimientos escolares con los fenómenos celestes visibles cotidianamente en el cielo. Este análisis didáctico se desarrolla en el **Capítulo 7**.

#### **2.4.2. Implicancias emocionales en el proceso de reconstrucción del conocimiento**

Como se describe más arriba, el aspecto emocional, vivencial y motivacional forma parte esencial dentro del proceso de reconstrucción de la Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar (ECPE) debido a que todo sistema racional posee un fundamento emocional:

*"Todo sistema racional se funda en premisas fundamentales aceptadas a priori, aceptadas porque sí, aceptadas porque a uno le gustan, aceptadas porque uno las acepta simplemente desde sus preferencias. Y esto es así en cualquier dominio, ya sea el de las matemáticas, el de la física, el de la química, el de la economía, el de la filosofía o el de la literatura"* (Maturana, 1990, p. 17).

Al respecto, las explicaciones que los estudiantes toman como válidas para comprender un determinado fenómeno también están vinculadas a lo emocional. En este sentido, ninguna proposición explicativa constituye una explicación válida en sí misma dado que esto depende de su aceptación por parte del otro, lo cual la mayoría de las veces sucede de manera inconsciente. Por lo tanto, la noción de realidad constituye también una proposición explicativa:

*"La manera como uno escucha una proposición explicativa determina que uno acepte o no tal proposición como una explicación... Es el criterio que uno usa para aceptar o rechazar una proposición explicativa el que determina que esa proposición sea o no una explicación"* (ibíd., p. 46).

Por ese motivo, el proceso de reconstrucción del conocimiento puede considerarse desde una base biológica y emocional (Maturana, 1990, 1995), la cual considera al grupo de clase como una comunidad que está aceptando la invitación a ingresar en un mundo de significados compartidos por otra comunidad. En este sentido, los Principios Didácticos propuestos por Otero (2006, 2007) brindan un marco para la generación de un espacio de aula donde cada uno de los miembros del grupo, incluido el docente, acepte la legitimidad del otro como un legítimo otro en la convivencia y donde cada sujeto pueda convivir armoniosamente con los demás:

- 1) Principio de la institución educativa como integrante del sistema de regulación vital: la escuela puede ser entendida como una posibilidad de

convivir armoniosamente con otros y como un ámbito propicio para el bienestar y la supervivencia.

- 2) Principio del grupo de clase como ámbito de convivencia: los grupos de clase tienen que funcionar como espacios de máxima convivencia como condición de posibilidad del desarrollo de la identidad de cada uno de sus miembros en armonía y felicidad. Esto requiere estar en aceptación del otro.
- 3) Principio de aceptación del otro: cada uno de los miembros del grupo debe aceptar la legitimidad del otro como un legítimo otro en la convivencia (Maturana, 1995). Aceptar al otro no significa tolerarlo, lo que implica que el otro está equivocado mientras uno está seguro de no estarlo. Esto se contradice con la toma de conciencia de la imposibilidad de acceso a la verdad ni a la realidad de modo trascendente, independiente de uno mismo.
- 4) Principio de la acción del profesor: dado que la ciencia que se desea enseñar no trata con la verdad en un sentido trascendente, el "saber" del profesor está ligado a la aceptación de los alumnos. Si ellos no aceptan la invitación a ingresar en un nuevo dominio cognoscitivo, nada se podrá hacer para enseñarles. Mientras la emoción que determina las acciones científicas es la curiosidad y la pasión por explicar, la emoción que especifica las acciones del profesor es la de comunicar.
- 5) Principio de la acción del alumno: los alumnos tienen la responsabilidad de aceptar o no la invitación que se les realiza, que implica ingresar en un mundo de significados compartidos pero que los estudiantes desconocen. De este modo, mientras los científicos hacen ciencia movidos por la pasión de explicar, los estudiantes que aceptan la invitación estarán, al menos en principio, movidos por la pasión de comprender. Para ello, los alumnos preguntarán, responderán, conversarán, dudarán y expresarán lo que saben y los criterios que se aceptan para especificar que otro sabe. Al igual que el profesor, estarán vigilantes para no caer en la tentación de la certidumbre.
- 6) Principio de la emoción como base de la razón: la racionalidad tiene un fundamento emocional ya que, en general, todos los sistemas racionales se basan en la aceptación "a priori" de las premisas que postulan. Es en esta aceptación en la que interviene la emoción. La escuela debe ser un lugar para romper este antagonismo entre emociones, sentimientos y razones.
- 7) Principio del error: es imposible reconocer un error cuando se está cometiendo dado que, de ser así, no se cometería. Los errores son siempre a posteriori, lo que implica la necesidad de reflexionar acerca de las consecuencias de las propias acciones para detectarlo. Por lo tanto, se debe naturalizar el error e incluirlo como parte de la cultura escolar ya que es inherente al proceso de actuar.
- 8) Principio sobre cómo sabe que sabe, quién sabe: dentro de un grupo de clase se podrá decir que alguien sabe cuando sus acciones satisfacen los criterios de aceptación establecidos por el grupo. Estos criterios son producto del consenso y forman parte del conocimiento público del grupo a partir de haber sido formulados en documentos escritos o en conversaciones del mismo grupo.
- 9) Principio del bienestar, la creatividad y razonamiento: las evidencias neurobiológicas indican que los estados emocionales de bienestar incrementan la actividad cerebral en regiones ligadas al razonamiento y la creatividad. Por lo tanto, la construcción de un espacio relacional de

convivencia armoniosa basada en la aceptación del otro y de aceptación de la identidad de cada uno refuerza la posibilidad de bienestar. Por ejemplo, un alumno suele sentir malestar cuando está habituado a no comprender, y a que esto se considere como un déficit que solo es atribuible a él. En consecuencia, sus razonamientos disminuyen y su generación de ideas también, con lo cual su incompreensión aumenta.

Estos principios implican una didáctica en donde se proponen acciones dirigidas a reconstruir un determinado conocimiento físico, perteneciente a una cierta comunidad o institución de referencia, el cual será "exportado" a otras culturas e instituciones para las cuales deberá tener un verdadero sentido.

### **2.4.3. La enseñanza basada en modelos**

En función de lo expresado anteriormente respecto al rol del trabajo con modelos dentro de la actividad científica, y a la necesidad de su desarrollo en las aulas con el fin de que los estudiantes comprendan sus usos y limitaciones, la propuesta didáctica a diseñar en esta investigación tendrá como eje la reconstrucción de un modelo descriptivo, explicativo y predictivo topocéntrico acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos.

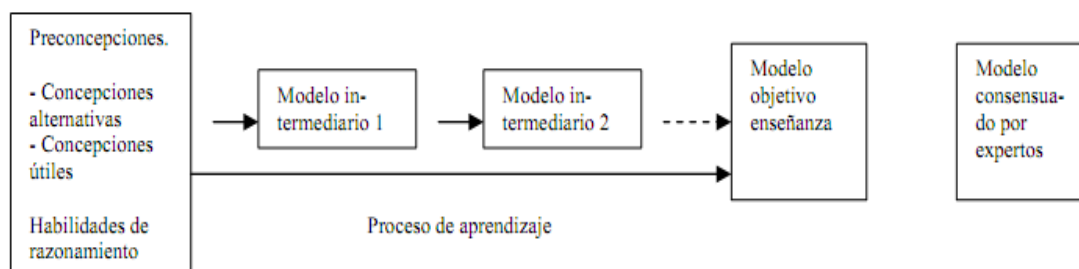
Al respecto, la enseñanza basada en modelos puede concebirse como cualquier implementación consistente en recursos informativos, actividades de aprendizaje y estrategias de enseñanza que procuran facilitar la construcción de modelos mentales (Johnson-Laird, 1983) en los alumnos, tanto individualmente como en grupo (Gobert y Buckley, 2000). A su vez, posee como meta la mejora en la comprensión de los estudiantes sobre los modelos y su rol en la ciencia a partir de la construcción de modelos de enseñanza que, en modo similar a como lo hacen los modelos científicos, puedan actuar como mediadores entre la teoría y la realidad (Lombardi, 1998; Morrison, 1999). En la formación de un modelo se integran piezas de información acerca de la estructura, función o comportamiento, y mecanismos causales de un fenómeno, partiendo de representar un sistema análogo o a través de la inducción.

Dado que los modelos científicos son frecuentemente complejos o se expresan mediante formas de representación complejas, lo que se enseña en las clases de ciencias son simplificaciones o adaptaciones de los mismos que reciben el nombre de "modelos curriculares". A su vez, con el objetivo de ayudar a los alumnos a aprender un determinado modelo curricular, los docentes crean y utilizan "modelos de enseñanza", que son representaciones centradas en algún aspecto o en ciertos atributos particulares del modelo. Los dibujos, maquetas, simulaciones y analogías son los recursos de enseñanza más comúnmente utilizados (Justi, 2006).

Desde esta perspectiva, el proceso de aprendizaje a largo plazo consiste en recorrer un camino paulatino desde las concepciones que poseen los estudiantes antes de la enseñanza hasta alcanzar el modelo objetivo a enseñar, atravesando uno o más modelos intermediarios (Clement, 2000). Este conocimiento deseable de alcanzar después de la instrucción no necesariamente coincide con el modelo consensuado por los expertos o modelo científico (**Figura 2-1**), debiéndose mantener una acción examinadora que evite deformaciones durante el proceso de transposición didáctica. Este principio de "vigilancia epistemológica" (Chevallard, 1991) tiene como objetivo

principal controlar que el saber que se enseña en las instituciones escolares no se desvíe en lo sustancial de los conceptos y principios más relevantes del saber científico.

**Figura 2-1:** El aprendizaje a través de modelos intermediarios (Clement, 2000).



La concepción de modelo como cualquier representación que permite pensar, hablar y actuar con rigor y profundidad sobre un sistema que se está estudiando posee amplia potencialidad. Permite concebir la ciencia escolar como un espacio para pensar acerca de ciertos hechos-clave reconstruidos para dar sentido a los fenómenos del mundo que nos rodea, incorporando modelos de enseñanza adecuados al problema planteado, al momento de aprendizaje y al grupo e institución en la que se trabaja (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009).

En relación con la enseñanza basada en modelos, las investigaciones han mostrado que los estudiantes, y muchos docentes, no tienen en claro el concepto de modelo (Gilbert S., 1991; Islas y Pesa, 2003), por lo que éste debe ser enseñado utilizando diferentes estrategias (Raviolo et al., 2010). En este sentido, es relevante que el docente promueva actividades donde se discuta y clarifique la naturaleza y el uso de los modelos, diferenciando su significado del que se le asigna en la vida cotidiana (Justi, 2006). A su vez, la construcción de modelos es una actividad que involucra a los alumnos en “hacer ciencia”, “pensar sobre ciencias” y “desarrollar pensamiento científico y crítico”, promoviendo un aprendizaje activo por parte de los estudiantes (Justi y Gilbert, 2003).

Dado que la modelización representa una de las actividades científicas centrales (Gallego Badillo, 2004), favorecer las actividades de construcción de modelos y de resolución de problemas en las aulas familiariza a los alumnos con las actividades propias de la ciencia propiciando la enseñanza de métodos de razonamiento característicos de las ciencias experimentales. En este sentido, el aprendizaje de la Física debe contemplar tres dimensiones principales: estudiar ciencias físicas, aprender sobre las ciencias físicas y hacer ciencias físicas. Esto implica apropiarse de los conocimientos (hechos, conceptos, leyes, teorías, etc.), estudiar las maneras en que funciona la ciencia (métodos, procedimientos, etc.) y comprender la estrecha vinculación con aspectos culturales (relación ciencia y sociedad, historia de las ciencias, etc.) (Boilevin, 2000, p. 62).

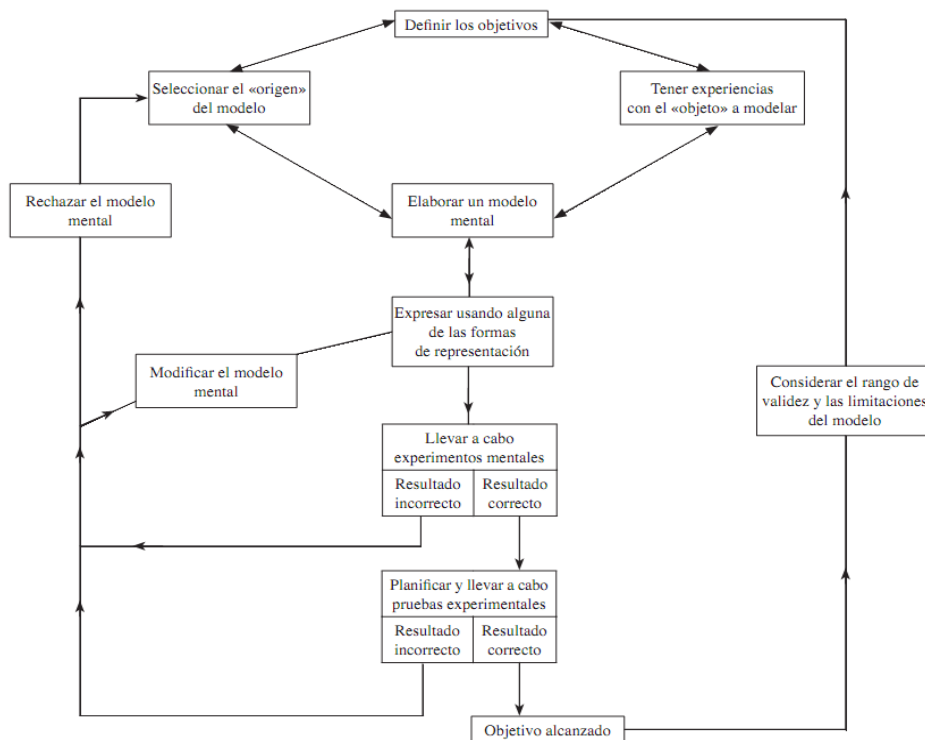
En relación al proceso de construcción de modelos, Justi (2006) propone un modelo sobre este proceso organizado en cuatro etapas (**Figura 2-2**), lo que no implica que sea deseable ni esperable que todos los alumnos desarrollen el mismo modelo ni de la misma forma. Por el contrario, se espera que esta estrategia de enseñanza permita el

enriquecimiento de la estructura cognitiva y emocional de los alumnos, entendiendo que el aprendizaje es un proceso gradual y no lineal de modificación de ideas.

Etapa 1:

- Definir el objetivo o bien tener conocimiento del mismo (Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998).
- Buscar observaciones iniciales (directas o indirectas, cualitativas o cuantitativas) acerca de la entidad a modelar. Es decir, experiencias que la persona ya tiene o que pasa a tener con el «objeto» a modelar. Estas experiencias pueden existir como observaciones empíricas o como informaciones previamente existentes (en la estructura cognitiva del propio individuo o en fuentes externas) acerca de la entidad modelada y del contexto en el cual está inmersa.
- Seleccionar los aspectos de la realidad que se usarán para describir el «objeto» a modelar. Pueden ser ser situaciones con las que parece posible establecer una analogía (Gentner y Gentner, 1983; Wilbers y Duit, 2006) o bien recursos matemáticos para la situación en cuestión.
- Elaborar un modelo mental inicial a partir de los elementos anteriores utilizando la creatividad y el razonamiento crítico.

**Figura 2-2:** Modelo del proceso de construcción de modelos (Justi y Gilbert, 2002).



Etapa 2:

- Decidir cuál será la forma de representación más adecuada para el modelo: concreta, visual, verbal, matemática, computacional (Boulter y Buckley, 2000).

- El desarrollo del modelo mental tendrá un carácter cíclico dado que el proceso de expresar un modelo conlleva hacer modificaciones en el modelo mental que, a su vez, se puede expresar de diferentes formas, y así sucesivamente.

#### Etapa 3:

- Comprobación del modelo propuesto mediante experimentos mentales y/o mediante la planificación y realización de comprobaciones experimentales. Si el modelo falla se debe intentar hacer modificaciones al mismo para que pueda reincorporarse al proceso.
- El modelo puede ser rechazado en casos extremos en que la comprobación señala problemas serios y dificultades de adecuación. Esto implica una reconsideración radical de los elementos de la Etapa 1 de elaboración del modelo, añadiéndole el conocimiento adquirido hasta el momento, el cual pasa a formar parte de las experiencias anteriores del individuo.

#### Etapa 4:

- Socialización del modelo. Si ha tenido éxito en la etapa 3, se puede decir que el modelo ha cumplido con el propósito para el que ha sido elaborado. Por lo tanto, el individuo que lo creó queda convencido de su validez, por lo que su siguiente tarea consistirá en convencer de esto a otros individuos.
- En este proceso de socialización, se debe hacer explícito tanto el ámbito de validez del modelo como las limitaciones del mismo en relación con el objetivo que inicialmente se había definido.

Pese a que este proceso de construcción de modelos intenta representar el modo de trabajar y pensar de muchos científicos, esto no implica que los estudiantes deban "pensar como" o "convertirse en" científicos. Sin embargo, esta propuesta brinda la oportunidad de experimentar determinados aspectos de la construcción del conocimiento científico, de pensar los propósitos de la ciencia, de formular preguntas críticas y atinadas, de proponer explicaciones, de realizar predicciones y de evaluar el modelo propuesto. Por lo tanto, implica a los alumnos en el "hacer ciencia" y en el "pensar sobre la ciencia", de forma tal que los fenómenos se estudien de un modo activo y participativo por parte de los estudiantes (Justi, 2006, p. 178).

## 2.5. Fundamentos disciplinares

En esta sección se reconstruye la Estructura Conceptual de Referencia (ECR) en relación al modo de descripción y explicación de los fenómenos astronómicos cotidianos desde un sistema de referencia centrado en el propio observador terrestre. Para ello se desarrolla el concepto de sistema de referencia, se detallan los sistemas de referencia astronómicos más relevantes para el proyecto y se centra la atención sobre el sistema topocéntrico. A continuación, se utiliza este último sistema de referencia con el fin de brindar una descripción de los movimientos del Sol, la Luna y las estrellas nocturnas en el cielo con el fin de construir explicaciones científicamente adecuadas acerca de los fenómenos del día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares.

### 2.5.1. La elección del sistema de referencia

El concepto de sistema de referencia es trascendental para analizar cualquier fenómeno físico ya que constituye un sistema de convenciones que se utiliza con el fin de poder medir y precisar la posición y otras magnitudes físicas de un objeto. Pese a que cada observador puede elegir el sistema de referencia que prefiera para describir el movimiento de un cuerpo (provocando que la descripción de dicho movimiento será diferente en cada caso), es posible afirmar que la ubicación del objeto en los distintos momentos debe ser única ya que el mismo no puede encontrarse en dos lugares a la misma vez. Esto parecería sugerir la existencia de un sistema de referencia absoluto, basado en los cambios en la posición del mismo cuerpo en relación al espacio mismo. Sin embargo, el principio de relatividad del movimiento sostiene que sólo podemos hablar de la posición o el desplazamiento de un cuerpo en relación a otro y que carece de sentido hablar del movimiento absoluto de un cuerpo sin referencia a ningún otro objeto. De este modo, el sistema de referencia se define como el conjunto de cuerpos que convencionalmente se consideran inmóviles y con respecto a los cuales se analiza y mide el movimiento de otros objetos (Landau, Ajezer y Lifshitz, 1973).

Dado que el sistema de referencia puede ser elegido arbitrariamente, queda claro que la descripción del movimiento de un cuerpo será diferente en función de la elección que se realice. Si el sistema de referencia se encuentra en el mismo objeto a analizar, éste se hallará en reposo respecto al sistema elegido pero se encontrará en movimiento respecto a otros posibles sistemas de referencia. A su vez, esto implica que el mismo cuerpo se moverá diferente, siguiendo distintas trayectorias en los distintos sistemas.

Pese a que la elección de cualquier sistema de referencia es indiferente e igualmente posible para la descripción del movimiento de un cuerpo, los fenómenos físicos no ocurren igual en todos los sistemas y, en consecuencia, cobra relevancia el proceso de decisión acerca de cuál elegir con el fin de lograr que los fenómenos de la naturaleza aparezcan en él de la forma más simple (ibíd.).

Entre los distintos sistemas posibles existen ciertas ventajas relativas de los llamados “sistemas de referencia inerciales”, que son aquellos en los cuales el sistema se encuentra ligado a un cuerpo que se desplaza a velocidad constante. En consecuencia, el desplazamiento libre de interacción de un objeto será descrito como un movimiento a velocidad constante desde cualquier sistema inercial y, por lo tanto, existen infinitos sistemas inerciales posibles, cada uno de ellos ligado a otros cuerpos que se desplazan libremente. En todos estos sistemas inerciales posibles, los fenómenos físicos ocurren de la misma manera y las leyes de la naturaleza poseen la misma forma, lo que provoca que sean indistinguibles entre sí y, consecuentemente, que pierdan sentido los conceptos de posición y movimiento absolutos. En contraposición, las leyes físicas se enuncian de distinta manera en los diferentes sistemas acelerados o “no inerciales”, por lo cual es natural que los fenómenos físicos se intente estudiarlos, la mayoría de las veces, con mayor o menor grado de precisión, desde sistemas de referencia inerciales.

Un ejemplo de esto último es el sistema de referencia que se utilizará en este trabajo, donde se focalizará la atención en el sistema de referencia topocéntrico, centrado en la propia posición de un observador terrestre. Este sistema de referencia es claramente no inercial debido a que la Tierra rota alrededor de su eje y se traslada alrededor del Sol (además de otros movimientos en los que no será necesario ahondar aquí), lo que provoca que los distintos puntos situados en la superficie del planeta se muevan a velocidades diferentes y no constantes. Sin embargo, dado el lento cambio de la dirección de las velocidades de los movimientos de rotación y traslación, un sistema de



referencia posicionado en un punto de la superficie terrestre puede ser considerado inercial, con un muy pequeño margen de error, para la gran mayoría de las experiencias cotidianas. Pese a ello, existen experiencias concretas en las que es imposible dejar de lado el carácter no inercial de este sistema fijo a la Tierra. Por ejemplo, al analizar la caída libre de una partícula en el campo gravitatorio terrestre desde una gran altura, al hacer oscilar un cuerpo colgado de una cuerda extensa (péndulo de Foucault) o al lanzar un proyectil que deberá recorrer grandes distancias en dirección norte-sur.

Desde la mecánica newtoniana, que es adecuada para describir la gran mayoría de los fenómenos astronómicos que ocurren a escalas de nuestro planeta, e incluso del Sistema Solar, un sistema inercial puede pensarse como aquel en el que el movimiento de los cuerpos puede explicarse adecuadamente a partir de las leyes de Newton. En cambio, en un sistema no inercial estas leyes no se cumplen ya que se deben introducir fuerzas “inerciales” para explicar determinados fenómenos observables. A estas fuerzas se las suele llamar “ficticias” dado que no son el producto de la interacción con un campo producido por otros objetos, sino de la rotación o de la aceleración lineal del origen del sistema de referencia. Como ejemplo de este tipo de fuerzas es posible mencionar a las fuerzas centrífuga y de coriolis, indispensables para explicar algunos de los fenómenos que se observan en la atmósfera terrestre debido al movimiento no uniforme de nuestro planeta.

## **2.5.2. Sistemas de referencia astronómicos**

Como se ha mencionado, la elección adecuada del sistema de referencia es un tema crucial para determinar la posición y el movimiento de cualquier cuerpo y, particularmente, de los astros celestes. A su vez, se ha discutido la imposibilidad de fijar un sistema de referencia que pueda considerarse absoluto y la conveniencia de elegir, entre todos los posibles, un sistema de referencia que sea inercial.

Sin embargo, en el caso de los fenómenos astronómicos esto último será prácticamente imposible ya que nuestro planeta se encuentra en continua rotación, y con continuas aceleraciones, debido la existencia de interacciones entre la Tierra y el Sol, y entre la Tierra y los otros planetas. Lo mismo sucede con el Sol y sus interacciones con otros cuerpos de la galaxia, lo que hace que tampoco sea posible considerar al centro del Sol como origen de un sistema de referencia inercial. Por otro lado, la mayoría de las observaciones astronómicas se realizan desde la Tierra, lo que implica la necesidad de plantear un sistema de referencia que esté centrado en algún punto de su superficie o, a lo sumo, en el centro de masas terrestre.

Por su parte, las enormes dimensiones que presenta el universo provocan la ficticia sensación de que los cuerpos celestes se ubican a distancias similares de la Tierra y, en consecuencia, la posición de un astro suele indicarse en función de la dirección espacial hacia la que debe apuntar sus ojos (o un instrumento óptico) un observador terrestre. En función de esto, resulta útil el concepto de “esfera celeste”, que constituye una esfera de radio arbitrario, con centro en un punto determinado del espacio, sobre la que se proyectan todos los astros con el fin de estudiar sus posiciones (Berrocoso et al., 2003).

En función del origen elegido para la esfera celeste se podrán definir distintos sistemas de representación del universo. En este trabajo, donde se analizarán los fenómenos

astronómicos cotidianos desde un punto de la superficie terrestre (la mayoría de las veces) o desde algún punto del espacio exterior (en menor medida), los sistemas de referencia astronómicos que serán de interés son:

- a) Sistema topocéntrico: centrado en un punto de la superficie terrestre.
- b) Sistema geocéntrico: centrado en el centro de masas de la Tierra.
- c) Sistema heliocéntrico: centrado en el centro de masas del Sistema Solar.

Dado que el radio de la Tierra es muchísimo más chico que la distancia a la mayoría de los astros, en una gran cantidad de fenómenos astronómicos puede considerarse como origen de la esfera celeste al centro de la Tierra o, indistintamente, a un lugar sobre la superficie de nuestro planeta. Por lo tanto, con el fin de generar sistemas de referencia que no dependan del lugar de observación, es común que los astrónomos suelen utilizar en mayor medida el sistema de referencia geocéntrico que el topocéntrico.

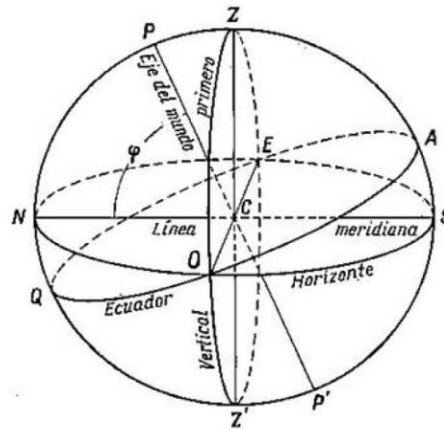
Sin embargo, dado que los fenómenos astronómicos cotidianos, tales como el día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna, se encuentran fuertemente condicionados por la ubicación del observador, en esta investigación será relevante utilizar el sistema de referencia topocéntrico por ser el que permite describir con precisión lo que se observa desde un punto determinado de la superficie terrestre.

Para describir el movimiento de los astros se definen una serie de elementos principales de la esfera celeste (**Figura 2-3**):

- a) Eje celeste (o "Eje del mundo"): prolongación del eje terrestre hasta la esfera celeste.
- b) Polos celestes (P y P'): puntos en los cuales la prolongación del eje terrestre interseca a la esfera celeste.
- c) Ecuador celeste: círculo máximo de la esfera celeste que resulta de la proyección del Ecuador terrestre sobre ésta.
- d) Meridiano celeste: círculo máximo que pasa por los polos celestes.
- e) Paralelo celeste: círculo menor paralelo al Ecuador celeste.
- f) Horizonte terrestre: plano tangente a la Tierra en el lugar de observación.
- g) Horizonte celeste: círculo máximo que resulta de la intersección del horizonte terrestre con la esfera celeste.
- h) Cénit (Z): punto en que la vertical astronómica del lugar interseca a la esfera celeste.
- i) Nadir (Z'): punto de la esfera celeste diametralmente opuesto al cénit.
- j) Meridiano del lugar: meridiano celeste que contiene al cénit y al nadir.
- k) Latitud del lugar: ángulo entre la meridiana del lugar y el eje celeste.

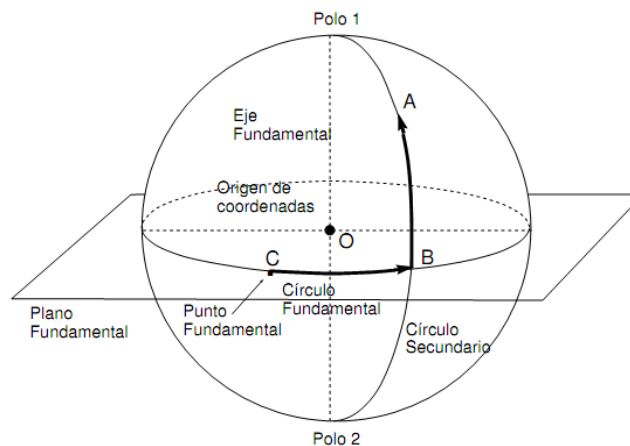
Para indicar la ubicación de un astro en el cielo se utiliza un sistema de coordenadas esféricas en un espacio euclídeo tridimensional, donde la posición P de un astro queda determinada por la terna  $(r, \varphi, \theta)$ , donde  $r$  es la distancia al origen de coordenadas y  $\varphi$  y  $\theta$  son ángulos que indican la dirección del vector  $r$  en relación a planos convencionales tomados como referencia.

**Figura 2-3:** Elementos principales de la esfera celeste.



Dado que se suele considerar a todos los astros ubicados sobre la esfera celeste, su distancia  $r$  al origen de coordenadas será siempre la unidad  $y$ , en consecuencia, la posición de cada uno quedará identificada indicando solamente los ángulos  $\varphi$  y  $\theta$ , medidos sobre círculos máximos de la esfera celeste perpendiculares entre sí. Por lo tanto, para fijar la posición de un astro habrá que fijar, además del origen del sistema (que puede ser topocéntrico, geocéntrico o heliocéntrico), un plano fundamental de referencia que pase por el centro de la esfera, un punto fundamental en dicho plano y un sentido para la medición de los ángulos (**Figura 2-4**). Combinando los orígenes de coordenadas y los distintos planos de referencia, los sistemas más utilizados se muestran en la **Tabla 2-1**.

**Figura 2-4:** Mecanismo general para indicar las coordenadas de un astro situado en la esfera celeste (Berrocoso et al., 2003, p. 88).



**Tabla 2-1:** Sistemas de referencia astronómicos más utilizados.

Nombre	Origen	Plano fundamental	Punto fundamental	Coordenadas
Horizontal o Altacimutal	Topocéntrico	Horizonte del observador	Punto sur	Acimut (A) y altura (h)
Ecuatorial horario	Geocéntrico	Ecuador celeste	Intersección del meridiano del lugar y el Ecuador celeste	Ángulo horario (H) y declinación ( $\delta$ )
Ecuatorial absoluto	Geocéntrico	Ecuador celeste	$\gamma$ : Punto Aries	Ascensión recta ( $\alpha$ ) y declinación ( $\delta$ )
Eclíptico	Geocéntrico	Eclíptica	$\gamma$ : Punto Aries	Longitud ( $\lambda$ ) celeste y latitud ( $\beta$ ) celeste
Heliocéntrico	Heliocéntrico	Eclíptica	$\gamma$ : Punto Aries	Longitud ( $\lambda'$ ) y latitud ( $\beta'$ ) heliocéntricas

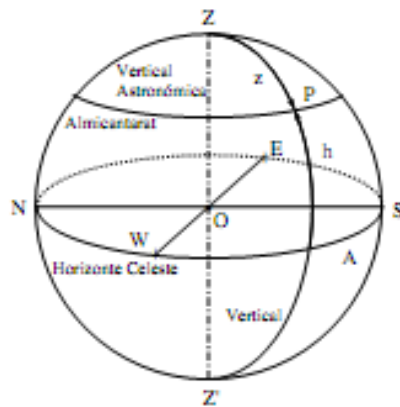
### 2.5.3. Características de los distintos sistemas de referencia astronómicos

A continuación se detallan las características principales de los distintos sistemas de referencia presentes en la **Tabla 2-1** y se realiza un análisis de las ventajas y desventajas de cada uno.

#### 2.5.3.1. Sistema horizontal o altacimutal

Es un sistema de coordenadas topocéntrico horizontal cuyo origen está situado sobre la superficie terrestre. El plano fundamental es el horizonte del lugar y las coordenadas horizontales de un punto sobre la esfera celeste son el acimut (A) y la altura (h). El acimut es el ángulo horizontal que se mide desde el sur en sentido retrógrado y la altura se mide angularmente desde el plano del horizonte del lugar (**Figura 2-5**)

**Figura 2-5:** Coordenadas horizontales de un punto sobre la esfera celeste (ibíd., p. 89).



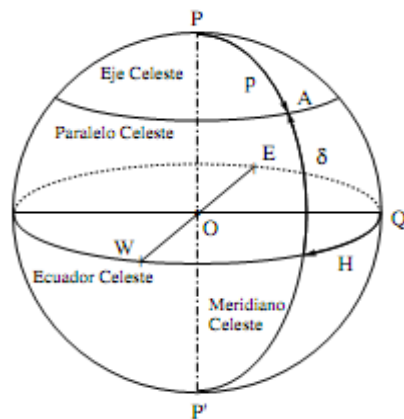
Este sistema de coordenadas posee la ventaja de representar el aspecto del cielo visto por un observador desde un punto determinado de la superficie terrestre. A su vez, es accesible a las vivencias cotidianas y a la experimentación física dado que tanto el plano horizontal como la dirección vertical, perpendicular a él, son fácilmente identificables y perceptibles mediante el uso de una plomada y un nivel. A su vez, la determinación de la dirección sur para medir el acimut es relativamente sencilla si se aprovecha la dirección de la sombra en el momento en que el Sol atraviesa el meridiano del lugar (válido para localidades situadas al sur del Trópico de Capricornio).

Los inconvenientes que surgen con este sistema se deben al carácter local del mismo, lo que dificulta la comparación con lo que se observa en otra posición de la Tierra dado que el horizonte local cambia de un lugar a otro. Sin embargo, la comparación es posible teniendo en cuenta la ubicación respectiva de cada observador. Es el sistema de referencia que se utilizará en este trabajo de investigación en forma casi exclusiva.

### 2.5.3.2. Sistema ecuatorial horario

Es un sistema de coordenadas geocéntrico ecuatorial cuyo origen es el centro de masas de la Tierra. El plano fundamental es el Ecuador celeste y las coordenadas esféricas que se utilizan son el ángulo horario (H) y la declinación ( $\delta$ ). El ángulo horario es el arco del Ecuador celeste que va desde el llamado punto Q' (intersección entre el meridiano superior del lugar y el Ecuador celeste) hasta el meridiano celeste que pasa por el astro. Este arco se mide en sentido retrógrado u horario y se expresa en horas (1 hora equivale a  $15^\circ$  en el cielo). Por su parte, la declinación es el arco del meridiano celeste que pasa por el astro que va desde el Ecuador celeste hasta el astro en cuestión. Por convención, la declinación se mide en grados y toma valores entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$  para el hemisferio norte celeste y entre  $0^\circ$  y  $-90^\circ$  para el hemisferio sur celeste (**Figura 2-6**).

**Figura 2-6:** Coordenadas horarias de un punto sobre la esfera celeste (ibíd., p. 91).



Este sistema de coordenadas posee la ventaja de que, a diferencia del sistema horizontal, comienza a presentar aspectos invariantes si el observador se desplaza de un lado a otro de la Tierra. En este sentido, la declinación de una estrella (su “distancia angular” al Ecuador celeste) permanece constante a lo largo de gran cantidad de tiempo (despreciando su lento movimiento propio) y la declinación de un astro del Sistema Solar puede considerarse constante para cada día del año (salvo la Luna, que se desplaza en el cielo con demasiada rapidez).

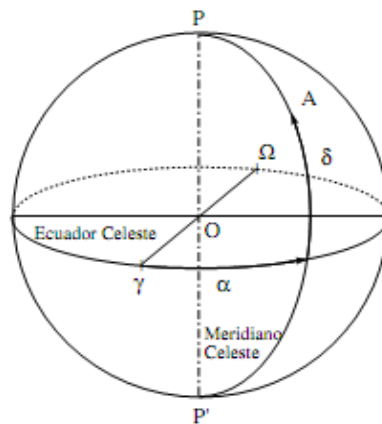
Por otro lado, el ángulo horario no se modifica con la latitud del lugar de observación (aunque sí con la longitud) y su variación es uniforme (debido a ser causada por la rotación de la Tierra). Esto provoca que, para un determinado lugar, la variación del ángulo horario sea igual al tiempo transcurrido: 1 hora de tiempo transcurrido equivale a 1 hora de cambio del ángulo horario ( $15^\circ$ ). Por último, la diferencia de ángulo horario de un determinado astro observado desde distintos lugares de la Tierra es igual a la diferencia en longitud entre ambos sitios.

Las desventajas de este sistema de coordenadas están relacionadas con las dificultades para medir la declinación de un astro debido a que el Ecuador celeste no es posible de percibir a simple vista. A su vez, más allá de que el origen del sistema de coordenadas es geocéntrico, el ángulo horario posee un carácter local dado que el plano de referencia para su medición es el correspondiente al meridiano superior del lugar.

### 2.5.3.3. Sistema ecuatorial absoluto

Es un sistema de coordenadas geocéntrico ecuatorial cuyo origen es el centro de masas de la Tierra. El plano fundamental es el Ecuador celeste y las coordenadas esféricas que se utilizan son ascensión recta ( $\alpha$ ) y declinación ( $\delta$ ). La ascensión recta es un parámetro similar al ángulo horario ya que se expresa en horas y también corresponde a un arco medido sobre el Ecuador celeste (**Figura 2-7**). La diferencia es el punto de referencia de cada uno: el ángulo horario se mide desde el meridiano superior del lugar y la ascensión recta desde el Punto Aries (una de las dos intersecciones del plano de la eclíptica con el Ecuador celeste).

**Figura 2-7:** Coordenadas absolutas de un punto sobre la esfera celeste (ibíd., p. 97).



La ascensión recta (que va de  $0^h$  a  $24^h$ ) se define como el arco del Ecuador celeste medido en sentido directo desde el Punto Aries hasta el meridiano que contiene al astro. Dado que el Punto Aries es un punto fijo de la esfera celeste y que, por lo tanto, rota en conjunto con ella, la ascensión recta de una estrella se mantiene constante mientras que el ángulo horario no. Por lo tanto, este sistema de coordenadas no depende ni del momento ni del lugar de observación.

Por otro lado, se llama día sidéreo al tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Punto Aries por el meridiano superior del lugar y, en consecuencia, serán las 0<sup>h</sup> de tiempo sidéreo cuando el Punto Aries se encuentre atravesando el meridiano superior del lugar. Por lo tanto, el tiempo sidéreo será igual al ángulo horario del Punto Aries en ese momento:  $\theta = H$  (del Punto Aries). En consecuencia, la expresión para relacionar el ángulo horario (H) con la ascensión recta ( $\alpha$ ) en función del tiempo sidéreo (TS) es la siguiente:

$$TS = \alpha + H$$

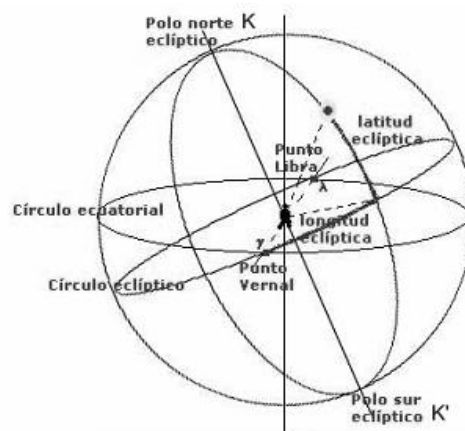
Pese a sus similitudes con el sistema de coordenadas horario, el sistema ecuatorial presenta la ventaja de que sus coordenadas no dependen del lugar ni del momento en que se realice la observación, por lo que es un sistema invariante respecto al espacio y al tiempo (en escalas normales de unos 50 años). En este sentido, este sistema es análogo al sistema de coordenadas geográficas terrestres basado en los parámetros de latitud y longitud.

#### 2.5.3.4. Sistema eclíptico

Este sistema de coordenadas se utiliza cuando se desea estudiar el movimiento de astros del Sistema Solar, como los planetas, la Luna o el Sol, cuyas coordenadas celestes no pueden considerarse constantes y cuyo movimiento se produce en la zona cercana al plano de la eclíptica. Es un sistema geocéntrico cuyo plano fundamental es el de la eclíptica, que es el plano de movimiento de la Tierra alrededor del Sol o, de igual modo, del movimiento del Sol en el cielo observado desde nuestro planeta. Las coordenadas que se utilizan son la longitud eclíptica ( $\lambda$ ) y la latitud eclíptica ( $\beta$ ).

Dado que el plano fundamental de este sistema es la eclíptica, la cual se encuentra inclinada respecto al Ecuador, los polos de este sistema no coinciden con los polos celestes (están desplazados aproximadamente 23,5°). La longitud eclíptica es el arco medido sobre la eclíptica desde el punto Aries o Vernal en dirección hacia el este y hasta el meridiano que pasa por el astro. La latitud eclíptica se mide sobre el meridiano en que se encuentra el astro y se considera positiva hacia el norte de la eclíptica y negativa hacia el sur (**Figura 2-8**).

**Figura 2-8:** Coordenadas eclípticas de un punto sobre la esfera celeste.



#### 2.5.3.5. Sistema heliocéntrico

Es un sistema de coordenadas análogo al sistema eclíptico geocéntrico, pero con origen en el centro de masas del Sistema Solar, que se encuentra muy cercano al propio centro de masas dinámico del Sol. Se utiliza con el fin de determinar la posición de los astros en el Sistema solar, cuyos movimientos son altamente influenciados por la gran masa solar. La eclíptica es el plano fundamental y se utilizan las coordenadas longitud heliocéntrica ( $\lambda'$ ) la latitud heliocéntrica ( $\beta'$ ), tomando al punto Aries como referencia.

La desventaja de este sistema de consiste en que la mayoría de las observaciones y mediciones de parámetros de los astros se llevan a cabo desde la superficie terrestre, o sus "alrededores" astronómicos, por lo cual los cálculos heliocéntricos que se realicen deberán ser convertidos a coordenadas geocéntricas o incluso topocéntricas.

#### 2.5.4. La elección de un determinado sistema de referencia astronómico

Como ya se ha mencionado anteriormente, no existe un sistema de referencia a partir del cual es posible medir las posiciones de los astros en forma absoluta y, en consecuencia, para estudiar los fenómenos astronómicos existirán diferentes posibilidades a la hora de decidir desde dónde se describirán o explicarán dichos fenómenos. A su vez, el sistema de referencia a elegir tendrá relación con los fines del estudio que se desee llevar a cabo: si se desea lograr la descripción del fenómeno que se observa, si se desea explicar por qué el fenómeno ocurre de una determinada manera, si se desea predecir cómo continuará en el futuro o si existen otros posibles fenómenos similares que todavía no han sido observados.

Por lo tanto, es posible tomar un determinado fenómeno astronómico y analizar las ventajas y desventajas de utilizar diferentes sistemas de referencia en función de si se desea estudiar, por ejemplo, la cinemática (el cómo ocurre) o la dinámica del fenómeno (el por qué ocurre). En función de esto, el sistema de referencia topocéntrico ha sido elegido como eje principal de este trabajo de investigación por ser el que mejor representa las descripciones de los movimientos de los astros que puede realizar cualquier observador situado en un punto de la superficie terrestre, haciendo posible el desarrollo de experiencias observacionales directas con los estudiantes.

A su vez, la utilización del sistema de referencia topocéntrico hace posible la construcción de explicaciones adecuadas, y la realización de precisas predicciones, dado que la mayoría de los fenómenos astronómicos cotidianos pueden ser comprendidos en forma relativamente sencilla a partir de las variaciones de las posiciones relativas de los astros en el cielo. De este modo, es posible construir con los alumnos un "modelo cinemático celeste" con características descriptivas, explicativas y predictivas acerca de dichos fenómenos.

En función de lo anterior, el ciclo día/noche puede comprenderse adecuadamente como una consecuencia de la variación diaria de la posición del Sol en el cielo, desde algún lugar del horizonte oriental hacia algún lugar del horizonte occidental, las estaciones del año pueden explicarse a partir del movimiento anual del Sol, que provoca su ubicación más al norte o más al sur a lo largo del año, y las fases lunares pueden interpretarse como el resultado del desplazamiento de la Luna de un día al otro en el cielo, cambiando su posición relativa respecto al Sol. Esta relación entre los cambios en las



posiciones relativas de los astros y los fenómenos astronómicos cotidianos será desarrollada en las secciones siguientes.

Por otro lado, más allá de que en este trabajo se utiliza en forma exclusiva el sistema de referencia topocéntrico, existen expresiones matemáticas que hacen posible realizar transformaciones entre sistemas de referencia, pudiéndose pasar desde el sistema topocéntrico al geocéntrico o al heliocéntrico. Estas transformaciones se encuentran detalladas en la sección **10.1. del Anexo**.

A su vez, los mismos fenómenos astronómicos cotidianos mencionados anteriormente pueden ser explicados utilizando el sistema de referencia heliocéntrico, a partir de los movimientos de rotación y traslación de la Tierra, junto con la inclinación del eje terrestre, y del desplazamiento de la Luna en su órbita alrededor de la Tierra. Estas explicaciones, que son las más comúnmente presentes en los libros escolares, se desarrollan sintéticamente en la **sección 10.2. del Anexo** dado que no serán utilizadas como parte central de la propuesta didáctica a implementar en el aula en este trabajo.

### **2.5.5. Un ejemplo astronómico de elección del sistema de referencia**

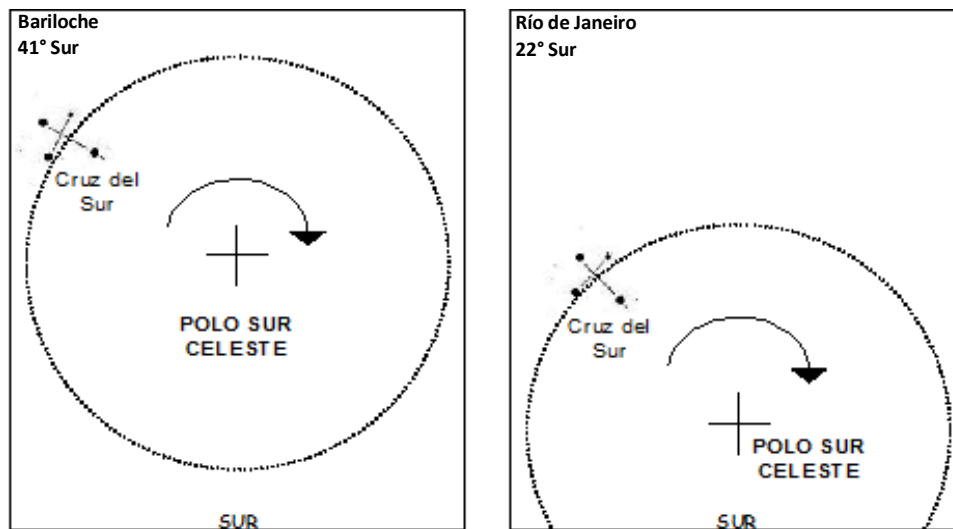
Como ya se ha dicho, no existen sistemas de referencia absolutos y, en consecuencia, para estudiar los fenómenos astronómicos habrá distintas posibilidades a la hora de decidir desde dónde se describen o intentan explicar dichos fenómenos. A continuación se brinda un ejemplo de cómo puede ser analizado desde distintos sistemas de referencia un fenómeno astronómico extremadamente sencillo: el movimiento diario de las estrellas nocturnas en el cielo. Para ello se discutirán las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas de referencia astronómicos en función de si se desea analizar la cinemática (el cómo ocurre) o la dinámica (el por qué ocurre) del fenómeno.

El fenómeno a estudiar es sencillo de distinguir en el cielo a simple vista ya que es sumamente notorio que las estrellas no se encuentran fijas en la misma posición celeste, si no que se van desplazando con el correr de las horas manteniendo siempre la distancia entre ellas. Dado este movimiento en conjunto, desde épocas remotas distintas civilizaciones crearon "constelaciones": grupos de estrellas que forman figuras imaginarias con el fin de poder reconocerlas.

Este desplazamiento diario de las estrellas y constelaciones en el cielo no es azaroso ya que es un reflejo del movimiento de rotación terrestre. Por lo tanto, cada constelación describe un círculo cuyo centro es un punto al que se denomina "polo celeste". Este punto constituye la proyección del eje de rotación terrestre en el cielo y su posición tiene relación con la latitud del lugar en el que se encuentra el observador: la altura del polo celeste coincide con la latitud del lugar. A su vez, cuanto más alejada angularmente se encuentra una estrella del polo, más grande es el círculo que describe en el cielo y, en consecuencia, en algún momento se pondrá por debajo del horizonte hasta salir unas horas después (**Figura 2-9**).

A continuación se discutirán dos posibles sistemas de referencia para describir y explicar este fenómeno de movimiento circular de las estrellas en el cielo.

**Figura 2-9:** Movimiento diario de la Cruz del Sur en el cielo alrededor del Polo Sur Celeste en dos localidades: en Bariloche y en Río de Janeiro (Galperin, 2011, p. 222).



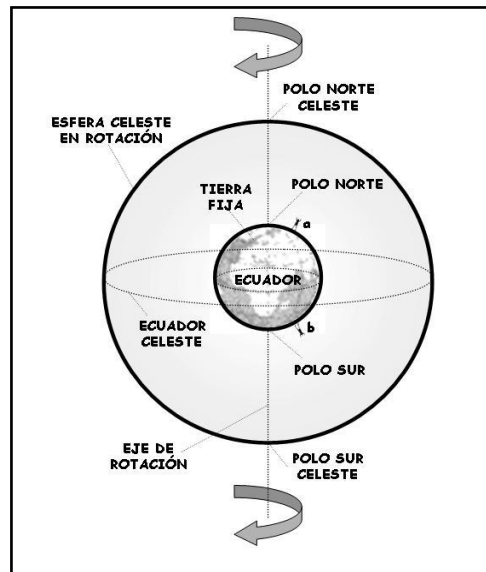
#### 2.5.5.1. Sistema de referencia inercial centrado en la Tierra (sin rotación)

Si se coloca el origen del sistema de referencia en el centro de la Tierra y se considera que el mismo no rota, es sencilla la descripción del giro de las estrellas en el cielo. Sin embargo, no resulta fácil explicar cuál es la causa de este movimiento circular ya que, para ello, se debería tener en cuenta que esta causa debería crecer con la distancia desde la Tierra a la estrella con el fin de que la velocidad angular sea la misma para los diferentes astros. A su vez, tendría que explicar por qué todas las estrellas poseen el mismo eje de rotación y a qué se debe la enorme velocidad necesaria para mantenerlas “en órbita” alrededor de nuestro planeta.

Como se ve, este sistema de referencia inercial se muestra inconsistente para poder explicar adecuadamente el giro diario de las estrellas a partir de los conocimientos científicos elaborados por Newton hace más de 300 años. Sin embargo, este sistema de referencia es la base del modelo de universo geocéntrico desarrollado en la antigüedad, que permitió un gran desarrollo de la Astronomía de posición y la descripción y predicción de gran cantidad de fenómenos observables. En dicho modelo, el centro del universo coincide con el centro de una Tierra esférica, fija y estática, alrededor de la cual se ubican las estrellas a una distancia constante, insertas sobre una gran esfera que gira de este a oeste, sin explicación alguna de la razón de este giro. A la esfera de las estrellas se la denominó “esfera celeste” y a este modelo, que rigió la Astronomía durante varios siglos, se lo conoce con el nombre de “Universo de las dos esferas” (**Figura 2-10**).

El modelo de "Universo de las dos esferas" permite explicar en forma sencilla la cinemática básica de los desplazamientos diarios en el cielo: la idéntica velocidad angular de todas las estrellas y el giro de todas ellas alrededor de un eje común. En cambio, no permite explicar la dinámica del fenómeno: las causas del giro de la esfera celeste según los conocimientos científicos actuales.

**Figura 2-10:** Modelo de Universo de las dos esferas con la Tierra fija y la esfera celeste en rotación. Un observador situado en un hemisferio (a ó b) no puede observar el polo celeste opuesto ya que la superficie terrestre se lo impide (ibíd., p. 223).



#### 2.5.5.2. Sistema de referencia no inercial centrado en la Tierra (con rotación)

Otra posibilidad para explicar el fenómeno del giro de las estrellas es colocar el origen del sistema de referencia en el centro de masas de la Tierra y suponer que dicho sistema gira alrededor de un eje que pasa por los polos geográficos terrestres, dando una vuelta por día. De este modo, es posible considerar a las estrellas y a su movimiento circular como una consecuencia de la rotación del sistema de referencia (que representa el giro de la Tierra sobre su eje), sin necesidad de incorporar variables adicionales al fenómeno. Este sistema de referencia resulta adecuado y sencillo para explicar la dinámica del movimiento de las estrellas en el cielo (el por qué se desplazan), pero genera ciertas dificultades a la hora de tener que describir dicho movimiento desde la posición de un observador concreto posicionado en un punto de la superficie terrestre.

Por lo tanto, los dos sistemas de referencia detallados anteriormente son equivalentes cinemáticamente, aunque no lo son desde el punto de vista dinámico ya que uno es inercial y el otro no. Lo mismo sucederá si se coloca el origen del sistema de referencia en cualquier cuerpo del Sistema Solar, incluso en el Sol. Sin embargo, en la práctica los sistemas de referencia astronómicos son considerados inerciales para estudiar la mayoría de los fenómenos dado que las fuerzas de inercia suelen poder despreciarse frente a otras fuerzas que actúan sobre el sistema, como es el caso de la fuerza gravitatoria. En consecuencia, la elección de uno u otro sistema de referencia dependerá, como ya se ha mencionado, de las características del fenómeno a analizar y del tipo de conclusiones que se desean obtener.

### 2.5.6. La medición del tiempo

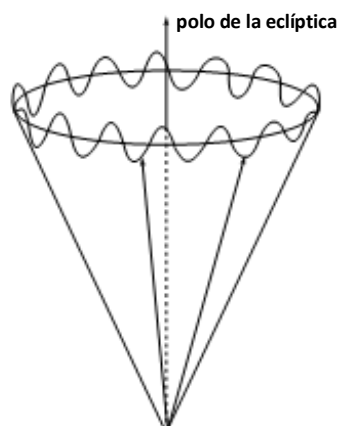
Para analizar el movimiento de los astros es imprescindible relacionar los cambios que se producen en la posición de los mismos, lo cual está íntimamente vinculado a la idea de "tiempo", que consiste fundamentalmente en la ordenación de distintas configuraciones espaciales respecto a otras que se elegirán como base para la comparación. En función de qué tipo de eventos se tomen como referencia, los métodos de medida del tiempo pueden ser a través de sucesos periódicos (oscilaciones de un péndulo, por ejemplo) o de movimientos continuos (el movimiento de traslación de la Tierra, por ejemplo). Con el primer método, la escala de tiempo se construye tomando un múltiplo o submúltiplo del período de repetición del mismo suceso. En cambio, con el segundo método la escala temporal se construye a partir de las posiciones sucesivas ocupadas por el cuerpo que realiza el movimiento continuo y uniforme. En ambos casos es necesario definir un origen de la escala temporal, lo que permitirá determinar el orden en que ocurren los sucesos (la cronología), y la duración de dichos sucesos (la cronometría) (Berrocoso et al., 2003).

Se dice que una escala de tiempo es uniforme cuando la medición del intervalo entre dos sucesos es siempre idéntico, sin importar cuál haya sido el tiempo elegido como inicial. Sin embargo, una escala temporal puede ser uniforme para algunos sucesos pero no para otros, lo que indica la no existencia de un tiempo absoluto uniforme, por lo cual la uniformidad sólo puede ser relativa a un cierto tipo de fenómenos físicos.

Las escalas de tiempo pueden clasificarse en astronómicas (basadas principalmente en la rotación o traslación de la Tierra) o físicas (basadas en las transiciones del átomo de Cesio, por ejemplo). Si se considera a la rotación de la Tierra como referencia para la escala temporal, se establecerá una correspondencia entre el ángulo de giro de los astros (que indica el giro de nuestro planeta) y el tiempo. De este modo, la medida del tiempo se reduce a una medida de ángulos: el ángulo horario del Sol determina el llamado "tiempo solar", mientras que el ángulo horario del punto Aries determina el llamado "tiempo sidéreo". De este modo, es posible definir dos días distintos, el "día solar" y el "día sidéreo", que son los intervalos de tiempo transcurridos entre dos culminaciones superiores sucesivas del Sol o del punto Aries respectivamente.

Dada la existencia de irregularidades en la rotación terrestre, esta escala de tiempo rotacional no es uniforme. Para evitar dichas irregularidades es que se define una escala de tiempo astronómica basada en la traslación de la Tierra, la cual toma como unidad al "año sidéreo", que es el intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol por el punto Aries de la esfera celeste. Sin embargo, esta escala también posee ciertas irregularidades debido al lento cambio que se produce en la posición del punto Aries como consecuencia de los movimientos de precesión y nutación de la Tierra. Dichos movimientos son producto de la atracción gravitatoria entre el Sol, la Luna y los planetas del Sistema Solar sobre el abultamiento ecuatorial que posee nuestro planeta. La precesión produce que el eje terrestre describa un cono alrededor del eje de la eclíptica con un período de 26000 años, por lo cual el punto Aries se desplaza unos 50" de arco cada año. A su vez, la nutación tiene un período de 18,66 años y provoca que el polo celeste describa una elipse cuyo centro es el círculo de precesión. Combinando ambos movimientos, el polo celeste describe una trayectoria sinuosa en torno al polo de la eclíptica (**Figura 2-11**).

**Figura 2-11:** Movimientos de precesión y nutación del eje de rotación terrestre (Berrocoso et al., 2003, p. 128).



Dados todos los movimientos mencionados que realiza nuestro planeta, es conveniente definir el "Ecuador medio" como la intersección en un determinado instante del Ecuador terrestre con la esfera celeste y el "equinoccio medio" como el equinoccio correspondiente a un instante determinado corregido por precesión. De esta manera, es posible definir un "tiempo sidéreo medio", el cual se diferencia del tiempo sidéreo verdadero en que este último incluye la corrección por nutación. En función de las irregularidades mencionadas, se define el "día sidéreo medio" como el tiempo transcurrido entre dos pasos sucesivos del equinoccio medio por el meridiano del lugar. Aunque esta escala de tiempo es relativamente uniforme, actualmente se utilizan relojes atómicos para definir una escala de tiempo física sumamente uniforme y accesible.

Como queda en evidencia a partir de las irregularidades en los movimiento terrestres, lo que parecería constituir un sencillo problema de determinación de las posiciones de los astros en el cielo se convierte en un complejo sistema de definición de convenciones espaciales y temporales. Estas convenciones poseen un cierto rango de validez, el cual queda determinado por la comparación entre las predicciones del modelo propuesto y las mediciones y observaciones realizadas.

En la **sección 10.3. del Anexo** se detallan distintas definiciones de tiempo utilizadas en astronomía y sus respectivas correcciones realizadas a lo largo de los años.

### **2.5.7. Los fenómenos astronómicos cotidianos explicados en forma topocéntrica**

A continuación se desarrolla el "modelo cinemático celeste" que permite brindar las explicaciones científicas de los fenómenos del día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna utilizando el sistema de referencia topocéntrico con el fin de poder utilizarlas posteriormente dentro de la secuencia didáctica a implementar en el aula. Estas explicaciones topocéntricas formarán parte del modelo objetivo que se intentará alcanzar durante el proceso de enseñanza, debido a ser un modelo relativamente sencillo con características descriptivas, explicativas y predictivas y con gran relación con el entorno. A su vez, podrá ser utilizado como un modelo intermediario (Clement, 2000) hacia la construcción del modelo heliocéntrico durante la escuela secundaria.

Esta postura didáctica no implica en modo alguno negar la existencia del modelo heliocéntrico, ni erradicarlo de la escuela primaria. Por el contrario, implica reconocerlo como un modelo a alcanzar a lo largo del paso de los estudiantes por los distintos años de escolaridad, explicitando las dificultades que implica su comprensión y, sobre todo, enfatizando sus escasas posibilidades de relación con los fenómenos que se observan en el cielo todos los días. Esto ha provocado serios cuestionamientos respecto al sentido de su utilización como "único modelo explicativo válido" dentro del contexto escolar (Lanciano, 1989; Szostak, 1992; Camino, 1995; López-Gay et al., 2009; Shen y Confrey, 2010; Galperin, 2011; Plummer et al., 2011; Galperin et al., 2012; Jiménez Liso et al., 2012).

Dado que la secuencia didáctica fue diseñada para ser implementada en los últimos años de la escuela primaria, se ha decidido la utilización de explicaciones científicas cualitativas, de modo tal de no complejizar demasiado las ideas a construir con los estudiantes. Sin embargo, pese a que no han sido tenidas en cuenta como parte de la secuencia, es posible incorporar aspectos cuantitativos sencillos en las explicaciones topocéntricas. Por otro lado, el desarrollo cuantitativo topocéntrico preciso de los movimientos del Sol y la Luna en el cielo con el fin de explicar estos fenómenos se torna extremadamente complejo debido a la existencia de irregularidades en los movimientos de los astros, lo que a su vez torna dificultoso el poder precisar una escala de tiempo uniforme a la que no haya que realizarle correcciones continuamente. Como ejemplo de esto, en la **sección 10.4. del Anexo** se presenta el desarrollo cuantitativo del cálculo de los cambios en la posición topocéntrica del Sol en el cielo.

### **2.5.8. Movimiento diario del Sol: el día y la noche**

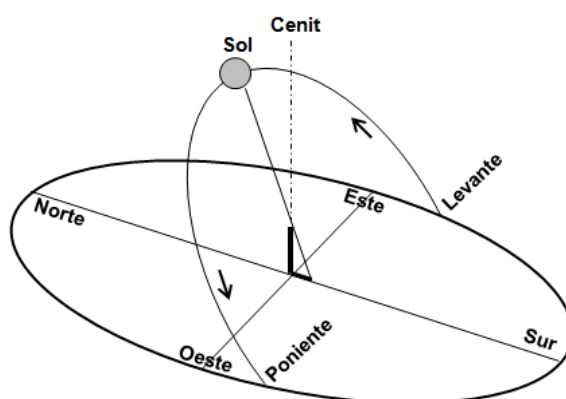
La gran mayoría de la gente sabe que por la mañana el Sol sale por algún lugar mirando hacia el este, que cerca del mediodía está en su punto más alto en el cielo, y que al atardecer se pone por algún lugar mirando hacia el oeste. También se sabe que el horario de salida y puesta del Sol no es el mismo a lo largo del año y que el recorrido del Sol en el cielo cambia a lo largo del año. Sin embargo, poca gente comprende la absoluta relación entre estos cambios y los fenómenos astronómicos más visibles y cotidianos: el día y la noche y las estaciones del año (Galperin, 2011).

Cada día que pasa, el Sol aparece por un punto del horizonte oriental, el "levante" u "orto", aumentando su altura continuamente siguiendo una trayectoria curva o "arco diurno" hasta alcanzar su altura máxima sobre el horizonte, momento en que la sombra de un gnomon presenta su mínima longitud diaria. En ese momento, llamado "mediodía solar", el centro del Sol, la varilla y su sombra se encuentran en un mismo plano. Luego del mediodía, el Sol va disminuyendo su altura hasta que se pone por un punto del horizonte occidental justo opuesto al levante, llamado "poniente" u "ocaso".

Esto se contrapone con lo que la mayoría de las personas piensan: que el Sol sale siempre por el este y se pone justo por el oeste. A su vez, la ubicación del Sol en el mediodía solar no coincide necesariamente con la posición justo por encima de la cabeza del observador, el "cénit", ya que eso sólo ocurre uno o dos días al año en determinados lugares de nuestro planeta. En particular, en la localidad de El Bolsón, al situarse al sur del Trópico de Capricornio, nunca sucede que el Sol pase por el cenit.

La forma más sencilla de estudiar los movimientos del Sol en el cielo es a través de la observación de la sombra de una estaca vertical clavada en el suelo, instrumento que recibe el nombre de gnomon. Así es posible observar que la sombra tiene distinto largo y orientación a medida que transcurren las horas y los días. Sin embargo, en el mediodía solar la sombra apunta en dirección sur o norte (salvo casos muy particulares), por lo que permite trazar la línea norte-sur o "meridiana del lugar" (**Figura 2-12**).

**Figura 2-12:** Movimiento del Sol en el cielo desde el levante hasta el poniente en El Bolsón (42° Sur), donde la posición del Sol en el mediodía solar nunca coincide con el cenit. Se grafica el recorrido correspondiente al mes de diciembre, saliendo al sur del este y poniéndose al sur del oeste. En El Bolsón (42° Sur), la sombra del gnomon en el mediodía solar siempre apunta hacia el sur.



Por otro lado, el "horizonte" del lugar corresponde a la línea imaginaria que parece separar al cielo y a la tierra para una determinada ubicación terrestre, lo que hace que un observador sólo pueda distinguir aquellos astros que se encuentran por encima de su horizonte local, quedando fuera de su línea de observación todo astro que se ubique por debajo del horizonte.

Al desplazamiento continuo del Sol desde el levante hasta el poniente por arriba del horizonte local, y desde el poniente por debajo del horizonte hasta aparecer nuevamente por el levante, se lo conoce como "movimiento diario del Sol". Este nombre proviene de la definición de "día" como el tiempo transcurrido entre dos pasos sucesivos del Sol por el meridiano del lugar, siendo este tiempo de aproximadamente 24 horas (existen pequeñas variaciones a lo largo del año). No hay que confundir esta definición con el otro uso que se le da a la palabra "día", que se contrapone con la palabra "noche", y que está asociada con las horas de luz debidas a la presencia del Sol por encima del horizonte.

Por lo tanto, si se desea explicar el ciclo día/noche desde el sistema de referencia topocéntrico basta con comprender que es la presencia del Sol, por arriba o por debajo del horizonte, lo que determina que sea de día o de noche respectivamente. Esta alternancia se debe al movimiento diario del Sol, desde el horizonte oriental al occidental, lo que provoca consecuencias en el aspecto del cielo y de nuestro entorno. Como se ve, en contraposición con lo que muchos adultos, niños y jóvenes sostienen, la Luna no guarda relación con este fenómeno ya que puede estar en el cielo tanto de día como de noche (Camino, 1995; Vega Navarro, 2001, 2007; Galperin et al., 2012).

El aspecto del cielo diurno es muy diferente al del cielo nocturno, especialmente debido a la presencia de la atmósfera terrestre que dispersa fuertemente la componente azul de la luz del Sol, haciendo que durante el día el cielo se vea celeste, lo que nos impide ver las tenues estrellas presentes en la esfera celeste. En cambio, su observación se hace posible durante la noche, cuando el cielo se vuelve oscuro debido a la ausencia de luz solar. En los momentos de transición entre el día y la noche y viceversa ocurren los "crepúsculos", matutinos y vespertinos, en los cuales puede apreciarse algo de la luz solar pese a que el Sol se encuentra por debajo del horizonte. Esto se debe a la dispersión de los rayos solares en las altas capas de la atmósfera.

### 2.5.9. Características del movimiento diario del Sol

Debido a la rotación de la Tierra, todos los astros se desplazan en el cielo a medida que pasan las horas. Por lo tanto, el movimiento diario del Sol no es exclusivo de este astro: la Luna, los planetas y las estrellas nocturnas también lo realizan. Es más, cualquier cuerpo celeste (cometa, galaxia, cúmulo de estrellas, etc) presentará este mismo movimiento diario. Por ese motivo, este desplazamiento suele pensarse como una rotación de toda la esfera celeste alrededor de la Tierra.

A medida que los astros se desplazan desde el horizonte oriental al occidental, en algún momento pasan por el meridiano celeste del lugar, posición que se denomina "culminación superior", en donde la altura del astro es máxima. Unas 12 horas después, el astro atravesará el meridiano inferior del lugar, posición a la que se llama "culminación inferior". En el caso del Sol, el "mediodía solar" corresponde al instante en que éste se posiciona en el punto de culminación superior o, como se dice habitualmente, "cuando el Sol culmina". En cambio, la culminación inferior ocurre cuando el Sol pasa por el meridiano inferior del lugar, marcando la "medianoche".

Si se registra sistemáticamente el horario en que un gnomon proyecta la sombra más corta de todo el día, es evidente que, para la gran mayoría de los lugares de la Tierra, esto no sucede a las 12 hs de nuestro reloj. Por el contrario, existen diferencias respecto a este horario según el lugar en que se encuentre el observador, las cuales se deben a la convención de husos horarios, por un lado, y a las irregularidades presentes en el movimiento de la Tierra, por el otro. Estas irregularidades se traducen en perturbaciones en el desplazamiento del Sol en el cielo, haciendo que no todos los días solares duren lo mismo (Berrocoso et al., 2003).

Para superar esta dificultad se creó un "Sol medio", el cual se desplaza con movimiento uniforme y coincide con el Sol verdadero en determinados momentos. Para ello se estableció una escala de "tiempo solar medio", cuya unidad es el día solar medio de 24 horas. Como el día solar medio comienza en la culminación superior, y es conveniente que el cambio de fecha ocurra en horario nocturno debido a la menor actividad humana, se definió el "tiempo civil" a partir de correr 12 horas el tiempo solar medio.

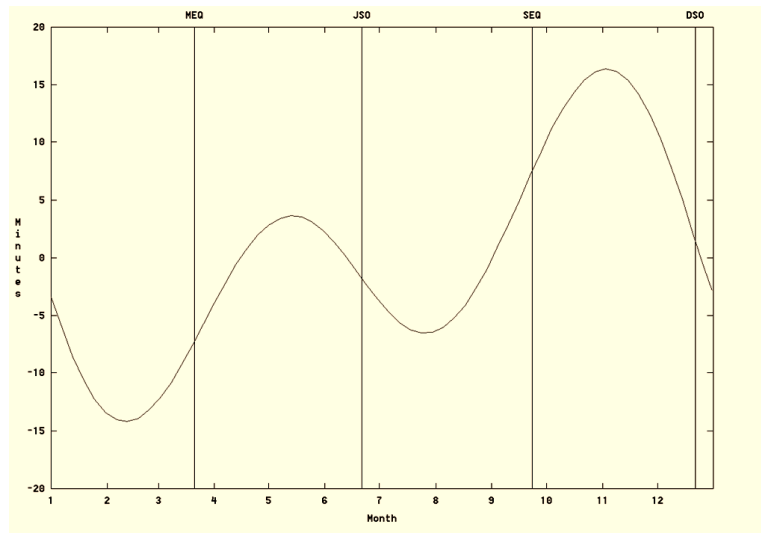
La diferencia entre el tiempo solar verdadero y el tiempo solar medio se conoce como "ecuación del tiempo" (Et), diferencia que oscila anualmente entre los -14 y los 16 minutos. Esta diferencia puede calcularse con un error menor a 0,5 minutos utilizando la siguiente expresión (Spencer, 1971), la cual queda representada en la **Figura 2-13**:

$$Et = (0,000075 + 0,001868 \cos \alpha - 0,032077 \operatorname{sen} \alpha - 0,014615 \cos (2\alpha) - 0,040849 \operatorname{sen} (2\alpha)) * 229,18$$



En la expresión anterior,  $\alpha = 2\pi(n - 1)/365$  ( $n$  es el número de día del año). Por lo tanto, las irregularidades en los movimientos de la Tierra producen un atraso o un adelanto del mediodía solar a lo largo del año de entre 0 y 16 minutos, diferencia que puede extraerse de la ecuación del tiempo.

**Figura 2-13:** Ecuación del tiempo (Bergman-Terrel, 1995).

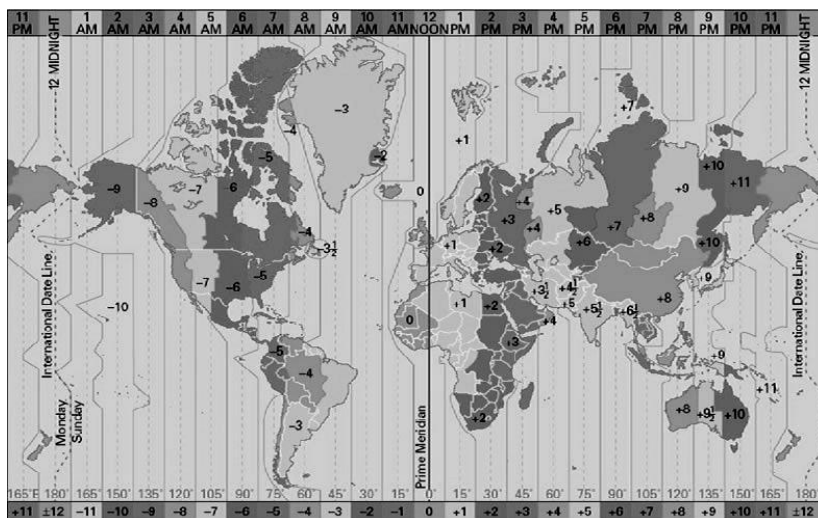


A su vez, el mediodía solar no coincide en casi ninguna localidad con las 12 horas del reloj debido a la existencia de la convención de husos horarios, que fija una misma hora para lugares con distinta longitud geográfica, pero cercanos entre sí, que poseen distinto tiempo solar. Como la Tierra rota en 24 horas, 15° de diferencia en longitud geográfica equivale a 1 hora de diferencia de tiempo solar medio o, del mismo modo, 1° de longitud equivale a 4 minutos de diferencia. Por lo tanto, por ser una escala de tiempo local, una ciudad situada 1° más hacia el oeste tendrá atrasado 4 minutos su tiempo civil.

Dada la conveniencia de evitar modificar la hora civil al cambiar de longitud dentro de una misma zona, cada país eligió históricamente un meridiano particular de su territorio para utilizarlo como referencia para el tiempo civil de todo su territorio. De este modo se resolvió tener un tiempo uniforme y único en cada país, aunque el problema seguía presente al pasar de un país a otro. El sistema de husos horarios estipuló, entonces, cuáles son las zonas o franjas de la Tierra a las que les corresponde igual hora civil, más allá de que les correspondan horarios solares distintos.

En el sistema de husos horarios se divide la superficie de la Tierra en 24 franjas de 15° de ancho cada una (1 hora solar), tomando al meridiano de Greenwich como meridiano central a partir del cual se construye el huso 0, el que se extiende desde los 7,5° E hasta los 7,5° O. A partir de este huso se construyen las demás franjas de 15°, cada una de las cuales tendrá 1 hora menos al desplazarse hacia el oeste o 1 hora más si uno se desplaza hacia el este. Así surge el "tiempo legal" de cada lugar, que corresponde al tiempo civil del meridiano central del huso horario al que pertenece. A su vez, por razones prácticas algunos países adoptan el llamado "tiempo oficial", el cual difiere en un número entero de la hora legal, o incluso modifican la hora en invierno y en verano con el fin de generar un cierto ahorro energético (**Figura 2-14**).

**Figura 2-14:** Sistema de husos horarios. Se observa que el huso oficial indicado arriba de cada país no coincide necesariamente con el huso legal indicado en la base del mapa correspondiente a la convención de husos horarios.



En la figura anterior se encuentra señalada la "línea de cambio de fecha", la cual se fija en el antimeridiano de Greenwich, avanzando la fecha al cruzar de este a oeste o retrocediendo la misma si el paso se realiza en sentido contrario.

En función de lo anterior, es posible calcular cuál es el horario oficial correspondiente al mediodía solar medio en la localidad de El Bolsón, Argentina, cuya longitud geográfica es de 71,5° Oeste. Como la Argentina utiliza el huso horario -3, cuyo meridiano central se encuentra a 45° Oeste, la diferencia en longitud con El Bolsón es de 26,5°, lo que equivale a 106 minutos (1<sup>h</sup> 46<sup>m</sup>) de tiempo solar medio. Por lo tanto, el mediodía solar medio en la localidad donde se llevó a cabo esta investigación ocurre a las 13:46 hs. A este horario habrá que adicionarle la diferencia por ecuación del tiempo, lo que implica que el mediodía solar verdadero ocurre entre las 13:30 y las 14:00 hs del reloj.

### 2.5.10. Movimiento anual del Sol: las estaciones del año

Si se observa sistemáticamente el recorrido del Sol en el cielo todos los días desde el levante hasta el poniente a lo largo del año, y los cambios en la longitud y dirección de las sombras de un gnomon, es indudable la existencia de diferencias, tanto en el recorrido que realiza como en los horarios en que el Sol sale y se pone.

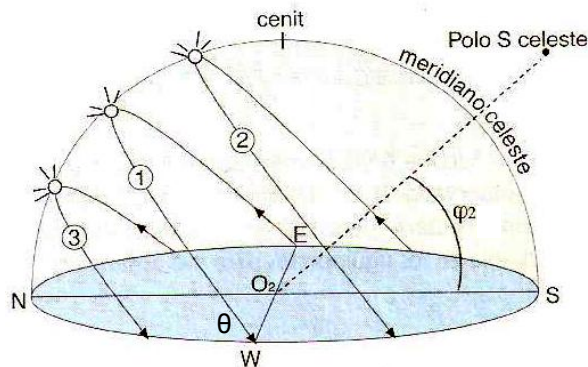
Las sombras de un gnomon situado en El Bolsón, o en cualquier localidad situada al sur del Trópico de Capricornio, tienen su menor longitud cerca del 21 de diciembre, día del comienzo del verano en el hemisferio sur. Ese día, conocido como "solsticio de diciembre", el Sol realiza su recorrido diario siguiendo un arco que es el más alto posible por sobre el horizonte de todo el año, desde un lugar del horizonte situado al sur del este hasta un lugar situado al sur del oeste. En cambio, cerca del 21 de junio, día del "solsticio de junio" y comienzo del invierno en el hemisferio sur, el Sol recorre en el cielo la circunferencia más baja de todo el año y, por lo tanto, el gnomon posee la sombra más larga de todo el año en el mediodía solar, moviéndose desde un punto situado al norte del este hasta un punto ubicado al norte del oeste.

En el período que va desde el 21 de junio hasta el 21 de diciembre el Sol recorre cada día circunferencias más altas ya que las salidas del Sol se van corriendo hacia el sur. Durante ese lapso, existe un solo día en el que el Sol sale exactamente por el este y se pone por el oeste: el 22 o 23 de septiembre, día del "equinoccio" y comienzo de la primavera. En esa fecha, el Sol realiza la mitad de su recorrido diario por encima del horizonte y la otra mitad por debajo, razón por la cual toda la Tierra tiene un día que posee justo 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. De ahí proviene la palabra equinoccio, que significa "igual duración" o "igual noche".

Durante la primavera y el verano las horas de luz son más que las de oscuridad, sucediendo lo contrario en otoño e invierno. A su vez, durante el período que va desde el 21 de diciembre al 21 de junio, el Sol realiza el movimiento opuesto, de sur a norte, saliendo en consecuencia cada día más tarde. Durante ese medio año existe un solo día en que el Sol sale justo por el este y se oculta por el punto geográfico oeste: el 20 o 21 de marzo, día del otro equinoccio y comienzo del otoño en el hemisferio sur.

En la **Figura 2-15** se observan los cambios en la trayectoria del Sol en el cielo a lo largo del año en un lugar como El Bolsón, ubicado al sur del trópico de Capricornio. El plano por el que se mueve el Sol en el cielo se denomina "eclíptica" y su ángulo con respecto a la superficie horizontal depende de la latitud del lugar de observación y no varía a lo largo del año. En cambio, la altura del Sol por encima del horizonte cambia: en invierno el Sol sigue una trayectoria más cercana al horizonte mientras que en verano lo hace más cerca de la vertical a la superficie. A estos cambios en las trayectorias diarias que sigue el Sol en el cielo se lo denomina "movimiento anual del Sol".

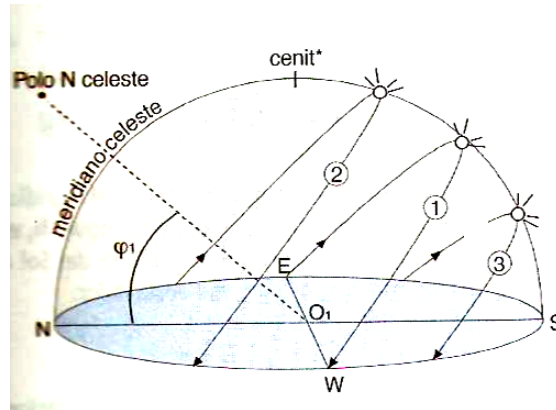
**Figura 2-15:** Cambios en el arco diario solar debido al movimiento anual del Sol en el cielo para una latitud intermedia del hemisferio sur. La trayectoria media corresponde a los equinoccios (1), la más alta al solsticio de verano (2) y la más baja al solsticio de invierno (3) (Bastero Montserrat, 2000, p. 25).



En la figura anterior puede observarse que las trayectorias diarias del Sol en el cielo se desplazan hacia el norte y hacia el sur, aunque siguen planos paralelos entre sí inclinados hacia el norte con un ángulo  $\theta$  respecto al horizonte (**Figura 2-15**) cuyo valor es igual al complementario de la latitud  $\phi$ . Por lo tanto, en El Bolsón ( $42^\circ$  Sur) el ángulo  $\theta$  vale  $48^\circ$ . Cuando el Sol se desplaza hacia el sur, su trayectoria se observa más alta en el hemisferio sur y más baja en el hemisferio norte. Lo contrario sucede cuando el Sol se desplaza hacia el norte, observándose trayectorias más bajas desde el hemisferio sur. En los equinoccios, la altura del Sol guarda relación directa con la latitud del lugar.

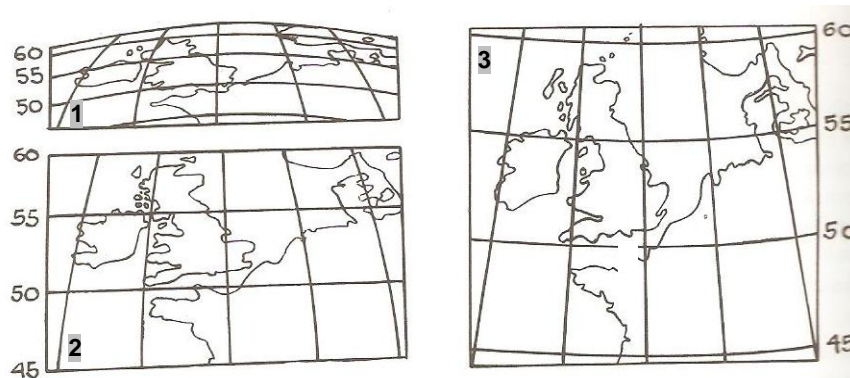
En contraposición al hemisferio sur, en el hemisferio norte las trayectorias diarias del Sol en el cielo se observan inclinadas hacia el sur. Cuando el Sol se desplaza hacia el sur del cielo (septiembre a marzo), las trayectorias se observan más bajas que en los equinoccios y la altura del Sol disminuye. En cambio, cuando el Sol se desplaza hacia el norte (marzo a septiembre), se observan trayectorias diarias más altas y un aumento de la altura del Sol respecto al equinoccio (**Figura 2-16**)

**Figura 2-16:** Movimiento anual del Sol en el cielo para una latitud intermedia del hemisferio norte. La trayectoria media corresponde a los equinoccios (1), la más alta al solsticio de verano (2) y la más baja al solsticio de invierno (3) (ibíd., p. 25).



Si se desea explicar las estaciones del año desde el sistema de referencia topocéntrico es necesario describir los cambios anuales en el recorrido diario que realiza el Sol en el cielo y asociar cada trayectoria con la estación correspondiente. La trayectoria correspondiente al solsticio de invierno implica una menor altura del Sol por sobre el horizonte local y una más baja cantidad de horas luz respecto al equinoccio. En cambio, la trayectoria correspondiente al solsticio de verano implica mayor altura del Sol y más cantidad de horas de luz, lo que trae como consecuencia que, en el mismo tiempo, incida una mayor cantidad de radiación solar por unidad de superficie terrestre (**Figura 2-17**).

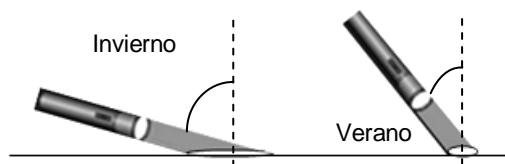
**Figura 2-17:** Representación de cómo se vería Gran Bretaña desde el Sol durante el solsticio de invierno (1), los equinoccios (2) y el solsticio de verano (3). (Feinstein y Tignanelli, 2005, p. 74).



En la figura anterior se observa que, en Gran Bretaña, en el solsticio de invierno (21 de diciembre) los rayos solares inciden con gran inclinación respecto a la perpendicular a la superficie terrestre debido a que el Sol se desplazó hacia el sur del cielo. En el solsticio de verano (21 de junio), en cambio, el Sol se desplazó hacia el norte, por lo cual los rayos solares inciden con mucha menos inclinación respecto a la vertical, aunque no llegan a incidir en forma perpendicular a la superficie. Por lo tanto, las estaciones se deben a la variación anual del ángulo de incidencia de los rayos solares respecto a la superficie terrestre y, a la vez, a los cambios en la cantidad de tiempo de incidencia de dichos rayos en los distintos momentos del año.

En invierno, el Sol realiza trayectorias más bajas que en los equinoccios, lo que provoca que su altura sea menor y que sus rayos lleguen más inclinados respecto a la vertical del lugar. En consecuencia, los rayos solares inciden sobre una superficie mayor y la radiación recibida por unidad de superficie disminuye. A su vez, la trayectoria diaria del Sol se realiza en mayor medida por debajo del horizonte que por arriba del mismo. En verano, por el contrario, el Sol realiza trayectoria más altas que en los equinoccios, lo que hace que su altura sea mayor y que sus rayos incidan con menor inclinación respecto a la vertical del lugar, distribuyéndose sobre una superficie menor, por lo que ésta recibe más radiación por unidad de área (**Figura 2-18**). Por último, esta trayectoria diaria más alta implica la presencia del Sol más tiempo por encima del horizonte que por debajo del mismo.

**Figura 2-18:** Analogía entre las inclinaciones de dos linternas y la diferente forma de incidencia de la radiación solar en invierno y en verano. Si los rayos de luz inciden con menor inclinación (derecha), la energía se distribuye en una superficie menor y cada punto de la superficie recibe mayor radiación.

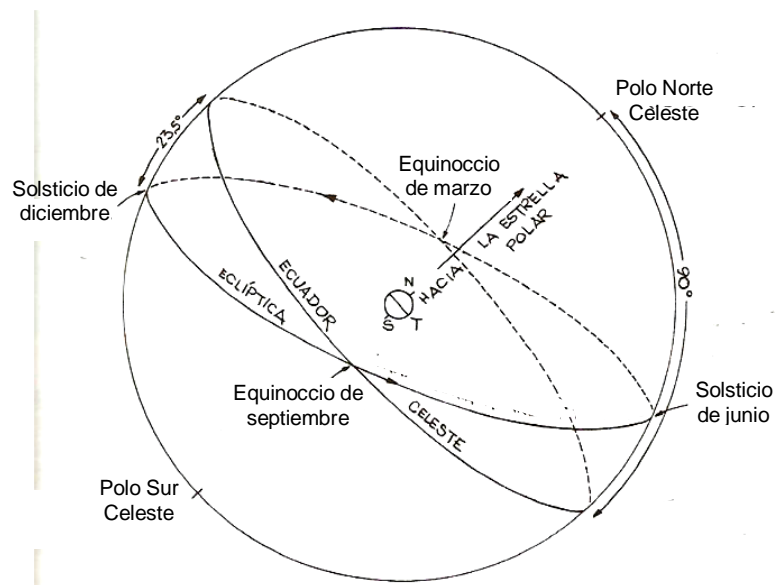


### 2.5.11. Características del movimiento anual del Sol

Las variaciones anuales en la trayectoria diaria que sigue el Sol en el cielo son producidas por el lento cambio de su posición en la esfera celeste. Este desplazamiento anual hace que el Sol vaya teniendo otras estrellas "de fondo", lo cual es imposible de ver durante el día, pero que queda de manifiesto al observar con atención las constelaciones presentes en el cielo justo antes o justo después del levante o el poniente. A su vez, es relativamente sencillo distinguir que el recorrido anual del Sol no se produce por aquellas constelaciones situadas en el plano del Ecuador celeste, sino por las llamadas "constelaciones del zodiaco", las cuales se encuentran en el plano de la eclíptica, que está inclinado unos  $23,5^{\circ}$  respecto al Ecuador. En consecuencia, el Sol varía su declinación anual desde los  $+23,5^{\circ}$  hasta los  $-23,5^{\circ}$ , provocando que los lugares de la Tierra que se encuentran entre estas latitudes tengan al Sol justo en el cenit en algún momento del año en el mediodía solar local. Si el desplazamiento anual del Sol por la eclíptica ocurriese coincidente con el plano del Ecuador, éste no cambiaría su declinación, posicionándose siempre sobre el Ecuador, y, por lo tanto, la Tierra no tendría estaciones del año.

El Sol, por lo tanto, realiza su movimiento diario desde el horizonte oriental al occidental debido al giro de toda la esfera celeste, pero con la diferencia de que su posición relativa a las otras estrellas varía lentamente, a razón de  $1^\circ$  por día, describiendo una curva que se cierra sobre sí misma luego de un año (la eclíptica). Así, el complejo movimiento del Sol puede ser considerado como la resultante de dos movimientos más simples: un desplazamiento hacia el oeste acompañando a todo el cielo (movimiento diario del Sol) y un desplazamiento más lento a lo largo de la eclíptica (movimiento anual del Sol), el cual se produce hacia el este, en sentido contrario al movimiento diario (**Figura 2-19**).

**Figura 2-19:** Desplazamiento anual del Sol por la eclíptica, que se encuentra inclinada unos  $23,5^\circ$  respecto al Ecuador celeste. La intersección de ambos planos determina los puntos correspondientes a los equinoccios (Feinstein y Tignanelli, 2005, p. 75).

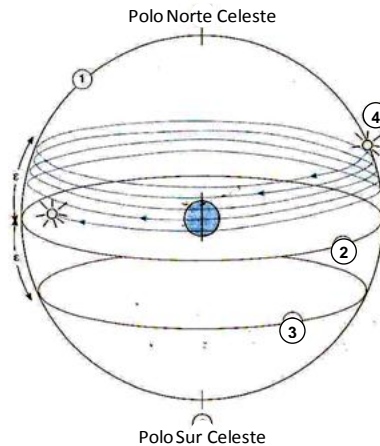


El Ecuador celeste y la eclíptica se cortan en una línea cuyos extremos son el "punto Aries" o "vernal" y el "punto Libra". El equinoccio de marzo ocurre cerca del día 20, cuando el Sol cruza el punto Aries, pasando del hemisferio sur al hemisferio norte celeste, iniciándose el otoño y la primavera en cada hemisferio terrestre respectivamente. Desde ese día, el Sol transita las constelaciones de la eclíptica situadas al norte del Ecuador celeste hasta el solsticio de junio, que ocurre cerca del día 21, momento en que el Sol alcanza su máxima declinación norte ( $+23,5^\circ$ ), comenzando el verano en el hemisferio norte y el invierno en el hemisferio sur. Luego de unos 3 meses más, el Sol cruza el Ecuador celeste por el punto Libra, esta vez en dirección hacia el sur. En ese momento ocurre el equinoccio de septiembre, cerca del día 23, cuando comienza el otoño en el hemisferio norte y la primavera en el hemisferio sur.

Durante los siguientes meses, el Sol recorrerá constelaciones situadas al sur del Ecuador celeste, por lo que ocurrirán las estaciones más cálidas en el hemisferio sur y las más frías en el hemisferio norte. El solsticio de diciembre ocurre el día 21, cuando el Sol alcanza su máxima declinación sur ( $-23,5^\circ$ ), comenzando el verano en el hemisferio sur y el invierno en el hemisferio norte. Unos 3 meses después, el Sol vuelve a atravesar el Ecuador celeste por el punto Aries y el ciclo comienza nuevamente.

Como la declinación del Sol varía muy lentamente durante el año entre el valor positivo y negativo de la oblicuidad de la eclíptica, que es de  $23^{\circ} 26' 14''$  ( $23,4372^{\circ}$ ), es posible decir que cada día el Sol recorre un paralelo celeste cuya declinación puede considerarse constante (**Figura 2-20**).

**Figura 2-20:** Representación del movimiento diario y anual del Sol en la esfera celeste. Los planos 2 y 3 corresponden al trópico de Capricornio y al Ecuador celestes. La posición 4 corresponde al Sol en el solsticio de junio, recorriendo el trópico de Cáncer celeste, lo que implica el comienzo del verano en el hemisferio norte y el invierno en el hemisferio sur (Bastero Montserrat, 2000, p. 23).



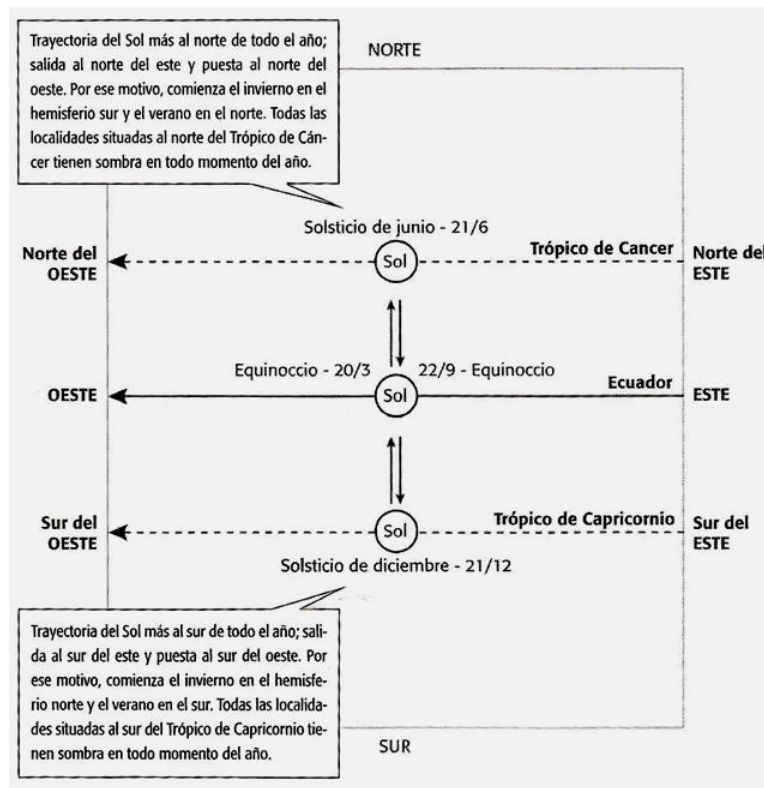
Por lo tanto, el Sol se posiciona cada día que pasa un poco más al norte o más al sur que el día anterior a la misma hora, lo que se visualiza como un cambio en la altura del Sol a medida que pasan los días.

Dado que, como consecuencia de la curvatura de la superficie terrestre, los observadores del hemisferio sur ven más altas las constelaciones situadas en el hemisferio sur celeste, como la Cruz del Sur, también verán más alto al Sol cuando éste se sitúa en dicho hemisferio celeste, lo que ocurre entre los meses de septiembre y marzo. En consecuencia, estos serán los meses de las estaciones más calidas del año: primavera y verano. En cambio, cuando el Sol se sitúa en el hemisferio norte celeste, entre los meses de marzo y septiembre, éste será observado más bajo en el cielo desde el hemisferio sur, lo que provoca las estaciones más frías del año: otoño e invierno.

Lo contrario sucede en el hemisferio norte, ya que cuando el Sol se sitúa en dicho hemisferio celeste, de marzo a septiembre, suceden las estaciones más cálidas, mientras que las estaciones más frías ocurren de septiembre a marzo, cuando el Sol se posiciona en el hemisferio sur celeste.

En síntesis, el lento movimiento anual del Sol entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio marca el ritmo del cambio de las estaciones. A su vez, esto se visualiza en el cambio en el levante y el poniente: durante 6 meses, el Sol sale al sur del este y se pone al sur del oeste, mientras que los otros 6 meses sale al norte del este y se pone al norte del oeste. En los solsticios, el levante y el poniente ocurren lo más al norte o lo más al sur de todo el año. Sólo dos días, en los equinoccios, el sol sale justo por el este y se pone justo por el oeste (**Figura 2-21**).

**Figura 2-21:** Representación simplificada del movimiento anual del Sol entre los trópicos. Permite visualizar los cambios en los lugares de salida y puesta del Sol y en la longitud y dirección de la sombra en el mediodía solar de un gnomon ubicado en distintas latitudes (Galperin, 2011, p. 220).

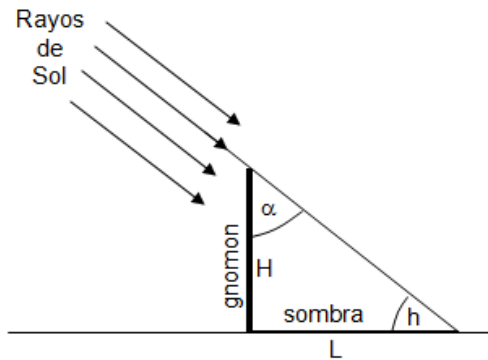


Si en la figura anterior se coloca imaginariamente un gnomon en la latitud correspondiente a El Bolsón ( $42^\circ$  Sur), localidad que se encuentra bien al sur del Trópico de Capricornio, es posible notar que su sombra al mediodía siempre apuntará hacia el sur ya que el Sol siempre se observa hacia el norte. A su vez, dado que en junio el Sol se posiciona sobre el Trópico de Cáncer, ubicado a unos  $23,5^\circ$  norte de latitud, la curvatura terrestre hará que su altura en el cielo en el mediodía solar disminuya  $23,5^\circ$  respecto a su posición en los equinoccios, haciendo que la longitud de la sombra del gnomon aumente. En cambio, cuando el Sol se posiciona sobre el Trópico de Capricornio, su altura aumenta y la longitud de la sombra de un gnomon disminuye.

Si se toma como referencia la posición del Sol en el mediodía solar del solsticio de invierno, los siguientes 6 meses el Sol irá gradualmente aumentando su altura al mediodía, hasta llegar a su altura máxima el día del solsticio de verano. Los siguientes 6 meses ocurrirá lo contrario, el Sol irá disminuyendo su altura al mediodía hasta el solsticio de invierno, siendo la altura media la correspondiente a la fecha de los equinoccios. En consecuencia, es posible hallar relaciones matemáticas que permiten calcular, para solsticios y equinoccios, la altura del Sol ( $h$ ) en el mediodía solar, el largo de la sombra ( $L$ ) de un gnomon de cierta altura ( $H$ ) y el ángulo ( $\alpha$ ) que se forma entre los rayos de Sol y el gnomon para una determinada ubicación terrestre (**Figura 2-22**).



**Figura 2-22:** Colocación de un gnomon para medir la altura del Sol ( $h$ ) en el mediodía solar, el ángulo entre los rayos de Sol y el gnomon ( $\alpha$ ) y la longitud de la sombra ( $L$ ) en función de la altura ( $H$ ) del gnomon.



Para simplificar las expresiones, se considerará la latitud del lugar ( $\varphi$ ) siempre positiva, sin importar el hemisferio, y la oblicuidad de la eclíptica se redondeará a  $23,5^\circ$ . Por cuestiones geométricas que no demostraremos aquí, el ángulo  $\alpha$  es siempre igual a la latitud del lugar en los equinoccios. A su vez, dado que la altura del Sol varía en  $\pm 23,5^\circ$  desde un equinoccio al siguiente, dicho ángulo también aumentará o disminuirá en  $23,5^\circ$ . Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \alpha &= \varphi \text{ (equinoccios)} \\ \alpha &= \varphi + 23,5^\circ \text{ (solsticio de invierno)} \\ \alpha &= \varphi - 23,5^\circ \text{ (solsticio de verano)} \\ \\ h &= 90^\circ - \varphi \text{ (equinoccios)} \\ h &= 90^\circ - \varphi - 23,5^\circ \text{ (solsticio de invierno)} \\ h &= 90^\circ - \varphi + 23,5^\circ \text{ (solsticio de verano)} \\ \\ L &= H \operatorname{tg} \varphi \text{ (equinoccios)} \\ L &= H \operatorname{tg} (\varphi + 23,5^\circ) \text{ (solsticio de invierno)} \\ L &= H \operatorname{tg} (\varphi - 23,5^\circ) \text{ (solsticio de verano)} \end{aligned}$$

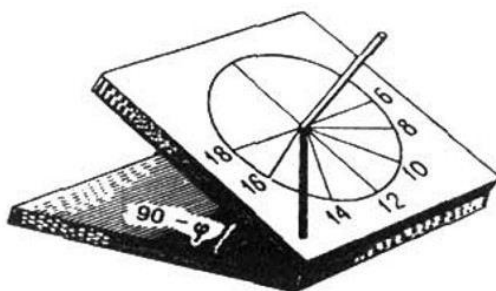
En la **Tabla 2-2** pueden verse los valores correspondientes a El Bolsón.

**Tabla 2-2:** Valores correspondientes a  $\alpha$ ,  $h$  y  $L$  (con la altura del gnomon  $H = 1$  m) en la localidad de El Bolsón ( $42^\circ$  Sur) para el mediodía solar en solsticios y equinoccios.

Fecha	Evento	Ángulo entre rayos de Sol y el gnomon	Altura del Sol	Largo de la sombra ( $H = 1$ m)
22/9	Equinoccio de primavera	$42^\circ$	$90^\circ - 42^\circ = 48^\circ$	0,9 m
21/12	Solsticio de verano	$42^\circ - 23,5^\circ = 18,5^\circ$	$90^\circ - 42^\circ + 23,5^\circ = 71,5^\circ$	2,19 m
20/3	Equinoccio de otoño	$42^\circ$	$90^\circ - 42^\circ = 48^\circ$	0,9 m
21/6	Solsticio de invierno	$42^\circ + 23,5^\circ = 65,5^\circ$	$24,5^\circ$	0,33 m

La tabla anterior muestra que la altura del Sol en los solsticios es simétrica en relación a su altura en los equinoccios, aunque no sucede lo mismo con la longitud de la sombra del gnomon. Esto se debe a que el plano de movimiento del Sol en el cielo no es perpendicular al plano del horizonte sobre el que se está colocando el gnomon y proyectando su sombra. Para solucionar este inconveniente se desarrollaron los relojes de Sol ecuatoriales, que levantan la superficie de proyección de la sombra un ángulo igual al complementario de la latitud del lugar ( $90^\circ - \varphi$ ), haciendo que ésta quede paralela a la eclíptica. De este modo, la varilla que proyecta sombra apunta hacia el polo celeste (**Figura 2-23**).

**Figura 2-23:** Reloj de Sol ecuatorial. Para el hemisferio sur, el cuadrante hay que levantarlo del lado norte, de modo tal que la varilla quede apuntando hacia el polo sur celeste (Zavelski, 1990, p. 29).



En función de los cambios anuales en la posición del Sol, existen lugares de la superficie terrestre en los que el polo celeste se ubica a menos de  $23,5^\circ$  del cénit. Esto implica que el Sol permanece encima del horizonte local sin ponerse en ningún momento, lo cual ocurre en lugares de la Tierra de cada hemisferio ubicados entre el círculo polar ( $66,5^\circ$ ) y el polo ( $90^\circ$ ). Esto se invierte medio año después ya el Sol cambiará su trayectoria y hará su recorrido diario por debajo del horizonte, teniendo una noche de 24 horas.

Esto no sucede en latitudes intermedias de la Tierra, como la correspondiente a El Bolsón, donde el movimiento anual del Sol provoca diferencias en los lugares y horarios de levante y poniente, aunque no tan pronunciadas como para experimentar 24 horas de luz o de oscuridad seguidas. En este sentido, la duración del día en El Bolsón oscila aproximadamente entre las 9 horas en el solsticio de invierno y las 15 hs en el solsticio de verano, siendo de 12 horas en los equinoccios (al igual que en toda la Tierra).

En la **sección 10.4.2. del Anexo** se brindan explicaciones adicionales cuantitativas en relación al movimiento anual del Sol, las cuales exceden el nivel educativo al que estará dirigida la ECPE acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos a implementar en este trabajo: los últimos años de la escuela primaria. En este sentido, se presentan algunas expresiones matemáticas que permiten calcular la altura del Sol y la duración del día en una determinada fecha del año para cualquier localidad situada entre los círculos polares (entre los  $66,6^\circ$  N y  $66,6^\circ$  S), lo que permite evidenciar las grandes diferencias anuales presentes en localidades situadas en latitudes medias de ambos hemisferios.

Como se ha visto, la causa central de las estaciones del año es la falta de coincidencia entre el Ecuador celeste y la eclíptica, lo que provoca paulatinos cambios en la

declinación solar a lo largo del año. Esto puede explicarse desde el sistema de referencia heliocéntrico a partir de la inclinación del eje terrestre, cuya dirección no coincide con la dirección perpendicular a la órbita de la Tierra alrededor del Sol (la eclíptica). Sin embargo, en esta investigación centrada en la utilización didáctica del sistema de referencia topocéntrico se explican los cambios en la declinación solar a partir de pensar al Sol moviéndose en el cielo en un plano inclinado respecto al Ecuador celeste (la eclíptica), sin necesidad de justificar las causas de dicho movimiento.

Como ya se ha visto, este "modelo cinemático celeste" describe entre otras cosas el movimiento anual del Sol en el cielo, permite brindar explicaciones adecuadas, y realizar predicciones, acerca de los cambios estacionales. A su vez, este modelo resulta útil ya que representa lo que las personas perciben en el cielo cotidianamente, relacionando la enseñanza de la astronomía con las vivencias cotidianas de los estudiantes.

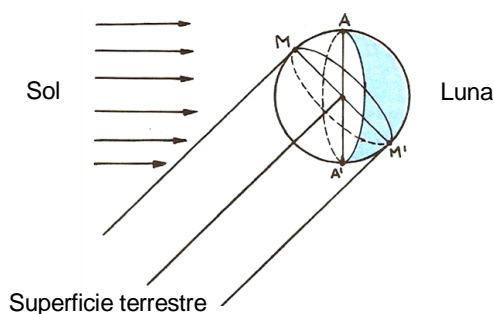
### **2.5.12. Movimiento propio de la Luna en el cielo: las fases lunares**

Si se observa con atención la posición de la Luna dos días seguidos a la misma hora es notable cómo cambia su posición, desplazándose unos  $13^\circ$  hacia el este cada día. Por ese motivo, los observadores del firmamento de la antigüedad no tardaron en darse cuenta el parecido de este movimiento con el que realiza anualmente el Sol, aunque la velocidad de desplazamiento de este último es mucho menor ( $1^\circ$  por día, aproximadamente). A su vez, se dieron cuenta que cinco estrellas observables a simple vista modifican su posición en la esfera celeste de un día al otro. En consecuencia, estos 7 astros fueron llamados "planetas", que en griego significa "estrella errante".

Dado que la definición de planeta se ha modificado a lo largo del tiempo, hoy en día el Sol y la Luna han quedado afuera de esta categoría. Sin embargo, el pensarlos como astros errantes permite comprender las causas de dos fenómenos astronómicos cotidianos relacionados con esta característica: las estaciones del año y las fases lunares. En este sentido, el desplazamiento anual del Sol en el cielo recorriendo la eclíptica provoca los cambios estacionales debido a la variación lenta de su declinación día a día y al cambio en la constelación "de fondo" a medida que pasan los meses. Del mismo modo, todos los planetas de la antigüedad también se mueven prácticamente sobre la eclíptica y modifican sus posiciones respecto a las constelaciones. En el caso de la Luna, los cambios rápidos de posición en la esfera celeste provocan que ésta se observe con distintas formas y en distintos horarios a medida que pasan los días, fenómeno al que se lo conoce como "fases de la Luna".

Al igual que el Sol, el desplazamiento de la Luna puede pensarse como dos movimientos simultáneos: el movimiento diario hacia el oeste acompañando a toda la esfera celeste y su movimiento propio hacia el este. Este último es el que provoca las fases al hacer que la Luna cambie de posición angular, o "elongación", respecto al astro que la está iluminando: el Sol. Dado que la Luna es un astro opaco que brilla debido al reflejo de la luz solar, ésta siempre posee una mitad iluminada. Sin embargo, no siempre es posible observar totalmente dicha mitad debido a las distintas posiciones que va ocupando la Luna en el cielo (**Figura 2-24**). En este sentido, el movimiento propio de la Luna provoca diferentes situaciones: que no sea posible ver su hemisferio iluminado desde la superficie terrestre (Luna nueva), que se pueda ver una parte de dicho hemisferio (Luna creciente o menguante) o que sea posible observar toda la mitad iluminada de la Luna (Luna llena).

**Figura 2-24:** Las fases de la Luna se deben a cómo se observa desde la superficie terrestre el hemisferio lunar iluminado por el Sol. En esta posición, la línea AA' separa la parte iluminada de la no iluminada, mientras que el círculo máximo MM' separa la parte visible desde la Tierra de la no visible (Tignanelli y Feinstein, 2005, p. 94).



Cuando la Luna se ubica en dirección aproximada hacia el Sol se dice que se encuentra "en conjunción" y, en ese momento, no es posible observar la Luna ya que ésta presenta hacia la Tierra su hemisferio no iluminado por el Sol. En esta fase de "novilunio" o "Luna nueva", la Luna sale y se pone prácticamente junto con el Sol.

Durante los días siguientes, el movimiento propio de la Luna hacia el este provoca que ésta se aleje angularmente del Sol cada día que pasa, por lo cual comienza a poder verse una porción cada vez más grande de su hemisferio iluminado. Unos 7,5 días después, la Luna se ubica en "cuadratura", a  $90^\circ$  del Sol, momento en que es visible justo la mitad del hemisferio lunar iluminado; o sea, un cuarto de Luna. En esta posición de "Cuarto creciente", la Luna se observa como un semicírculo iluminado del lado oeste (lado izquierdo en el hemisferio sur) debido a la presencia del Sol en esa dirección.

Dado que la Luna cambia su posición hacia el este cada día que pasa, su horario de salida y puesta también se modifica, retrasándose unos 50 minutos por día. Por ese motivo, en Cuarto creciente la Luna sale y se pone unas 6 horas después que el Sol, observándose aproximadamente entre el mediodía y la medianoche local.

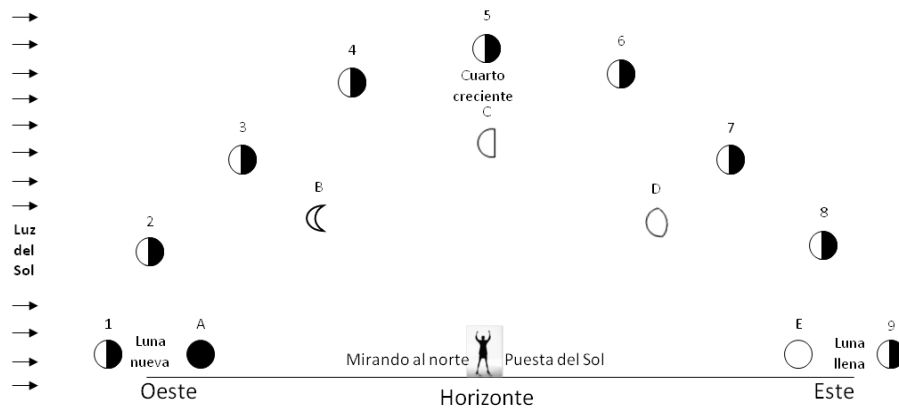
Unos 7,5 días después, la Luna se ubica en "oposición", a  $180^\circ$  del Sol, por lo que es visible toda su mitad iluminada. En ese momento de "Luna llena" o "plenilunio", el Sol y la Luna están desfasados unas 12 horas. Por lo tanto, la Luna sale por el horizonte oriental aproximadamente cuando el Sol se oculta por el horizonte opuesto.

A partir del plenilunio, el movimiento propio de la Luna provoca que ésta se comience a acercar angularmente hacia el Sol, disminuyendo gradualmente su elongación. Por lo tanto, cada vez será menos visible su hemisferio iluminado. Unos 7,5 días después del plenilunio, la Luna se ubica nuevamente en cuadratura respecto al Sol, pudiéndose observar como un semicírculo iluminado, pero esta vez del lado este (lado derecho en el hemisferio sur). Esta fase se conoce como "Cuarto menguante", observándose desde la medianoche hasta el mediodía local.

Posteriormente, luego de 29,5 días, la Luna se ubica otra vez en conjunción, volviendo a estar en Luna nueva y comenzando su ciclo nuevamente.

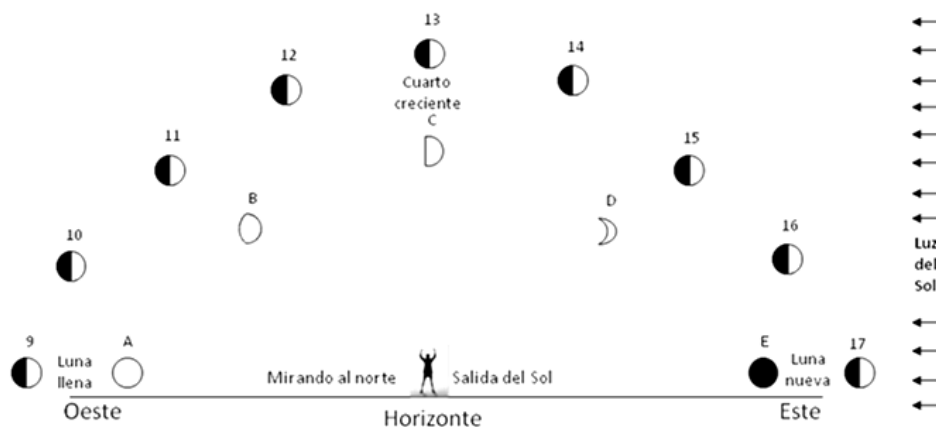
El ciclo de fases lunares se divide en dos partes. Por un lado, a partir del novilunio transcurren las fases "crecientes", donde la Luna se observa cada día más grande debido a que va aumentando su elongación hasta llegar a la Luna llena. Este "crecimiento" de la Luna en el cielo puede observarse en forma completa en el horario de puesta del Sol, registrando la posición y forma de la Luna durante unos 15 días seguidos a la misma hora (**Figura 2-25**).

**Figura 2-25:** Esquema simplificado de los cambios en las fases crecientes para un observador en latitudes medias del hemisferio sur. Se representan las posiciones de la Luna (con números) y cómo la observa la persona (con letras) (Galperin, 2014).



Del mismo modo, desde el plenilunio en adelante ocurren las fases "menguantes", donde la Luna se observa cada día más pequeña debido a que su movimiento hacia el este continúa, lo que hace que ésta disminuya su distancia angular respecto al Sol. Este recorrido "menguante" es posible observarlo en forma completa en el horario de salida del Sol, registrando la posición y la forma de la Luna durante unos 15 días hasta llegar nuevamente a la Luna nueva (**Figura 2-26**).

**Figura 2-26:** Esquema simplificado de los cambios en las fases menguantes para un observador en latitudes medias del hemisferio sur. Se representan las posiciones de la Luna (con números) y cómo se ven desde la superficie terrestre (con letras) (ibíd.).



Como se puede observar en los esquemas anteriores, durante todas las fases crecientes la Luna está presente en el cielo en el horario de puesta del Sol y, por lo tanto, los observadores de latitudes medias del hemisferio sur la ven con su lado izquierdo iluminado. En cambio, las fases menguantes pueden observarse en su totalidad en el horario de salida del Sol y, en consecuencia, tienen su lado derecho iluminado cuando se las observa desde esta misma ubicación. Esto permite identificar si la Luna se encuentra en fase creciente o menguante con sólo realizar una única observación.

Para observadores situados en latitudes medias del hemisferio norte, los esquemas anteriores deben invertirse izquierda - derecha debido a que, en dichas ubicaciones, la eclíptica se encuentra inclinada hacia el sur, por lo que el movimiento propio del Sol, la Luna y los planetas en el cielo se distingue observando en dicha dirección. Por lo tanto, al mirar la Luna en el hemisferio norte, la dirección este queda ubicada a la izquierda y el oeste a la derecha. De este modo, el movimiento propio de la Luna hacia el este de un día al otro se observa de derecha a izquierda, y los lados iluminados de la Luna quedan invertidos respecto al hemisferio sur: lado derecho para las fases crecientes y lado izquierdo para las menguantes.

A partir de estas consideraciones puede comprenderse la frase "la Luna no miente", que permite recordar en qué fase se encuentra la Luna si se la observa desde el hemisferio sur. La misma indica que las primeras Lunas del ciclo lunar tienen forma similar a una letra C cuando se las observa desde latitudes medias del hemisferio sur (Luna B de la **Figura 2-25**), lo que permite deducir que la Luna está creciendo. En cambio, en el hemisferio norte la frase se transforma en "la Luna miente" ya que las que se observan con forma de C son las Lunas menguantes, unos días antes del novilunio.

Por último, si el movimiento propio de la Luna ocurriese justo en el plano de la eclíptica, tendría lugar un eclipse en cada novilunio o plenilunio ya que estos fenómenos ocurren debido a la interposición de un astro delante de otro, provocando sombras. Sin embargo, esto no sucede debido a que el plano de movimiento de la Luna alrededor de la Tierra se encuentra inclinado  $5^\circ$  respecto a la eclíptica, cortándose en dos puntos llamados "nodos". Esto hace que, generalmente, la Luna quede ubicada por encima o por debajo de la eclíptica. Por lo tanto, un eclipse tiene lugar cuando se cumplen dos condiciones: que la Luna se ubique en conjunción (Luna nueva) o en oposición (Luna llena) y, al mismo tiempo, que la Luna se encuentre en uno de sus nodos, coincidiendo su posición con el plano de la eclíptica. De esto último deriva el nombre de estos fenómenos.

El desarrollo cualitativo realizado aquí para el movimiento lunar y sus fenómenos astronómicos asociados guarda relación con el nivel educativo al que va dirigida la propuesta a implementar para la enseñanza de estos fenómenos cotidianos: los últimos años de la escuela primaria. En este sentido, un cálculo cuantitativo de la posición precisa de la Luna en el cielo representa un problema de extrema dificultad, el cual no puede resolverse en forma analítica mediante una fórmula y, por lo tanto, debe ser resuelto de forma numérica, utilizando una gran cantidad de términos periódicos. Al igual que con el cálculo de la posición del Sol, en la **sección 10.5. del Anexo** se presenta un ejemplo de cálculo cuantitativo de la posición de la Luna con un error muy pequeño. La complejidad de dicho cálculo evidencia la pertinencia de la elección del enfoque cualitativo, y de las explicaciones dadas anteriormente, para el trabajo con estudiantes.

## 2.6. Un modelo topocéntrico para la enseñanza de la astronomía

El desarrollo realizado en este capítulo en relación a los fenómenos del día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares ha tenido como finalidad la construcción de un "modelo cinemático celeste" (MCC) que brinde la posibilidad de explicar los fenómenos astronómicos cotidianos sin necesidad de posicionarse fuera de la Tierra, describiendo el movimiento de los astros tal como se los observa desde la superficie terrestre. Este desarrollo centrado en el sistema de referencia topocéntrico constituye un modelo científico válido al dar una descripción adecuada de determinados fenómenos celestes, brindar una explicación acorde al lugar en que se posiciona cada observador (su propio lugar de observación) y generar predicciones acertadas acerca de los movimientos del Sol, la Luna y las estrellas nocturnas en el cielo.

A su vez, este desarrollo pone en evidencia la importancia y centralidad de los sistemas de referencia en la Física, en su enseñanza, y en la enseñanza y el aprendizaje de la astronomía, ya que de ello depende que los estudiantes logren relacionar sus conocimientos astronómicos con experiencias concretas de observación y registro de los fenómenos celestes (Shen y Confrey, 2010). La utilización didáctica del sistema de referencia topocéntrico es un ejemplo muy concreto de ello.

Sin embargo, este MCC presenta ciertas restricciones de utilización ya que el mismo posee, como todo modelo, una validez limitada (Gellon et al., 2005). En este sentido, este modelo no describe ni busca explicar el movimiento de retrogradación de los planetas en el cielo, fenómeno que provocó, a principios del siglo XVII y luego de cientos de años de discusión, el comienzo de un cambio sustancial en la cosmología vigente.

Este modelo científico será transformado en un modelo de enseñanza con el fin de permitir la comprensión por parte de los alumnos de las experiencias astronómicas más cotidianas: el ciclo día/noche, las estaciones del año y las fases lunares. Esta reconstrucción de la Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar (ECPE), que se desarrolla en el **Capítulo 6**, tendrá como ejes centrales la Estructura Conceptual de Referencia (ECR) detallada en este capítulo y, al mismo tiempo, el grupo de estudiantes de 6to. año de nivel primario con los cuales se abordará este campo conceptual (Otero, 2006, 2007).

Esta ECPE incluirá una secuencia de situaciones a implementar en el aula, buscando que los estudiantes puedan realizar descripciones, explicaciones y predicciones adecuadas de los fenómenos mencionados, centrando su utilización desde un marco de referencia terrestre y utilizando conceptos físicos actualizados.





## CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

---

### 3.1. Introducción

En este capítulo se detalla el referencial metodológico que ha orientado el proceso de investigación llevado a cabo, el cual puede incluirse dentro de un marco de investigación cualitativa. En este tipo de investigaciones no se pretende corroborar teorías ni extender generalizaciones; por el contrario, se pone el acento en la búsqueda de interpretaciones y asignación de significados dentro de un contexto particular. Desde este marco, se decidió implementar una metodología de investigación-acción con el fin de poder analizar, e intentar transformar, la práctica educativa presente dentro del aula de clase en relación a la enseñanza y el aprendizaje acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos. Por lo tanto, en este capítulo se detallan cuestiones relacionadas con el tipo de investigación, con los criterios que orientaron su diseño y con la elección de los procedimientos empleados en la recolección de la información.

### 3.2 La investigación cualitativa en educación

La investigación es una actividad sistemática y planificada que consiste en producir información para conocer o ampliar el conocimiento sobre un determinado objeto de estudio, haciendo posible la toma de decisiones con el fin de mejorar y transformar la realidad (Pérez Serrano, 1994). Dado que la investigación educativa constituye un campo complejo en el cual se integran distintas disciplinas y conviven diversas posturas metodológicas, los métodos cualitativos suelen resultar apropiados dado que pretenden superar la dicotomía entre la teoría y la práctica, intentando transformar la realidad a partir de modificar aspectos sustanciales como la producción y apropiación del conocimiento. En este sentido, este tipo de investigaciones también reciben el nombre de "naturalistas" debido a su preocupación por indagar los fenómenos educativos en su realidad natural, intentando evitar la fragmentación y deformación característica de los métodos cuantitativos, los cuales centran su preocupación en el control y la manipulación de variables provocando una deformación artificial de la realidad educativa (Bravin y Pievi, 2008).

En términos actuales, la investigación cualitativa puede caracterizarse por: (a) intentar captar los datos desde el campo en que se suceden, (b) explicar las formas en que las personas comprenden sus situaciones particulares, (c) la escasa utilización de instrumentos estandarizados y (d) por ser holística al tener en consideración a todos los actores y a todos los informantes. Este tipo de investigación constituye un proceso sistemático y riguroso de indagación a partir de la realización de descripciones detalladas de personas, situaciones, interacciones y comportamientos observables, incorporando las experiencias, pensamientos, creencias y reflexiones tal como son expresadas por los mismos participantes en la investigación. Este enfoque aparece en el campo de la investigación educativa a partir de la utilización de una gran diversidad de modalidades y tradiciones que van desde estudios interpretativos como los etnográficos, fenomenológicos o historias de vida, hasta los socio críticos o socio constructivistas, como es el método de investigación-acción (Colmenares y Piñero, 2008).

A continuación se detallan algunas de las características y concepciones presentes dentro del enfoque cualitativo, las cuales marcan enormes diferencias con el enfoque cuantitativo (Hernández, Fernández y Baptista, 2006):

- Se parte de una realidad que se intenta descubrir, construir, interpretar. La realidad no es externa a la mente.
- Se concibe la existencia de varias realidades subjetivas construidas en la investigación, las cuales varían en forma y contenido entre individuos, grupos y culturas. No se concibe al mundo como externo al investigador. La realidad cambia en función de las observaciones y de la recolección de datos.
- Se busca describir, comprender e interpretar los hechos a través de las percepciones y significados producidos por las experiencias de los participantes.
- Se produce una interacción física y psicológica con el fenómeno, donde es posible el contacto, la empatía y el involucramiento. No se intenta lograr una independencia respecto del objeto de estudio.
- Se utiliza una lógica inductiva, que va de lo particular a lo general, de los datos a las generalizaciones y teorías.
- Se reconocen los valores y creencias del investigador, los cuales son parte del estudio. Su posición no es neutral ni imparcial.
- El planteamiento del problema y el diseño de la investigación son libres, abiertos y flexibles. Es posible construir y modificar la investigación durante el trabajo de campo.
- Se trabaja con casos individuales o con una muestra pequeña, la cual no es estadísticamente representativa.
- Se busca comprender a las personas y a sus contextos.

El concepto de realidad social es clave en este enfoque dado que el mundo social es dinámico y cambiante, siendo un ámbito donde las representaciones subjetivas de los hechos son parte indisoluble de la realidad misma. Por lo tanto, cualquier fenómeno que ocurre en un aula se constituye como un conjunto de manifestaciones observables de los hechos, de carácter relativamente objetivo, junto con interpretaciones de los mismos realizadas por los distintos participantes, de una dimensión claramente subjetiva. Por lo tanto, no existe una única realidad en el ámbito educativo: son múltiples realidades que se complementan mutuamente (Perez Gómez, 1996). En esta característica reside la complejidad de la investigación educativa, donde los significados sólo pueden captarse de modo situacional, dentro del contexto de los individuos que los producen e intercambian.

A diferencia de los diseños de investigación cuasi experimentales que se realizan en el ámbito educativo, los cuales requieren restringir las variables a analizar a partir de un diseño predeterminado riguroso, el enfoque cualitativo propone una interacción constante entre las hipótesis de trabajo y los datos que se obtienen. De este modo, no se busca la comprobación de determinadas teorías, sino la indagación flexible de los acontecimientos observados con el fin de elaborar descripciones y abstracciones provisionales de los datos, las cuales podrán ser usadas como hipótesis futuras de trabajo. Esto permite tomar en cuenta las expresiones y motivaciones de todos los actores, haciendo posible escuchar y analizar las voces de los estudiantes y del docente en el mismo ámbito donde se está llevando a cabo el acto educativo.

Este enfoque supone ingresar en el ambiente escolar para observar y analizar los factores que están involucrados y su influencia en el ámbito de esta realidad, entendiendo que la vida del aula es compleja, por lo que es necesario profundizar sucesivamente en aspectos que pueden no ser fácilmente distinguibles a primera vista.

Durante mucho tiempo diversos intelectuales han desarrollado teorías que debían ser recepcionadas, utilizadas y aplicadas por los educadores, lo cual ha tenido un escaso efecto sobre la práctica escolar debido a que partían de situaciones ideales o no reales, muy distintas al contexto aúlico y a la realidad escolar de todos los días. En contraposición, esta investigación se propone tomar los problemas presentes en las aulas como eje, buscar respuestas en las teorías con una mentalidad abierta y cuestionadora, interrelacionar la teoría y la práctica, y generar herramientas para actuar y efectuar cambios que contribuyan al mejoramiento de la práctica educativa.

De esta manera, la enseñanza deja de ser concebida como una técnica, como un saber aplicar la teoría, para constituirse en un proceso reflexivo que lleva a una mayor comprensión de las prácticas y contextos institucionales. Se constituye en un fenómeno social y cultural, una práctica social compleja, socialmente construida e interpretada, realizada y conducida por los docentes (Latorre, 2003). Esto brinda la posibilidad de incorporar al docente como investigador y participante de la realidad a investigar, problematizando su propia práctica a partir de la formulación de nuevas propuestas, de la recolección de datos en forma sistemática, del análisis y la generación de nuevas preguntas y de la elaboración de conclusiones a ser analizadas por otros colegas e investigadores (Evans Risco, 2010).

La investigación cualitativa posee distintos enfoques, los cuales se diferencian principalmente en los objetivos que persiguen. Existen métodos más orientados hacia la comprensión, como la investigación etnográfica y el estudio de casos, mientras otros métodos, como la investigación-acción, apuntan más al cambio y a la toma de decisiones. Sin embargo, no resulta sencillo construir una tipología clara y excluyente de categorías que permitan clasificar los diferentes tipos de investigación cualitativa. En consecuencia, algunos autores utilizan el término "tradiciones de investigación" con el fin de enfatizar que los distintos métodos de investigación cualitativa se han generado dentro de diversas tradiciones disciplinares donde han sido pensados, aplicados y desarrollados, siendo luego llevados a su utilización dentro de otras disciplinas (Sandín Esteban, 2003).

### **3.3. La investigación-acción en el ámbito educativo**

Este modo de investigación en la acción se caracteriza por una práctica social reflexiva, donde no se distingue entre la práctica que se investiga y el proceso de investigación de esa práctica (Lewin, 1946). La finalidad de este tipo de investigación es explorar la práctica educativa tal y como ocurre en los escenarios naturales del aula, ocupando el docente, en forma simultánea, el rol de investigador. De este modo, el docente deja de ser objeto de estudio para transformarse en un agente que toma decisiones constantemente, tanto en relación al proceso de enseñanza como al proceso de investigación que se encuentra llevando a cabo (Suarez Pazos, 2002). De este modo, se busca someter a crítica la práctica áulica a la luz de los propios conocimientos del docente y, a su vez, dichos conocimientos a la luz de la propia práctica (Stenhouse, 1984).

Esta metodología de investigación se encuentra orientada a la revisión concreta de la práctica educativa a partir de lograr el aporte de información para guiar la toma de decisiones y los procesos de cambio y de transformación de la realidad. Al respecto, existe gran coincidencia en situar la investigación-acción dentro de los paradigmas interpretativo y crítico y, a su vez, en concebir esta metodología como un proceso por el cual se intentan estudiar científicamente ciertos problemas prácticos con el fin de guiar, corregir y evaluar las decisiones y las acciones (Corey, 1953), buscando mejorar la racionalidad y el entendimiento de las propias prácticas y de las situaciones en las cuales ellas tienen lugar (Carr y Kemmis, 1988). De este modo, proporciona elementos para facilitar el juicio práctico en situaciones concretas y el conocimiento que se genera queda validado por su utilidad para ayudar a las personas a actuar de forma más inteligente y acertada. Por lo tanto, las teorías no se validan de forma independiente al ponerlas en práctica, sino a través de la misma práctica (Elliott, 1993).

Los investigación-acción educativa posee distintos propósitos, entre los que se destacan el de remediar problemas diagnosticados en situaciones específicas de aula, el de brindar continuidad a la formación permanente de los docentes, el de mejorar la comunicación entre prácticos e investigadores y el de aportar enfoques nuevos e innovadores en la enseñanza y el aprendizaje (Cohen y Manion, 1985). Este último propósito es el centro de este trabajo de investigación, que pone en evaluación un enfoque innovador para la enseñanza de la astronomía en el nivel primario dentro de la práctica concreta de aula.

La investigación-acción tiene como finalidad la mejora de las prácticas educativas a partir de tender puentes entre la teoría, la acción y la reflexión, indagando los hechos o fenómenos relativos a los procesos de enseñanza y aprendizaje en su "realidad natural", en contraste con los métodos experimentales y cuantificadores de la realidad. En consecuencia, se encuentra incluida dentro de la investigación cualitativa, la cual promueve la comprensión en profundidad de los hechos educativos desde la totalidad contextual en que se producen las prácticas (Bravin y Pievi, 2008). Este enfoque se lleva a cabo mediante la utilización de diferentes técnicas de recopilación de información: registros de audio, fotográficos y filmicos, notas de campo, entrevistas, cuestionarios, pruebas de rendimiento de los alumnos, relatos autobiográficos, estudio de casos, observadores externos, diarios de los alumnos, etcétera (Hopkins, 1989).

A lo largo del tiempo han existido críticas a este modo de investigación aduciendo cierta falta de objetividad en el análisis que pueda llegar a llevarse a cabo debido a que el docente que interviene fuertemente en el proceso de enseñanza es, a la vez, quien actúa como investigador del proceso y de sus propios resultados. Sin embargo, diversos autores consideran que esto no constituye un problema dado que toda investigación educativa debe ser administrada por profesores, haciendo imposible eludir la percepción subjetiva de la práctica. Por lo tanto, no se aspira a lograr una objetividad inalcanzable. Por el contrario, se busca el "desarrollo de una perspectiva subjetiva, sensible y autocrítica" (Stenhouse, 1987, p. 212) que cobra especial sentido si se tiene en cuenta que el docente se encuentra en un lugar privilegiado dentro del aula para poder observar y analizar el desarrollo del proceso educativo. En este sentido, dado que el conocimiento y el interés de la mente se encuentran ligados, resulta una mera ilusión la separación entre el objeto/sujeto de la investigación y los sesgos del investigador (Habermas, 1981).

Dado el carácter cualitativo y limitado de la investigación-acción llevada a cabo en este trabajo concerniente a la utilización del sistema de referencia topocéntrico para la enseñanza de los fenómenos astronómicos cotidianos, las conclusiones obtenidas deben ser entendidas como "hipótesis de acción" a ser comprobadas por otros docentes

en sus propias aulas, lo cual podrá otorgar una mayor validez externa a este proceso de investigación. De este modo, otros profesionales podrán analizar la utilidad de la propuesta puesta en juego, lo que brindará la posibilidad de transferir conocimiento de una experiencia a otra (Elliot, 1991).

En síntesis, la investigación-acción contribuye a la reflexión sobre la práctica educativa con vistas a la mejora y al cambio tanto personal como social, unifica procesos considerados a menudo independientes (la enseñanza, el currículum, la evaluación, la investigación educativa, el desarrollo profesional), jugando un rol esencial en los ámbitos educativos a los que se desea mejorar, transformar e innovar (Sandín Esteban, 2003).

Partiendo de problemas prácticos, la investigación-acción se caracteriza por intentar transformar y mejorar la realidad educativa, por implicar una reflexión sistemática en la acción y por ser realizada por personas implicadas en la práctica que se investiga (Pérez Serrano, 1990). Al respecto, es posible pensar al proceso de investigación-acción como un ciclo con cuatro etapas flexibles en las cuales se deben articular las fases de planificación y actuación con las de recolección de datos y de reflexión sobre el desarrollo del proyecto (Elliott, 1993; Sandín Esteban, 2003):

- *Clarificar y diagnosticar una situación problemática para la práctica.*

Esta preocupación temática y el planteamiento del problema deben ser relevantes para las personas implicadas, evitando elegir problemas demasiado generales o demasiado técnicos que estén más orientados a la producción de conocimiento que a la transformación de la práctica.

- *Formular estrategias de acción para resolver el problema. Elaboración de un plan de actuación.*

Identificada la preocupación temática, se debe planificar una estrategia concreta de actuación. Dado que planificar es una acción flexible y abierta al cambio, cualquier propuesta de acción debe entenderse en un sentido hipotético, puesto que sólo su puesta en práctica y su análisis permitirá recoger evidencias del alcance y consecuencias de las acciones emprendidas.

- *Desarrollo del plan y recolección de datos sobre su puesta en práctica.*

En esta etapa se pone en práctica el plan de acción propuesto previamente. Aunque la acción está guiada por la planificación, una acción críticamente implicada no se haya completamente controlada por un plan dado que siempre se enfrenta a diversas limitaciones que modifican lo previsto.

- *Reflexión, interpretación de resultados y replanificación. Nuevo diagnóstico de la situación.*

Dado que el objetivo de la investigación-acción es comprender la realidad para transformarla, es necesario reflexionar sobre el plan de acción, sobre lo planeado y sobre lo conseguido, con el fin de hallar el sentido de los procesos educativos, de los problemas que han surgido en la puesta en marcha y de los cambios experimentados en la propia realidad educativa. La redacción del informe de investigación contribuye a sistematizar el proceso seguido y facilita la comunicación de los resultados ya que estas reflexiones constituirían el final de un ciclo de investigación-acción y podrían significar el inicio de un nuevo ciclo, entrando en la fase de replanificación, constituyendo un proceso espiralado.

En definitiva, la investigación-acción requiere una espiral de ciclos de planificación, acción, observación y reflexión ya que los resultados de un ciclo sirven como punto de partida para el ciclo siguiente y, a su vez, el conocimiento que se produce resulta relevante para la resolución de problemas locales y para el aprendizaje profesional de los docentes/investigadores (Anderson y Herr, 2007).

### **3.4. La investigación-acción en el marco de esta investigación**

El motivo que orienta a esta investigación, enmarcada en el enfoque de investigación-acción, es la necesidad de conocer los logros que alcanza un grupo de estudiantes al participar de una experiencia de aprendizaje basada en una secuencia didáctica topocéntrica para la enseñanza de los fenómenos astronómicos cotidianos. La implementación de esta propuesta intenta incidir directamente en la práctica escolar, en el propio contexto de aula, actuando el investigador como docente del curso durante el período de tiempo de implementación de la secuencia. De este modo, el docente-investigador se convierte en un investigador de su propia práctica y del grado de incidencia de la misma en la realidad escolar (Sandín Esteban, 2003).

Se ha decidido que el investigador asuma el rol de docente dentro del aula dado que se detectó que la mayoría de los docentes de las escuelas de la zona no poseen la formación específica necesaria para la enseñanza de los fenómenos astronómicos cotidianos explicados desde el sistema de referencia topocéntrico, además de no contar con material bibliográfico adecuado en las instituciones educativas. Pese a que a priori podría pensarse que esta metodología dificulta el proceso de análisis de los datos, y su relativa objetividad, posee la ventaja de hacer posible la realización de modificaciones a la planificación pautada con el fin de tomar en consideración los emergentes de aula, tales como los comentarios, observaciones e ideas de los estudiantes en relación a la temática. A su vez, posibilita la realización de ciertos cambios en las actividades y en las explicaciones del docente, lo que puede contribuir a una mejora de la propuesta didáctica a implementar en el aula.

En función de esto, y en consenso con la docente del curso seleccionado, se decidió que la secuencia didáctica sea llevada a cabo durante un lapso de unos dos meses de clases en los que el investigador acuda a la escuela primaria dos veces por semana y que, durante esas horas, el curso quedara a su cargo. En esos momentos, la docente del curso tomaría un rol de colaboradora con el investigador en la organización de los grupos de estudiantes dentro del aula o en la repetición de las consignas de trabajo a los estudiantes que no las hayan podido comprender. En todo momento, la coordinación general del aula, los debates entre estudiantes y las explicaciones generales estarán a cargo del investigador, quien deberá encargarse, simultáneamente, de registrar la mayor cantidad de situaciones aúlicas en formato de textos, dibujos, audios, fotos y videos. De este modo, la implementación de la metodología de investigación-acción permitirá explorar los actos educativos tal como ocurren dentro del aula, haciendo posible la implementación de respuestas prácticas en la búsqueda de una mejora en la comprensión de los fenómenos astronómicos cotidianos (día y noche, estaciones del año y fases de la Luna) por parte de los estudiantes.

Para contextualizar el proceso de investigación-acción se llevaron a cabo trabajos previos a la implementación de la secuencia en los que se han detectado dificultades de comprensión acerca de dichos fenómenos por parte de gran proporción de estudiantes de nivel medio y primario de la zona, y también de docentes (Galperin et al., 2012;

Galperin y Raviolo, 2015). A su vez, se ha relevado el tratamiento de esta temática en los libros de texto presentes en las escuelas, mostrando un deficiente desarrollo de los mismos a partir de un tratamiento muy compactado, con explicaciones e imágenes heliocéntricas que dejan de lado el desarrollo topocéntrico de estos fenómenos y, por último, con la presencia de gran cantidad de errores didácticos y conceptuales tanto en los textos como en las imágenes presentes (Galperin et al., 2014).

Por lo tanto, el proceso de investigación acción a desarrollar intenta brindar una vía de análisis a esta problemática relacionada con la práctica escolar en la cual se encuentran involucrados los docentes y estudiantes de las distintas instituciones educativas y, al mismo tiempo, los investigadores en enseñanza de la astronomía. Estos últimos suelen sobrevalorar las explicaciones de los fenómenos astronómicos cotidianos desde el sistema de referencia heliocéntrico, desvalorizando aquellas explicaciones topocéntricas de carácter más local pero de gran poder predictivo (Galperin y Raviolo, 2014).

La investigación acción a llevar a cabo implica una labor inicial de conocimiento del estado del arte de las investigaciones realizadas sobre la enseñanza y el aprendizaje de los fenómenos astronómicos cotidianos a lo largo de las últimas décadas, cuya síntesis se presenta en el **Capítulo 4**. La labor siguiente comprende el estudio de estos trabajos teniendo en cuenta cuáles son los sistemas de referencia astronómicos presentes implícita o explícitamente en ellos, el desarrollo de actividades de indagación de ideas de los estudiantes y docentes de la zona en relación a dichos fenómenos y el análisis de los libros de texto que poseen las escuelas y que desarrollan esta temática. Este desarrollo, presente en el **Capítulo 5**, permite enmarcar la secuencia didáctica a diseñar dentro del desarrollo previo de las investigaciones sobre la enseñanza y el aprendizaje de la astronomía y, al mismo tiempo, dentro del contexto local en el que la secuencia iba a ser implementada. Estos insumos posibilitan diagnosticar la situación problema con mayor precisión y brindar aportes para la elaboración de la propuesta de acción a llevar a cabo en un aula de los últimos años de la escuela primaria, lo que ha quedado plasmado en el diseño de la Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar (Otero, 2006, 2007) presente en el **Capítulo 6**. Esta secuencia didáctica fue puesta en práctica por el investigador en un curso de 6to. año de una escuela primaria urbana de la localidad de El Bolsón y, durante su desarrollo, se recolectaron datos en distintos formatos (registros en audio, video y fotográficos, explicaciones mediante textos y dibujos, entrevistas, cuestionarios, pruebas de evaluación de conocimiento) con el fin de poder analizar el proceso de enseñanza llevado a cabo y los diversos aprendizajes logrados por los estudiantes. Estos datos son presentados y analizados en el **Capítulo 7**, donde se busca establecer cuál fue la Estructura Conceptual Efectivamente Reconstruida (Otero, 2006, 2007) por los alumnos. Por último, este ciclo de investigación acción finaliza con un proceso de elaboración de conclusiones y de reflexión e interpretación de los resultados alcanzados, lo cual se desarrolla en el **Capítulo 8**. Esta reflexión final permite resignificar la situación problemática inicial y plantear un posible nuevo ciclo de investigación en relación a la enseñanza de los fenómenos astronómicos cotidianos en las escuelas.

### 3.5. Fases de la investigación

Una investigación educativa se caracteriza por ser un proceso dinámico constituido por una serie de etapas o fases entre las cuales no es sencillo marcar un límite. Sin embargo, cada fase puede caracterizarse en función de los propósitos seguidos por el investigador y por el tipo de actividades llevadas a cabo.

A continuación se describe cada una de las fases en las que es posible dividir el desarrollo de este trabajo. Pese a que pareciera haber un orden cronológico estricto, esto no necesariamente es así dado que algunas de las actividades típicas de la primera fase, como la revisión de la bibliografía, continúan desarrollándose durante el desarrollo de todas las etapas de la investigación.

a) *Primera fase: etapa diagnóstica y de estudios preliminares. Reconstrucción de la Estructura Conceptual de Referencia (ECR).*

Esta etapa implicó un período extenso de tiempo en que el investigador se familiarizó con el estado del arte en relación a las publicaciones sobre enseñanza y el aprendizaje de los fenómenos astronómicos cotidianos. Particularmente, se prestó atención a tres tipos de publicaciones: las que indagaban las concepciones de alumnos y docentes en relación a dichos fenómenos, las que describían y evaluaban distintas propuestas didácticas que habían sido implementadas en los diferentes niveles educativos y, por último, las que ponían en discusión qué sistema de referencia o modelo astronómico era aconsejable utilizar en las aulas. El análisis exhaustivo llevado a cabo se encuentra sintetizado en el **Capítulo 4**.

A partir de la elaboración del estado del arte se llevaron a cabo distintos estudios preliminares con el fin de conocer el estado de situación local en relación a la enseñanza y el aprendizaje de la astronomía en la zona de desarrollo de esta investigación y, particularmente, en cuanto a qué sistema de referencia astronómico es utilizado habitualmente al intentar explicar los fenómenos astronómicos cotidianos. Para ello se realizaron indagaciones y entrevistas con alumnos y docentes de los distintos niveles educativos con el fin de conocer sus concepciones acerca de las causas del día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares, encontrándose muchas coincidencias, y algunas diferencias, con lo ya publicado (Galperin et al., 2012; Galperin y Raviolo, 2015). A su vez, se analizaron los libros de texto escolares presentes en las escuelas, detectándose un escaso uso de descripciones y explicaciones centradas en lo que percibe un observador situado en la superficie terrestre, junto con la presencia de gran cantidad de errores didácticos y conceptuales (Galperin et al., 2014). Por último, se desarrolló un análisis acerca de cuál es el sistema de referencia astronómico que se utiliza implícita o explícitamente en las publicaciones sobre educación en astronomía, quedando en evidencia la muy escasa presencia del sistema de referencia topocéntrico (Galperin y Raviolo, 2014). Estos estudios se presentan en el **Capítulo 5**.

En forma simultánea con estos trabajos, el investigador profundizó sus conocimientos sobre las distintas teorías cognitivas que aportan en la explicación del modo en que se construye el conocimiento científico y en cuanto a las posturas epistemológicas que dan cuenta de la naturaleza de la ciencia y del modo en que evolucionan los modelos científicos. A su vez, se ahondó en el estudio del modo en que ocurre el proceso de reconstrucción del conocimiento, y en sus implicancias emocionales, y en la comprensión acerca de los sistemas de referencia astronómicos junto con el modo en que pueden utilizarse para la descripción y explicación de los fenómenos celestes cotidianos. Esta profundización teórica sobre los conocimientos de la comunidad científica permitió reconstruir la Estructura Conceptual de Referencia (ECR), en la cual se decidió adoptar el sistema de referencia topocéntrico para la descripción del movimiento de los astros y para la explicación de los fenómenos astronómicos cotidianos. Para ello se recurrió a la consulta de libros teóricos de astronomía de nivel universitario (Berrocoso et al., 2003; Feinstein y Tignanelli, 2005), algunos de los cuales se especializan en la presentación de algoritmos para el cálculo de las posiciones de los astros Meeus, 1998), aunque también a libros de divulgación científica (Bastero Montserrat, 2000).



Esto permitió distinguir, seleccionar y adoptar los conceptos, explicaciones y principios que serían desarrollados en las clases, lo que hizo posible tomar las decisiones didácticas acerca de qué es lo que sería enseñado y de qué modo. Este marco teórico ya ha sido desarrollado en el **Capítulo 2**.

b) *Segunda fase: etapa de elaboración. Diseño de la Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar (ECPE).*

Una vez analizada la información obtenida en las distintas instancias de la fase anterior, y luego de haber establecido la Estructura Conceptual de Referencia (ECR) basada en el sistema de referencia topocéntrico, se procedió a pasar a la siguiente etapa, correspondiente a la elaboración de la propuesta didáctica a ser implementada. A partir de dicha ECR, esta etapa conlleva el estudio de las transformaciones del saber hasta volverlo enseñable a un grupo de estudiantes de los últimos años de la escuela primaria. Más particularmente, a un grupo de 6to. año de nivel primario de una escuela urbana de la localidad de El Bolsón.

De este modo, se diseñó la Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar (ECPE) acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos (día y noche, estaciones del año y fases de la Luna) a partir de la elaboración de situaciones didácticas que tengan como eje la descripción y explicación de los fenómenos desde el sistema de referencia topocéntrico, evitando aquellas explicaciones basadas en los movimientos de la Tierra y de la Luna vistos desde el espacio exterior. Estas situaciones fueron analizadas en detalle con el fin de anticipar cuáles podrían ser las respuestas de los estudiantes al intentar resolverlas y, a partir de ellas, cuáles debían ser las acciones a realizar por el docente-investigador con el fin de orientar y aportar a la reconstrucción del conocimiento por parte de los alumnos. Al mismo tiempo, se plantearon cuáles serían los conceptos clave, y las relaciones entre ellos, junto con las explicaciones y afirmaciones de conocimiento a reconstruir con los estudiantes.

Dado que la ECPE debía guardar relación con los movimientos de los astros que pueden observarse a simple vista en el cielo, las situaciones debían estar enfocadas a observaciones concretas a llevar a cabo por los estudiantes o a acceder a simulaciones de las mismas. Para esta última opción se usó el software "Stellarium", que consiste en un planetario personal que brinda la posibilidad de simular cómo se observa el cielo en cualquier momento y desde cualquier lugar del mundo. La utilización de este software de código abierto y descarga libre ([www.stellarium.org](http://www.stellarium.org)) es útil debido a las dificultades que implica la realización de observaciones sistemáticas del cielo en la zona y época del año en que se llevó a cabo la secuencia didáctica (meses de abril y mayo), donde predominan los días nublados y de bajas temperaturas. A su vez, este software permite visualizar en pocos minutos cambios en el cielo que implicarían días y meses de observación directa, lo que favorece la posibilidad de reconstrucción del conocimiento astronómico observacional en los períodos de tiempo estipulados dentro del ciclo escolar.

Pese a su practicidad, sencillez de uso y atractivos recursos gráficos, el programa "Stellarium" ha sido poco utilizado para la enseñanza acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos (Galindo Bohórquez, 2014; Palomar y Solbes, 2015; Vílchez-González y Ramos-Tamajón, 2015). Esto se debe a que es un software "topocéntrico", que muestra cómo se observa el cielo desde la superficie terrestre, mientras que la mayoría de las publicaciones que presentan desarrollos didácticos para la enseñanza de la astronomía son heliocéntricas, explicando los fenómenos desde un sistema de referencia externo a la Tierra (Galperin y Raviolo, 2014).

El desarrollo de la Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar sobre los fenómenos astronómicos cotidianos desde un sistema de referencia topocéntrico, y su correspondiente análisis, se encuentra presente en el **Capítulo 6** de este trabajo.

c) *Tercera fase: etapa de desarrollo. Implementación de la ECPE y registro de la misma para su análisis.*

En forma previa a su implementación en un aula de nivel primario, y a modo de estudio piloto, algunas partes de la propuesta fueron utilizadas para su evaluación como parte de un curso de capacitación dictado a docentes de dicho nivel educativo. En particular, se analizaron las dificultades presentes a la hora de enseñar astronomía en las escuelas y se introdujo la utilización del sistema de referencia topocéntrico como un modelo científico válido. En este sentido, los docentes pudieron reconocer la potencialidad de las explicaciones topocéntricas para el trabajo con sus estudiantes y, sobre todo, para la comprensión de los fenómenos astronómicos cotidianos por parte de ellos mismos, dificultad que había quedado de manifiesto en una indagación de ideas llevada a cabo al inicio del curso. En consecuencia, este trabajo previo permitió realizar algunas modificaciones a la propuesta a implementarse con los alumnos y brindar validez al enfoque elegido, el cual fue valorado muy favorablemente al finalizar la capacitación.

La implementación de la secuencia completa tuvo lugar en un curso de 25 alumnos de 6to. grado del turno mañana de una escuela primaria del centro de la localidad de El Bolsón, cuya edad promedio era de 10,6 años. Como ya se ha mencionado, el investigador actuó como docente del curso durante las horas en las que la secuencia fue desarrollada en el aula, dos veces por semana, durante un período de unos dos meses. En esas horas, la docente del curso actuaba como auxiliar pedagógica del docente-investigador, colaborando para facilitar la comprensión y realización de las consignas por parte de los estudiantes. Sin embargo, la coordinación de la dinámica del curso, los debates en las clases, la explicación general de las consignas y el desarrollo de los conceptos astronómicos quedaron siempre a cargo del investigador. Para ello se utilizaron las horas de Ciencias Naturales que tiene asignadas semanalmente el curso y, durante esos dos meses, se llevaron a cabo actividades de indagación de ideas de los alumnos, de discusión de situaciones problemáticas, de observación del cielo, tanto en forma directa como mediante simulaciones, de elaboración de modelos concretos, de profundización conceptual y de evaluación de la evolución del conocimiento de los estudiantes.

Los materiales se llevaban impresos, uno para cada estudiante, de modo tal que cada uno de ellos pudiese leer la información y volcar sus producciones, más allá de que la mayoría de los trabajos se realizaban en forma grupal. Estos grupos se mantuvieron sin modificaciones durante todo el desarrollo de la secuencia. Al finalizar la clase, el docente-investigador se llevaba las producciones de los estudiantes, las cuales eran devueltas para continuar con el trabajo en el siguiente encuentro. Esto hacía posible evaluar los avances de los estudiantes a medida que transcurrían las clases y, al mismo tiempo, mantener un registro fotográfico de cada uno de los trabajos de cada alumno. Al finalizar la secuencia, se realizaron actividades de síntesis, finalizando la misma con una evaluación escrita.

Durante el desarrollo de la secuencia, se registraron en video todas las clases, y en formato de audio muchas de las discusiones de los distintos grupos. A su vez, se registraron fotográficamente la gran mayoría de las producciones que fueron llevadas a cabo en forma grupal y se guardaron las producciones escritas de cada uno de los alumnos. Al finalizar, se llevaron a cabo entrevistas individuales a

aproximadamente la mitad de los alumnos del curso, en las cuales se evaluó el grado de comprensión de los estudiantes acerca del movimiento del Sol y la Luna en el cielo y de las causas del día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares.

d) *Cuarta fase: etapa de análisis. Reconstrucción de la Estructura Conceptual Efectivamente Reconstruida (ECER). Análisis de resultados.*

Como ya se ha mencionado, la implementación de la Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar (ECPE) en un aula específica, con sus características y contexto particular, determina la reconstrucción de una nueva estructura, la Estructura Conceptual Efectivamente Reconstruida (ECER), la cual depende de cada sujeto y de las interacciones que se dan dentro del grupo de clase. En este sentido, cada estudiante construye una estructura conceptual personal y una red de significados propia, la cual se vincula con la red de significados compartidos por el grupo, los cuales son construidos a partir de un proceso de negociación de significados entre los alumnos entre sí y, a su vez, entre ellos y el docente.

Este proceso de conceptualización fue analizado, en primer lugar, a partir de la descripción de las acciones de los estudiantes y del docente-investigador a lo largo de las clases. Estas acciones involucran actividades cognitivas, como pensar o decidir, y actividades actuativas, como dialogar o hacer. Para ello se utilizaron los videos y audios registrados, los cuales fueron transcritos en su totalidad, identificando el turno de habla de cada sujeto del grupo y numerándolos en forma secuencial. A continuación, se analizaron dichas transcripciones con el fin de identificar los modelos mentales expresados (Vosniadou, 1994; Gilbert y Boulter, 2000) presentes en los estudiantes en relación a los fenómenos astronómicos desarrollados, poniendo atención en el modo en que éstos fueron evolucionando. A su vez, con el objeto de tener más información del proceso personal de construcción de conocimientos seguido por cada estudiante, se llevaron a cabo distintas actividades individuales escritas a lo largo de las clases, incluyendo una "evaluación" al finalizar la implementación. Esta evaluación fue planteada como una nueva situación con el objeto de que los estudiantes puedan poner en acción los conocimientos construidos durante el desarrollo de la secuencia. A partir de ella, y de la comparación con lo realizado por cada alumno en la situación inicial, se identificaron los invariantes operatorios (Vergnaud, 1990) que los alumnos pusieron en juego de forma tal de analizar modificaciones en sus esquemas de pensamiento. De este modo se caracterizó el proceso de conceptualización seguido por los estudiantes y se identificaron posibles obstáculos en dicho proceso.

Como cierre del registro de información acerca del proceso de conceptualización se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas individuales a 12 alumnos del curso. Dado el grado dispar de asistencia a la escuela, de participación en la resolución de las situaciones planteadas y de atención en las conversaciones entre pares y con el docente, tanto en el grupo de clase como en los subgrupos de trabajo, los estudiantes entrevistados fueron seleccionados al azar entre aquellos que manifestaron un compromiso cognitivo y actuativo en las clases, sin importar su desempeño en la evaluación final. Todas estas entrevistas han sido transcritas y analizadas con el fin de llegar a reconstruir el proceso de conceptualización completo seguido por algunos de los estudiantes del curso a lo largo de las clases.

La reconstrucción de la Estructura Conceptual Efectivamente Reconstruida se encuentra desarrollada en el **Capítulo 7**.



# CAPÍTULO 4: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE EL APRENDIZAJE Y LA ENSEÑANZA DE LOS FENÓMENOS ASTRONÓMICOS COTIDIANOS

---

## 4.1. Introducción

En esta sección se incluyen los resultados de la revisión bibliográfica realizada como parte de este trabajo de investigación. Como toda síntesis, la misma es parcial y se encuentra sesgada por el tema y el rumbo de la investigación llevada a cabo. En particular, la revisión pone el acento en 3 ejes diferentes:

- a) Comprender cuáles son las ideas y concepciones más comunes presentes en estudiantes, futuros docentes y en docentes en actividad en relación a la forma de la Tierra, a las causas del ciclo día/noche, las estaciones y las fases de la Luna. Se analizan cuáles pueden ser algunas de las causas de estas nociones y se extraen conclusiones a partir de este análisis.
- b) Conocer cuáles son las características de las propuestas de enseñanza desarrolladas para lograr una comprensión adecuada acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos. En particular, se pondrá énfasis en analizar cuáles son las sugerencias metodológicas que han surgido a partir de la evaluación de dichas propuestas
- c) Describir las concepciones más comunes presentes en estudiantes y docentes acerca de los sistemas de referencia y conocer qué sugerencias metodológicas se han realizado anteriormente en relación a la utilización de distintos sistemas de referencia dentro de las propuestas de enseñanza de la astronomía.

## 4.2. Concepciones detectadas en alumnos y docentes

A continuación se sintetizan las conclusiones obtenidas en distintas investigaciones en relación a las nociones que poseen estudiantes y docentes acerca de la forma que posee la Tierra y sobre las causas de los fenómenos astronómicos cotidianos (día y noche, estaciones del año y fases de la Luna). De este modo, esta revisión bibliográfica amplía y actualiza la realizada por Vega Navarro (2007). Dada la gran cantidad de trabajos examinados, se ha decidido volcar la información en formato de tablas para simplificar la lectura y se han elaborado conclusiones al finalizar la revisión sobre cada uno de los temas analizados.

### 4.2.1. Enfoques de investigación sobre el conocimiento de alumnos y docentes

Como ya se ha mencionado en el **Capítulo 2**, es sabido que los estudiantes construyen sus propias ideas y significados acerca de los fenómenos naturales que observan mucho antes de comenzar su tránsito por la educación formal. En consecuencia, las explicaciones que poseen los niños son generalmente muy distintas a las explicaciones

científicas acerca del mundo natural, haciendo que lleguen a las aulas con su propia comprensión acerca del mundo (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985). Al respecto, estas explicaciones y respuestas que brindan los estudiantes han sido identificadas y clasificadas de distintos modos, tales como preconcepciones (Clement, 1982), concepciones erróneas (Helm, 1980), ideas previas (Limón y Carretero, 1996), concepciones alternativas (Gilbert y Watts, 1983), ideas ingenuas o intuitivas (Osborne y Freyberg, 1985), modelos mentales (Johnson-Laird, 1983; Vosniadou y Brewer, 1992), o incluso algunos autores sostienen que en muchos casos este conocimiento se encuentra fragmentado (diSessa, 1988; Hannust y Kikas, 2007).

La utilización de una u otra denominación no es indiferente ya que cada una responde a distintas concepciones acerca de las características de estas ideas, y del modo en que deben ser tenidas en cuenta en el momento de la instrucción. Más allá de estas diferencias, es posible decir que todos los autores concuerdan en que los niños elaboran ideas acerca del mundo natural como modo de reconciliar de forma lenta y gradual las creencias y suposiciones creadas a partir de su experiencia cotidiana con las informaciones recibidas a través del contacto con el mundo adulto, tanto dentro como fuera del contexto escolar.

En esta sección se utilizará el término "concepciones" al referirse a las ideas detectadas en estudiantes y docentes en los distintos trabajos de investigación. Esto tiene como fin englobar todas las expresiones que aparecen allí registradas, más allá del tipo de representación o construcción conceptual a la que adhiere el trabajo analizado. Sin embargo, al extraer conclusiones a partir de dichos trabajos se utilizará la construcción "modelo mental" ya que se intenta precisar cuáles son las representaciones mentales más comunes que utilizan personas de todas las edades para describir, explicar y poder realizar predicciones acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos (Diakidoy, Vosniadou y Hawks, 1997; Samarapungavan, Vosniadou y Brewer, 1996; Vosniadou y Brewer, 1992).

#### 4.2.2. La forma de la Tierra

La **Tabla 4-1** sintetiza los trabajos de investigación sobre las concepciones que poseen alumnos de distintas edades acerca de la forma que posee la Tierra. A su vez, se señalan algunas de las conclusiones obtenidas en ellos.

**Tabla 4-1:** Concepciones sobre la forma de la Tierra detectadas en alumnos. Síntesis de resultados obtenidos en investigaciones anteriores.

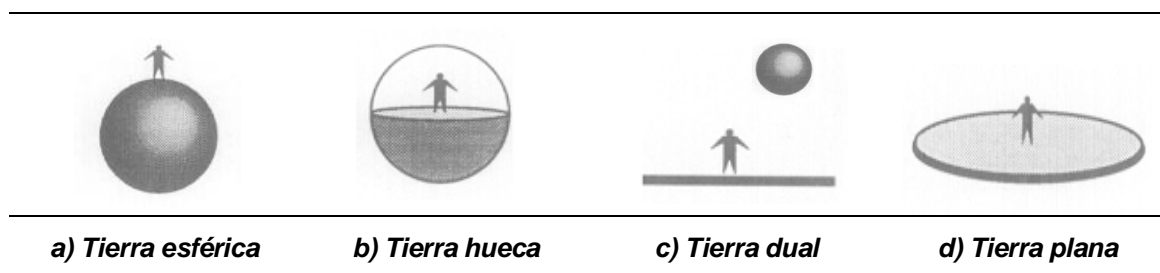
<b>La forma de la Tierra</b>		
<b>Referencia</b>	<b>Muestra</b>	<b>Algunas concepciones detectadas y conclusiones</b>
Nussbaum (1979)	240 alumnos (9 - 14 años) Israel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La Tierra es plana y no redonda.</li> <li>- La Tierra es redonda y está compuesta por dos hemisferios: el inferior que es sólido (la "tierra") y el superior que es de aire (el cielo). Vivimos "adentro" de la Tierra.</li> <li>- La Tierra es esférica y sólida, pero hay un arriba - abajo independiente de la Tierra.</li> <li>- Tierra esférica con un arriba - abajo ligado a ella.</li> <li>- Relación entre las ideas de los niños y su edad.</li> </ul>

Mali y Howe (1979)	250 alumnos (8 - 12 años) Nepal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nociones similares a las detectadas por Nussbaum (1979).</li> <li>- Se agrega: Tierra plana y sostenida por cuatro elefantes.</li> <li>- Se mantienen nociones elementales hasta más edad.</li> </ul>
Sneider y Pulos (1983)	159 alumnos (9 - 14 años) Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Correlación entre forma de la Tierra y el concepto de gravedad.</li> <li>- Diferencias significativas entre las ideas estudiadas y las mantenidas en la vida cotidiana.</li> </ul>
Baxter (1989)	100 alumnos (9 - 16 años) Inglaterra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nociones similares a las de Nussbaum (1979).</li> <li>- Predomina la noción sobre Tierra esférica con arriba-abajo independiente de ella, sobre todo de 13 a 16 años.</li> <li>- El modelo de Tierra esférica con gravedad asociada con ella es mantenido por muy pocos alumnos de mayor edad .</li> </ul>
Vosniadou y Brewer (1992)	60 alumnos (6 - 11 años) Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelos alternativos al científico: Tierra rectangular, con forma de disco, dual (Tierra redonda en el cielo y plana donde vive la gente) o esfera hueca.</li> <li>- Conciben estos modelos mentales como estructuras condicionadas por creencias, inferencias y presuposiciones</li> <li>- Estos modelos mentales no son ideas erróneas, son verdaderas teorías en evolución.</li> </ul>
Sharp (1996)	42 alumnos (10 - 11 años) Inglaterra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resultados excepcionales en relación a trabajos anteriores.</li> <li>- Ninguno sostuvo la idea de una Tierra plana y poseían nociones sobre la gravedad.</li> <li>- Lo asocia con la implementación de un nuevo currículum escolar de ciencias.</li> </ul>
Samarapungavan, Vosniadou y Brewer (1996)	38 alumnos (6 y 9 años) India	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se comparan los resultados con los obtenidos en Estados Unidos. No aparece el modelo dual de Vosniadou y Brewer (1992).</li> <li>- Tierra en forma de disco (24%).</li> <li>- Tierra flotando en agua que la rodea (34%).</li> <li>- Existencia de condicionamientos culturales en la formación de modelos mentales.</li> </ul>
Hannust y Kikas (2007) (2010) (2012)	113 alumnos (5 a 7 años) 143 niños (2 a 6 años) 159 alumnos (1º a 4º grado) Estonia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El conocimiento de la mayoría de los niños sobre la forma de la Tierra está fragmentado.</li> <li>- Sólo el 11% de los niños de estas edades presenta modelos consistentes.</li> <li>- Los conjuntos aparentemente coherentes de respuestas en realidad pueden ser al azar.</li> <li>- La forma de preguntar pueden influir en el rendimiento en tareas de comprensión. Importancia de usar preguntas abiertas que no guíen las respuestas.</li> <li>- Recién en 4to. grado la mitad de los niños es capaz de dar respuestas consistentes.</li> </ul>

En función de los trabajos mencionados, los modelos mentales sobre la forma de la Tierra detectados en mayor proporción en alumnos de distintas edades pueden sintetizarse en las siguientes categorías (**Figura 4-1**):

- a) Tierra esférica (puede estar achatada o no en los polos).
- b) Tierra esférica y hueca. Las personas habitan "adentro" de la Tierra.
- c) Tierra dual. Hay dos Tierras: una redonda en el cielo y otra plana donde la gente vive.
- d) Tierra plana. Puede tener forma de disco o rectangular.

**Figura 4-1:** Esquemas que sintetizan los modelos sobre la forma de la Tierra detectados en mayor proporción en alumnos en investigaciones anteriores. Esquemas extraídos de Vosniadou y Brewer (1992).



Vosniadou y Brewer (1992) clasificaron los modelos mentales de los niños en tres categorías distintas: iniciales, sintéticos y científicos. Los modelos iniciales son anteriores a que los niños sean expuestos a información de los adultos y están basados en la experiencia cotidiana y en determinadas presuposiciones respecto al funcionamiento del mundo natural. El modelo de "Tierra plana", basado en lo que los niños observan todos los días a su alrededor es un buen ejemplo de este tipo de modelos. Por otro lado, los modelos sintéticos son construidos por los niños como forma de conciliar sus presupuestos y creencias con la información que reciben de la cultura de los adultos. En este sentido, el modelo de "Tierra dual" concilia las creencias de los niños respecto a que la Tierra es plana con la información aportada por la cultura, asumiendo que los adultos se refieren a un objeto diferente cuando hablan de la redondez de la Tierra. A su vez, el aporte de información adicional y el propio crecimiento personal permite que los niños revisen algunos de sus presupuestos, lo que los libera de ciertas limitaciones, permitiendo la creación de modelos sintéticos más avanzados. El modelo de "Tierra hueca" es un ejemplo de ello ya que implica que el niño deje de lado la presuposición de que la Tierra debe estar apoyada en algún lado. Sin embargo, mantiene las presuposiciones que sostienen que el terreno que pisamos es plano y que los objetos caen hacia ese plano cuando no están apoyados. Por último, los modelos científicos, como el de "Tierra esférica", pueden ser construidos por los niños a partir de reinterpretar sus presupuestos dentro de un diferente marco explicativo a partir del contacto formal con las teorías científicamente aceptadas. Es posible concluir que este proceso no resulta nada sencillo para los niños en función de los resultados encontrados que muestran que la mayoría de los niños de primer grado, la mitad de los tercer grado y algo menos de la mitad de los de quinto grado poseen un modelo mental sintético acerca de la forma de la Tierra (ibíd.). Esto llama poderosamente la atención ya que en nuestra cultura los niños están constantemente expuestos a la información científica sobre la forma de la Tierra.



### 4.2.3. El día y la noche

La **Tabla 4-2** sintetiza los trabajos de investigación sobre las concepciones que poseen alumnos de distintas edades y docentes acerca de las causas del fenómeno del día y la noche. A su vez, se señalan algunas de las conclusiones obtenidas en ellos.

**Tabla 4-2:** Concepciones sobre el día y la noche detectadas en alumnos y docentes. Síntesis de resultados obtenidos en investigaciones anteriores.

<b><i>El día y la noche</i></b>		
<b>Referencia</b>	<b>Muestra</b>	<b>Algunas concepciones detectadas y conclusiones</b>
Yuckemberg (1962)	27 alumnos Nivel primario (6 - 7 años) Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Sol se cierra y se abre la Luna.</li> <li>- El Sol y la Luna se mueven (en forma "mágica")</li> <li>- La Luna mete el Sol en las nubes.</li> <li>- Anochecer: el Sol se va hacia donde viven los cowboys.</li> <li>- Noche: el Sol está en otra parte del mundo.</li> </ul>
Klein (1982)	24 alumnos Nivel primario (7 - 8 años) Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De noche el Sol está en otro lado de la Tierra debido al movimiento vertical del Sol hacia arriba y hacia abajo o al movimiento del Sol alrededor de la Tierra (ideas mayoritarias).</li> <li>- De día está el Sol y no la Luna por la rotación terrestre.</li> <li>- De noche el Sol está en otro país o en otro planeta debido a la rotación de la Tierra.</li> <li>- El Sol sube durante el día y se va hacia abajo en la noche, momento en que no se sabe dónde está el Sol.</li> </ul>
Sadler (1987)	25 alumnos Nivel primario (14 - 15 años) Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La Tierra rota sobre su eje.</li> <li>- El Sol se mueve alrededor de la Tierra.</li> <li>- La Luna tapa el Sol.</li> <li>- El Sol se va a otro lugar por la noche.</li> <li>- Las nubes tapan al Sol por la noche.</li> </ul>
Jones, Lynch y Reesinck (1987)	32 alumnos Nivel primario (9 - 12 años) Tasmania	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acercamiento y alejamiento del Sol y de la Luna (movimiento "milagroso").</li> <li>- Rotación de la Tierra, con el Sol y la Luna estáticos en el espacio en posiciones enfrentadas.</li> <li>- Giro de la Luna y el Sol (que están en el espacio en posiciones enfrentadas) en torno a la Tierra.</li> <li>- Giro de la Tierra y la Luna orbitando al Sol (con la Tierra rotando sobre sí misma).</li> <li>- Rotación de la Tierra, que a la vez gira alrededor del Sol (con la Luna girando alrededor de la Tierra).</li> </ul>
Baxter (1989)	100 alumnos Nivel primario y Nivel medio (9 - 16 años) Inglaterra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Sol se oculta detrás de las montañas.</li> <li>- Las nubes tapan el Sol.</li> <li>- La Luna oculta al Sol.</li> <li>- El Sol se mueve en torno a la Tierra cada día.</li> <li>- La Tierra se mueve en torno al Sol cada día.</li> <li>- La Tierra rota sobre su eje cada día.</li> </ul>
Vosniadou y Brewer (1994)	60 alumnos Nivel primario (6 - 11 años) Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los modelos mentales sobre día/noche están condicionados por presuposiciones ontológicas (los objetos son sólidos y estables) y epistemológicas (los fenómenos se explican por causalidad).</li> <li>- De estas presuposiciones y de las experiencias cotidianas reales (el Sol no está de noche) y aparentes</li> </ul>

		<p>(la Luna se ve de noche) surge la creencia de que el día se debe al Sol y la noche a la presencia de la Luna.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Los distintos modelos mentales se deben a los diferentes modos en que los niños conciben la aparición y desaparición de los objetos (los astros en este caso).</li> </ul>
Atwood y Atwood (1995)	50 futuros docentes Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La mayoría posee concepciones alternativas acerca de la causa del día y la noche (54%).</li> <li>– Modelo en mayor proporción: revolución terrestre. La Tierra gira alrededor del Sol.</li> </ul>
Camino (1995)	85 maestros Argentina	<p>Modelos para explicar día/noche después de un curso de capacitación para docentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Modelo científico: rotación de la Tierra (65%).</li> <li>– Rotación: la Tierra rota, con el Sol y la Luna estáticos en el espacio en posiciones opuestas (12%).</li> <li>– Revolución: la Tierra está estática y la Luna y el Sol, en posiciones opuestas, giran alrededor de ella (7%).</li> <li>– 27% de los docentes no sabe a que se debe día/noche antes de comenzar el curso.</li> </ul>
Schoon (1995)	122 futuros docentes Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Día/noche debido a la traslación de la Tierra (18%).</li> <li>– Día/noche debido a la rotación de la Tierra (77%).</li> <li>– Estos porcentajes son similares a los detectados en alumnos de 5to. grado (19,6% y 67% respectivamente).</li> </ul>
Diakidoy, Vosniadou y Hawks (1997)	26 alumnos aborígenes Nivel primario (6 - 11 años) Estados Unidos	<p>Modelos mentales para explicar día/noche (en la mayoría, la Luna caracteriza la noche):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Rotacional avanzado: rotación de la Tierra sin involucrar a la Luna.</li> <li>– Sintético rotacional: rotación de la Tierra, con el Sol y la Luna estáticos en el espacio en posiciones opuestas.</li> <li>– Revolución: la Tierra está estática y la Luna y el Sol, en posiciones opuestas, giran alrededor de ella.</li> <li>– Mecanicista: el Sol y la Luna suben y bajan alternativamente.</li> <li>– Cultural animista: los movimientos se basan en explicaciones mitológicas y animistas. Tierra estática y el Sol y la Luna "se persiguen", "están peleados", etc.</li> </ul>
Kikas (1997)	252 alumnos (3ro., 5to., 7mo. y 9no. grado) Estonia	<ul style="list-style-type: none"> <li>– En 3º grado, la mayor parte de los alumnos da respuestas descriptivas sobre día/noche (76%). Una pequeña proporción da una respuesta escolar adecuada (13%).</li> <li>– En 5to. grado, una gran proporción de las respuestas son escolares (52%). Son escasas las de sentido común (21%). La diferencia entre 3º y 5º es significativa.</li> <li>– En 7mo. grado, se reduce la proporción de respuestas escolares (37%) y crecen las de "sentido común" (43%).</li> <li>– En 9no. grado, la proporción de respuestas escolares y de sentido común se equipara (ambas 38%).</li> <li>– Salvo en 5º grado, los varones dieron más respuestas escolares que las chicas. La diferencia es muy significativa en 9º grado.</li> <li>– Los estudiantes memorizan el conocimiento enseñado en la escuela pero no lo integran con su conocimiento cotidiano y pronto lo olvidan.</li> </ul>
Trumper (2001)	2087 alumnos: 826 secundario	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rotación de la Tierra (explicación científica): 55% alumnos de secundario, 39% futuros docentes primaria,</li> </ul>

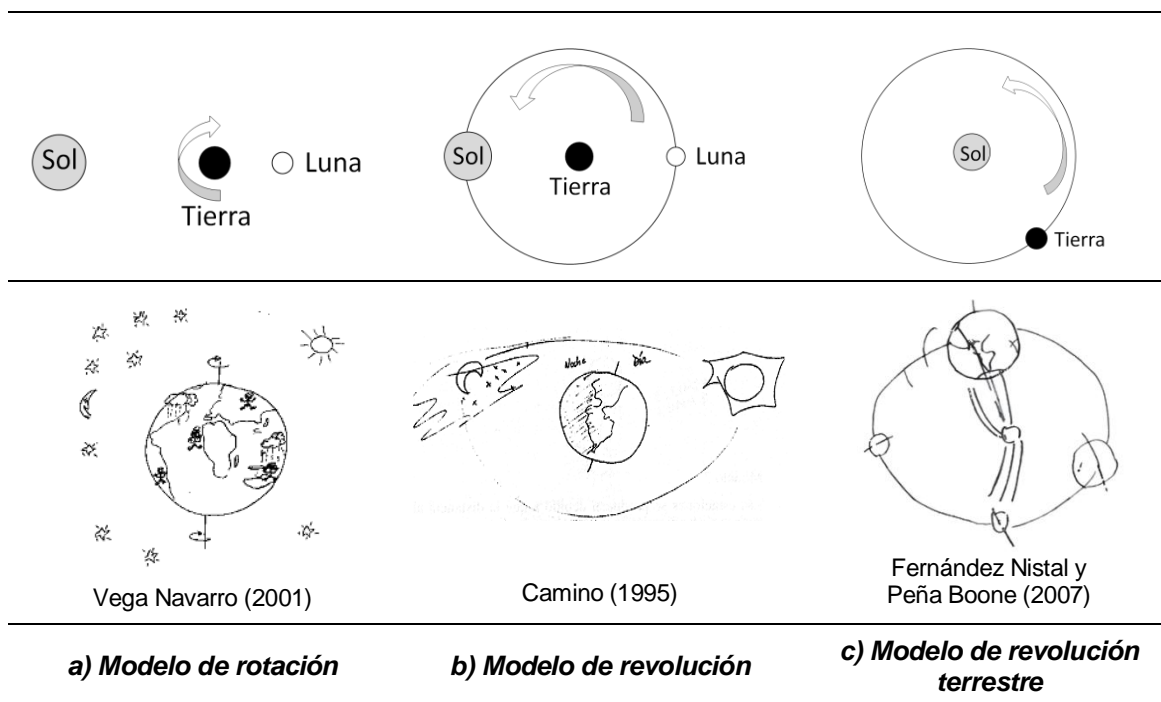
	y 1261 nivel universitario. Israel	52% futuros docentes secundaria y 62% universitarios carreras no científicas. – Traslación de la Tierra alrededor del Sol (concepción errónea más común): 33% alumnos de secundario, 51% futuros docentes primaria, 37% futuros docentes secundaria y 34% universitarios de carreras no científicas.
Vega Navarro (2001)	96 maestros España	Modelos para explicar día/noche: – Representación científica (55,2%). – Rotacional: la Tierra rota, con el Sol y la Luna estáticos en el espacio en posiciones opuestas (29,2%). – Revolución: la Tierra está estática y la Luna y el Sol, en posiciones opuestas, giran alrededor de ella (5,2%).
Vega Navarro (2002)	19 alumnos Nivel inicial (4 - 6 años) España	Modelos mentales para explicar día/noche: – Interruptor: Sol y Luna son el mismo astro sin movimiento. El Sol se apaga y se convierte en Luna. – Pantalla: las nubes tapan el Sol o la Luna alternativamente. Pantalla y arrastre: las nubes tapan el Sol mientras arrastran la Luna para que aparezca. – Fuga: Sol y Luna desaparecen alternativamente yéndose a otro lugar. – Eclipse: uno de los dos, Sol o Luna, está inmóvil y el otro astro se desplaza hasta ocultarlo. Variante a): el Sol oculta la Luna durante el día y se va a algún lado a la noche. Variante b): una nube tapa la Luna durante el día y a la noche la Luna se corre hasta tapar el Sol. – Ocultamiento en las nubes: Sol y Luna se mueven atrás de las nubes de modo tal de quedar destapada la Luna a la noche (y tapado el Sol) y al revés en el día. – Ocultamiento en las montañas: mismo mecanismo que el anterior reemplazando las nubes por montañas. – Traslación: Sol y Luna se desplazan opuestos en el cielo apareciendo la Luna y desapareciendo el Sol.
Danaia y McKinnon (2007)	1920 alumnos (7mo., 8vo. y 9no. año) Australia	– Respuesta "correcta" (19,5% en 7mo., 31,5% en 8vo. y 39,9% en 9vo. grado). – Parcialmente correcta (45,9%, 45,7% y 31,8%). – No responde (12,2%, 6,7% y 9,6%). – Tierra orbita al Sol (6,0%, 4,5% y 8,6%). – Sol orbita la Tierra (5,2%, 4,7% y 5,0%). – El Sol sale todos los días por el Este y se pone por el Oeste (12,4%, 15,6% y 14,3%). – El Sol está sobre nuestras cabezas al mediodía (6,4%, 13,5% y 10,1%). – Luna y Sol orbitan la Tierra (15,4%, 11,3% y 6,7%).
Fernández Nistal y Peña Boone (2007)	80 maestros España	Concepciones del día y la noche: – Representación científica: rotación de la Tierra (41,2%). – Giro circular de la Tierra (no sobre su eje) (28,8%). – El Sol gira alrededor de la Tierra (12,5%). – Movimiento de la Luna provoca el día y la noche (5%). – Traslación de la Tierra provoca día y noche (7,5%). – Rotacional: la Tierra rota, con el Sol y la Luna estáticos en el espacio en posiciones opuestas (5%).
Chiras y Valanides (2008)	80 alumnos Nivel primario	– Gran persistencia de modelos "geocéntricos" pese a haber recibido instrucción escolar "heliocéntrica".

	(9 y 11 años) Chipre	– Concluyen que los alumnos deben poseer conocimientos anteriores o prerrequisitos para comprender día/noche a partir de la rotación terrestre: esfericidad de la Tierra, rotación terrestre como causa del día y la noche, inclinación del eje terrestre, que no es posible tener sólo día o noche en la Tierra, que los rayos de luz viajan en línea recta, que la Luna no posee luz propia y que no tiene relación con día y noche.
Gangui, Iglesias y Quinteros (2010)	51 futuros docentes Argentina	– Rotación de la Tierra (63,08%). – Otras (27,7%). – Por la Luna (4,6%). – No responde (4,6%).

A partir de lo mencionado en la **Tabla 4-2**, las representaciones detectadas en mayor proporción en alumnos y docentes pueden clasificarse en las siguientes categorías (**Figura 4-2**):

- Modelo de rotación: la Tierra gira sobre su eje mientras el Sol y la Luna se encuentran en posiciones opuestas.
- Modelo de revolución: la Luna y el Sol se encuentran en posiciones opuestas y giran alrededor de la Tierra.
- Modelo de revolución terrestre: la traslación de la Tierra alrededor del Sol provoca el ciclo día/noche.
- Modelo científico: el ciclo día/noche es consecuencia del movimiento de rotación terrestre.

**Figura 4-2:** Esquemas que sintetizan los modelos científicamente inapropiados sobre el ciclo día/noche detectados en mayor proporción en alumnos mayores de 8 años y en docentes (1ra. fila). En la 2da. fila se muestran dibujos realizados por docentes en actividad en distintas investigaciones anteriores.



En función de las investigaciones mencionadas es posible concluir que el fenómeno del día y la noche no es comprendido adecuadamente por una proporción importante de docentes y por un porcentaje muy significativo de alumnos de nivel primario, pese a que el mismo es enseñado en las aulas y que es considerado como uno de los más sencillos de desarrollar. En este sentido, el fenómeno aparece en los libros de texto en distintos años de escolaridad, por lo cual los alumnos suelen abordarlo más de una vez durante su trayectoria educativa. Sin embargo, su desarrollo en los libros escolares y en los cuentos muchas veces presenta errores conceptuales y/o didácticos que refuerzan las nociones alternativas más comunes. Por ejemplo, es común la presentación de imágenes nocturnas en las que siempre aparece la Luna en el cielo, reforzando la idea errónea que asocia la noche con la Luna (Vega Navarro, 1996; Galperin et al., 2014). Lo mismo sucede muchas veces en las películas y en los cuentos más populares, instalando un error conceptual desde edades muy tempranas (**Figura 4-3**):

*“Lo cierto es que actualmente la asociación de la noche con la Luna es un proceso que comienza en los primeros años, si no meses, de vida, de forma asistemática y no intencional en el entorno familiar, y luego se torna metódica y persistente en el ámbito escolar ya desde las primeras lecturas”.* (Vega Navarro, 2003, p. 71)

*“Ciertamente, en la Luna reparamos más por la noche. Pero la Luna no puede ser el símbolo de la noche cuando los niños y niñas comienzan su aprendizaje científico. Y no puede serlo porque la asociación de la noche con la presencia de la Luna es un grave error conceptual que colisionará más tarde con la explicación correcta del fenómeno noche-día (ausencia-presencia de luz solar), con la visión heliocéntrica del sistema solar y con la idea de un universo dinámico”.* (ibíd., p.71)

**Figura 4-3:** Imagen de libro escolar que asocia explícitamente la noche con la Luna (extraída de Vega Navarro, 1996). Tomada del libro *Educación primaria, Primer Ciclo, 1*, de Vicens Vives, Barcelona, 1992, p. 116-117.



Como se ha mencionado, la presencia de modelos inapropiados desde el punto de vista científico sobre el día y la noche es algo sumamente común en niños, jóvenes e incluso en muchos docentes. Esto llama la atención debido a ser un fenómeno muy cotidiano y, a la vez, relativamente sencillo de explicar. Sin embargo, a partir de los resultados de las investigaciones no cabe duda que la conceptualización acerca del ciclo día/noche es mucho más compleja de lo que sostienen los docentes, los autores de libros escolares y el currículum escolar. En este sentido, Chiras y Valanides (2008) indican la necesidad de ciertos prerrequisitos o ideas que los alumnos deben poseer previamente para poder

comprender este fenómeno como una consecuencia del movimiento de rotación terrestre: a) que la Tierra es esférica, b) que el ciclo día/noche es causado exclusivamente por la rotación de la Tierra sobre su eje, c) que en la Tierra es imposible tener sólo día o noche, d) que el eje de la Tierra está inclinado, e) que la Luna no tiene luz propia y que no está relacionada con el ciclo día/noche y f) que todos los objetos emiten rayos de luz que viajan en línea recta (p. 75).

Como ejemplo de estas dificultades de comprensión sobre el día y la noche, se han detectado docentes en actividad que sostienen que el ciclo día/noche dura menos en los planetas más alejados porque les llega menos luz, que identifican a la noche con la presencia de la Luna o que asocian este fenómeno como una consecuencia de la proyección de la sombra de algún astro sobre otro (Camino, 1995, p. 91).

Por otro lado, Vosniadou y Brewer (1994) sostienen que los modelos mentales sobre el día y la noche presentes en los niños son el producto de determinadas representaciones personales sobre los objetos junto con dos tipos de presupuestos: los ontológicos y los epistemológicos (**Figura 4-4**):

*"La construcción de un modelo mental sobre el ciclo día/noche depende de las representaciones personales respecto a una serie de conceptos que interactúan (como Sol, Tierra y Luna) y de dos tipos de presupuestos: los ontológicos (que los objetos físicos son sólidos, estables, caen cuando no se sostienen, etc) y los epistemológicos (presuposiciones sobre el carácter general de las explicaciones de los fenómenos físicos, como una preferencia por las explicaciones físicas/causales). Estos presupuestos influyen en la manera en que las personas interpretan sus observaciones y la información que reciben de la cultura, generando creencias específicas sobre la naturaleza del mundo físico y restringiendo la forma en que estas creencias se integran como modelos mentales" (ibíd., p. 129).*

**Figura 4-4:** Esquema del proceso de construcción de modelos y creencias acerca del día y la noche en niños propuesto por Vosniadou y Brewer (1994, p. 130).

Presuposiciones	Creencias	Observaciones dentro del contexto cultural
<p><b>Epistemológicas:</b> Los fenómenos necesitan ser explicados Las explicaciones deben darse en términos de mecanismos causales.</p>	<p>La aparición/desaparición del Sol y la desaparición/aparición de la Luna y las estrellas causa el día/la noche.</p> <p><b>Mecanismos que explican la aparición y desaparición de objetos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Algo se mueve delante de los objetos y los tapa.</li> <li>2) Los objetos se mueven detrás de algo.</li> <li>3) Los objetos se apagan.</li> <li>4) Los objetos se mueven lejos cuando no pueden verse.</li> <li>5) Los objetos se apagan, por lo que no pueden verse más.</li> </ol>	<p>Hay un ciclo de día/noche</p> <p>El Sol está en el cielo durante el día, pero no durante la noche</p> <p>La Luna y las estrellas están en el cielo durante la noche pero no durante el día</p> <p>Los objetos aparecen y desaparecen</p>
<p><b>Ontológicas:</b> Los objetos físicos son sólidos y estables. Los objetos no sostenidos se caen.</p>		

Vosniadou y Brewer concluyen que los modelos mentales sobre el ciclo día/noche guardan relación con el propio modelo acerca de la forma de la Tierra y sobre el movimiento del Sol que posee cada niño, lo que representa una evidencia a favor de que estos modelos son lógicamente consistentes y coherentes. Por ejemplo, los niños que poseen un modelo de Tierra plana no brindan explicaciones del día y la noche en las que la Tierra rota o gira alrededor del Sol (**Figura 4-5**).

**Figura 4-5:** Restricciones del proceso de construcción de modelos y creencias acerca del día y la noche en niños. Adaptado de Vosniadou y Brewer (1994, p. 132).

Modelo mental de la Tierra	Modelo mental del Sol	Modelo mental del ciclo día/noche		
La Tierra es plana y está quieta	El Sol se mueve.	El sol se va atrás de la montaña (sube y baja)	El Sol se va lejos (se aleja y se acerca)	Modelos iniciales
	El Sol está quieto	Las nubes cubren el Sol (y lo destapan)	El Sol se apaga y se prende	
La Tierra es esférica. Puede moverse o no	El Sol se mueve	El Sol se va a otro lado de la Tierra	El Sol gira alrededor de la Tierra	Modelos sintéticos y científicos
	El Sol está quieto	La Tierra gira alrededor del Sol	La Tierra rota arriba/abajo o este/oeste	

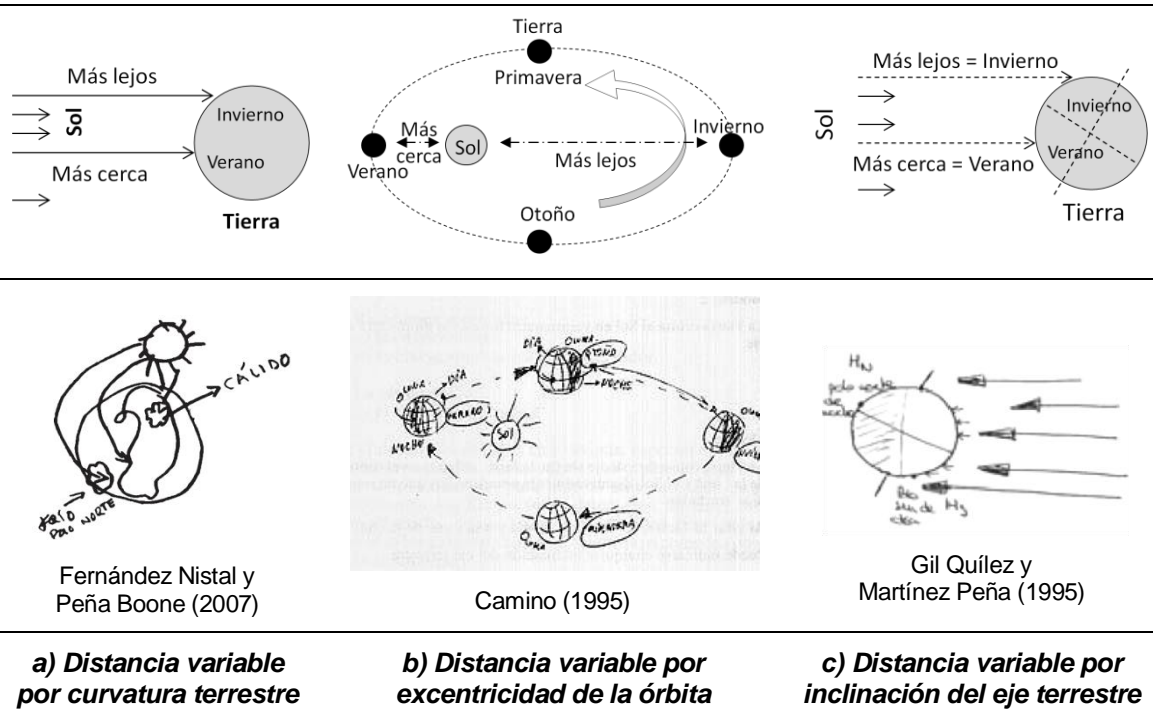
En contraposición, otros investigadores han encontrado resultados que indican que las explicaciones de los fenómenos que dan los niños están fragmentadas o débilmente organizadas debido a que no tienden a adoptar un principio de coherencia lógica al teorizar sobre el mundo físico (Solomon, 1983; diSessa, 1988; Hannust y Kikas, 2007). Se desarrollará en profundidad esta discusión más adelante, en la **sección 4.2.6**, sobre conclusiones de los trabajos analizados respecto a las concepciones de los estudiantes acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos.

#### 4.2.4. Las estaciones del año

A continuación se detallan algunos de los trabajos de investigación acerca de las concepciones que poseen alumnos y docentes sobre las estaciones del año. En una gran mayoría, los trabajos detectan la idea predominante de que las estaciones del año se deben a la distancia variable entre la Tierra y el Sol, aunque existen distintos modelos para explicar este cambio en la distancia (**Figura 4-6**):

- a) Modelo de distancia variable por curvatura terrestre: la forma de la Tierra causa que algunos puntos queden más cerca del Sol y otros más lejos.
- b) Modelo de distancia por excentricidad de la órbita (explicación no científica más común): nuestro planeta se traslada en una órbita elíptica de gran excentricidad, lo que provoca que cambie la distancia entre la Tierra y el Sol.
- c) Modelo de distancia variable por inclinación del eje terrestre: esta inclinación provoca que una persona esté más cerca o más lejos del Sol según en qué posición de la Tierra se encuentre.

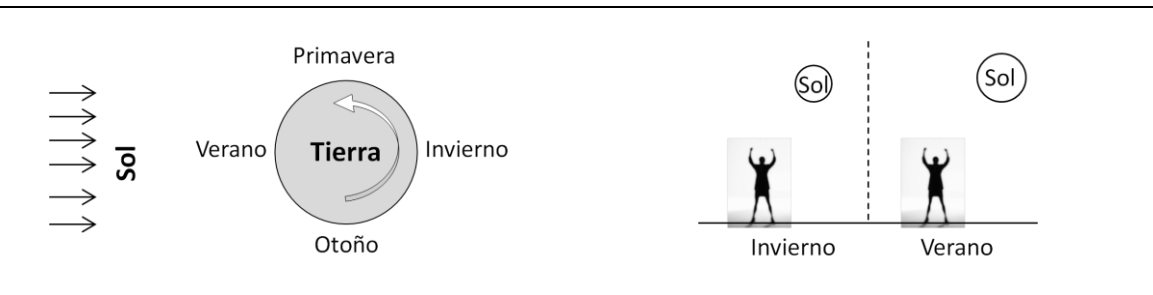
**Figura 4-6:** Esquemas que representan los modelos detectados en alumnos y docentes para explicar las estaciones del año a partir de la variación de la distancia al Sol (1ra. fila). En la 2da. fila se muestran dibujos realizados por docentes en actividad en investigaciones llevadas a cabo anteriormente.



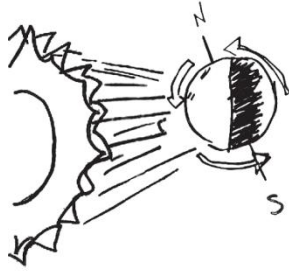
También se han detectado otros modelos que no están basados en explicar las estaciones a partir de variar la distancia Tierra - Sol (**Figura 4-7**):

- d) Modelo de rotación: la rotación de la Tierra provoca las estaciones del año (se confunde día y noche con estaciones). En la cara que da hacia el Sol es verano, mientras que en la opuesta es invierno.
- e) Modelo de calentamiento y enfriamiento solar: explica los cambios estacionales a partir de modificaciones en la cantidad de energía que irradia el Sol.

**Figura 4-7:** Esquemas que representan los modelos detectados en investigaciones anteriores que explican las estaciones del año sin recurrir a variar la distancia Tierra - Sol (1ra. fila). En la 2da. fila se muestran dibujos realizados por docentes en actividad en investigaciones llevadas a cabo anteriormente.







Fernández Nistal y  
Peña Boone (2007)

Sin figura

**d) Modelo de rotación**

**e) Modelo de calentamiento  
y enfriamiento solar**

La **Tabla 4-3** sintetiza los trabajos de investigación sobre las concepciones que poseen alumnos de distintas edades y docentes acerca de las causas de las estaciones del año a partir de ampliar las revisiones de la literatura llevadas a cabo por Navarrete, Azcárate y Oliva (2004), Vega Navarro (2007) y Sneider, Bar y Kavanagh (2011). A su vez, se señalan algunas de las conclusiones obtenidas en ellos.

**Tabla 4-3:** Concepciones sobre las estaciones del año detectadas en alumnos y docentes. Síntesis de resultados obtenidos en investigaciones anteriores.

<b>Las estaciones del año</b>		
<b>Referencia</b>	<b>Muestra</b>	<b>Algunas concepciones detectadas y conclusiones</b>
Baxter (1989)	100 alumnos Nivel primario y Nivel medio (9 - 16 años) Inglaterra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los planetas fríos toman calor del Sol.</li> <li>- Nubes densas bloquean el Sol en invierno.</li> <li>- El Sol se aleja de la Tierra en invierno (noción mayoritaria en todas las edades).</li> <li>- El Sol se va a otro lado de la Tierra en invierno.</li> <li>- Los cambios en las plantas provocan las estaciones.</li> <li>- La inclinación del eje provoca que distintas partes de la Tierra se encuentren a diferente distancia del Sol.</li> </ul>
Schnepps y Sadler (1989)	Graduados universitarios (21 - 23 años) Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La mayoría de los graduados de Harvard fallan al explicar las estaciones del año: sostienen que se debe a la distancia variable entre la Tierra y el Sol.</li> </ul>
Ojala (1992)	87 futuros docentes Escandinavia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelos varios de variación de la inclinación de los rayos solares (51,5%).</li> <li>- Modelos teleológicos o finalistas (25,3%).</li> <li>- Modelo de distancia variable por inclinación del eje: esta inclinación provoca que la distancia Tierra - Sol cambie según el lugar en que la persona se encuentre (8,0%).</li> <li>- Modelo de distancia por excentricidad de la órbita: nuestro planeta se traslada en una órbita elíptica de gran excentricidad, lo que provoca que cambie la distancia entre la Tierra y el Sol (4,6%).</li> <li>- Modelo de distancia variable por curvatura terrestre: la forma de la Tierra causa que algunos puntos queden más cerca del Sol y otros más lejos (3,4%).</li> </ul>

Schoon (1992)	1213 alumnos Nivel primario, Nivel medio y Nivel superior Estados Unidos	<p>Concepciones más ampliamente detectadas en todos los niveles educativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A las 12 del mediodía el Sol está verticalmente encima nuestro (82,4%).</li> <li>- La Tierra está más cerca del Sol en verano y más lejos en invierno (77,6%).</li> <li>- El Sol se pone por el oeste en mayo, junio y julio (58%).</li> <li>- En cada día de verano la cantidad de luz diurna es mayor que la del día anterior (32,4%).</li> </ul>
Camino (1995)	85 maestros Argentina	<p>Modelos para explicar estaciones antes de un curso de capacitación para docentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- No sabe o no contesta (53%).</li> <li>- Modelo de distancia variable por excentricidad de la órbita (35%).</li> <li>- Modelo científico: la Tierra se traslada en una órbita elíptica de baja excentricidad manteniendo la inclinación constante de su eje (7%).</li> <li>- Modelo distancia variable por inclinación del eje (4%).</li> </ul>
De Manuel (1995)	904 alumnos Nivel primario y secundario y 50 futuros docentes (12 -18 años) España	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo de distancia por excentricidad de la órbita (71,6% alumnos, 60% futuros docentes).</li> <li>- Modelo científicamente aceptable (10,6% alumnos, 22,0% futuros docentes).</li> <li>- Modelo de rotación: es verano en la parte de la Tierra que apunta al Sol (7,2% alumnos, 8% fut. docentes)</li> <li>- Otros modelos: teleológico, hemisferio sur es siempre más cálido, etc (10,6% alumnos y 10% fut. docentes).</li> </ul>
Schoon (1995)	122 futuros docentes Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El verano es más caluroso porque la Tierra está más cerca del Sol (82,8%). Dado que la mayoría del alumnado posee esta misma idea intuitiva, es posible que ésta sea enseñada y/o reforzada por los propios docentes.</li> </ul>
Atwood y Atwood (1996)	49 futuros docentes Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La gran mayoría posee concepciones alternativas acerca de la causa de las estaciones (86%).</li> <li>- Modelo de distancia por excentricidad de la órbita: nuestro planeta se traslada en una órbita elíptica de gran excentricidad, lo que provoca que cambie la distancia entre la Tierra y el Sol (37%).</li> <li>- Modelo científico (2%).</li> </ul>
Sharp (1996)	Alumnos (10 - 11 años) Inglaterra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo de distancia variable por excentricidad de la órbita: la Tierra se acerca y se aleja del Sol alternativamente.</li> <li>- Modelo de rotación: se confunde día/noche con estaciones. La parte de la Tierra que mira hacia el Sol está en verano y la opuesta en invierno.</li> <li>- Modelo de calentamiento y enfriamiento solar: el Sol varía la cantidad de calor que irradia.</li> </ul>
DeLaughter et al. (1998)	149 futuros docentes Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo de distancia variable: los cambios estacionales se deben a cambios en la distancia entre el Sol y la Tierra (25%).</li> </ul>
Parker y Heywood (1998)	89 docentes Inglaterra	<p>Sólo 11 docentes pudieron proporcionar una explicación científica del fenómeno luego de completar un programa de instrucción sobre enseñanza de la Astronomía. Respuestas mayoritarias (76,5%):</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo de distancia por excentricidad de la órbita: nuestro planeta se traslada en una órbita elíptica de gran excentricidad, lo que provoca que cambie la distancia entre la Tierra y el Sol.</li> <li>- Modelo de distancia variable por inclinación del eje: esta inclinación provoca que la distancia Tierra - Sol cambie según el lugar en que la persona se encuentre.</li> </ul>
Kikas (1997)	252 alumnos (3ro., 5to., 7mo. y 9no. grado) Estonia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En 3º grado, la gran mayoría de los alumnos da respuestas descriptivas sobre estaciones del año (93%). Muy pocas respuestas escolares (2%).</li> <li>- En 5to. grado, la mayor parte de las respuestas son escolares (59%). Son menos frecuentes las de sentido común (25%). La diferencia entre 3º y 5º es significativa.</li> <li>- En 7mo. grado, se reduce la proporción de respuestas escolares (31%) y crecen las de "sentido común" (48%).</li> <li>- En 9no. grado, la proporción de respuestas escolares (47%) es mayor que las de sentido común (35%).</li> <li>- Los varones dieron más respuestas escolares que las mujeres (salvo en 5to. grado).</li> </ul>
Trumper (2001)	2087 alumnos: 826 nivel medio y 1261 nivel universitario Israel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es verano porque la Tierra se acerca al Sol: 40% alumnos de secundaria, 37% futuros docentes primaria, 32% futuros docentes secundaria y 32% estudiantes universitarios carreras no científicas.</li> <li>- Sol siempre arriba de nuestras cabezas al mediodía: 36% alumnos de secundaria, 48% futuros docentes de primaria, 44% futuros docentes secundaria y 42% de estudiantes universitarios carreras no científicas.</li> </ul>
Navarrete (2003)	50 futuros maestros España	<p>Nuevos modelos no detectados en otros trabajos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo "manguera": cuando la Tierra está lejos del Sol los rayos se concentran más en ella, por lo cual es verano.</li> <li>- Modelo "linterna": es verano cuando la Tierra está lejos porque los rayos del Sol se dispersan en una superficie mayor y eso hace que calienten más.</li> </ul>
Kikas (2003) (2004)	132 estudiantes universitarios 198 maestros Estonia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La forma de la órbita de la Tierra, que la acerca y la aleja del Sol, es la que provoca las estaciones: 56% de docentes y 72% de los estudiantes.</li> <li>- La inclinación del eje terrestre hace que, en verano, Estonia se encuentre más cerca del Ecuador.</li> <li>- Se confirma que ni chicos ni adultos comprenden un concepto con simplemente memorizar la explicación.</li> </ul>
Salierno, Edelson, y Sherin (2005)	3 alumnos 5to. grado Estados Unidos	<p>Antes y después de un proceso de instrucción:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alumno 1: las zonas más cálidas de la Tierra se deben a rayos procedentes de zonas más calientes del Sol. Luego sostuvo que los rayos del Sol pueden curvarse para llegar hasta Alaska con menos intensidad.</li> <li>- Alumno 2: en el lado que da hacia el Sol es verano. Luego cambió diciendo que en verano la Tierra está más cerca del Sol.</li> <li>- Alumno 3: los gases del Ecuador atrapan calor. Luego cambió diciendo que en el Ecuador la luz solar es más directa y que en la cara que da hacia el Sol es verano.</li> </ul>

Danaia y McKinnon (2007)	1920 alumnos (7mo., 8vo. y 9no. año) Australia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pese a que estaciones es un tema que se enseña en 3er. y 4to. grado, una gran proporción de estudiantes no puede brindar una explicación o mantiene concepciones alternativas varios años después.</li> <li>- No responde (55,0% en 7mo., 42,8% en 8vo. y 44,2% en 9no. grado).</li> <li>- Distancia variable Tierra - Sol (28,1%, 33,5% y 28,2%).</li> <li>- Respuesta correcta (1,0%, 4,8% y 6,3%).</li> </ul>
Fernández Nistal y Peña Boone (2007)	80 maestros España	<p>Concepciones de las estaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Distancia variable entre el Sol y la Tierra (48,8%).</li> <li>- Diferente distancia entre el Sol y distintas zonas geográficas de la Tierra (32,5%).</li> <li>- Inclinación del eje de la Tierra en su órbita alrededor del Sol (8,8%).</li> </ul>
Plummer (2008)	60 alumnos (1ro., 3ro. y 8vo. grado) Estados Unidos	<p>Comparó el conocimiento de los estudiantes acerca de los movimientos del Sol, la Luna y las estrellas en el cielo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Los estudiantes de todos los grados poseían creencias ingenuas sobre el movimiento aparente del Sol.</li> <li>- No hubo diferencias significativas entre los estudiantes de tercer grado y los de octavo en relación a la comprensión de los cambios en la altura y en la trayectoria del Sol a lo largo del año y en su relación con las estaciones.</li> </ul>
Gangui, Iglesias y Quinteros (2010)	51 futuros docentes Argentina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variación de la distancia al Sol debido a la traslación de la Tierra (40,7%).</li> <li>- Movimientos de la Tierra (17,3%).</li> <li>- Razones climáticas (9,9%).</li> <li>- Traslación de la Tierra e inclinación del eje (3,7%).</li> <li>- No responde (11,1%).</li> </ul>

En función de estas investigaciones, y de muchas otras no mencionadas aquí, es posible concluir que el fenómeno de las estaciones del año no es comprendido adecuadamente por la gran mayoría de los alumnos de nivel medio y primario, y por una gran proporción de los docentes. Pese a que es un fenómeno que es desarrollado en las escuelas primarias, incluso en distintos años, parece no ser sencillo lograr su comprensión ni siquiera a partir del desarrollo de propuestas de instrucción constructivistas con fuerte presencia de trabajo cognitivo por parte de los estudiantes.

Al respecto, no es sencillo relacionar la inclinación del eje de rotación terrestre con la cantidad de radiación recibida por unidad de superficie y con su variación a lo largo del año. Esta explicación requiere que el estudiante se posicione imaginariamente fuera de la Tierra y que imagine su desplazamiento alrededor del Sol mientras, al mismo tiempo, analiza las consecuencias que esto provoca en la altura y en la trayectoria que sigue el Sol en el cielo visto desde un punto determinado de la superficie terrestre. La utilización de simulaciones puede facilitar la comprensión de este modelo explicativo, aunque a la vez puede generar nuevas representaciones inadecuadas si el alumno aplica literalmente algunos aspectos de la simulación, como la escala, a la realidad (De Manuel, 1995). En esta línea, el tratamiento de aspectos conceptuales avanzados por medio de simulaciones debería ser posterior al aprendizaje de conceptos referentes a la Tierra como cuerpo cósmico, tales como tamaño, forma, inclinación del eje, etc, que a veces no son comprendidos adecuadamente incluso por estudiantes de los últimos años de la escuela primaria (Nussbaum, 1979).

Los estudios indican que los niños pequeños tienden a asociar invierno con hielo y nieve y no comienzan a considerar mecanismos causales de los cambios estacionales hasta los años superiores de la escuela primaria. Como se ha visto, la concepción alternativa más común tanto en alumnos como en docentes es que hace más calor en verano que en invierno porque la órbita de la Tierra es muy elíptica, causando que la Tierra se acerque o se aleje del Sol a lo largo del año.

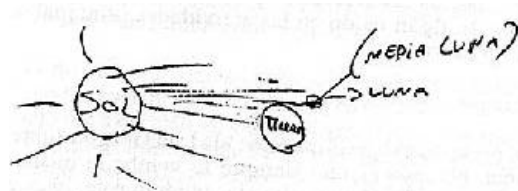
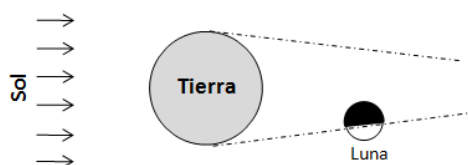
Otra explicación detectada está asociada con el hecho de que los niños aprenden en la escuela acerca de la relevancia de la inclinación del eje de la Tierra para explicar las estaciones y que esta información intentan integrarla con sus propias teorías y creencias con el fin de elaborar un nuevo modelo explicativo. Por ejemplo, algunos estudiantes y docentes sostienen que la inclinación del eje trae como consecuencia que un hemisferio se encuentre más cerca del Sol que el otro. En cambio, otros estudiantes sostienen que el eje de la Tierra cambia su orientación en el espacio durante el año y que este cambio en la inclinación causa las estaciones.

Aunque cada una de estas concepciones alternativas puede considerarse un paso adelante en el camino hacia la explicación científica, los estudiantes rara vez tienen la oportunidad de estudiar de nuevo este tema en los niveles educativos posteriores a la escuela primaria, lo que trae como consecuencia que puedan graduarse de una universidad, y posiblemente convertirse en docentes, sin una comprensión adecuada del fenómeno de las estaciones del año (Sneider, Bar y Kavanagh, 2011).

#### 4.2.5. Las fases de la Luna

A continuación se detallan algunos de los trabajos de investigación acerca de las concepciones que poseen alumnos y docentes sobre las fases de la Luna. En una gran mayoría, los trabajos han detectado como predominante el "modelo de eclipse", que sostiene que las fases lunares se deben a que la Tierra proyecta sombra sobre la Luna (**Figura 4-8**).

**Figura 4-8:** Esquema que representa el modelo de eclipse, ampliamente detectado en alumnos y docentes para explicar las fases de la Luna. A la derecha, un dibujo realizado por un docente en actividad como parte de una investigación anterior.



Camino (1995)

#### **Modelo de eclipse**

La **Tabla 4-4** sintetiza los trabajos de investigación sobre las concepciones que poseen alumnos de distintas edades y docentes acerca de las fases de la Luna. A su vez, se señalan algunas de las conclusiones obtenidas en ellos.

**Tabla 4-4:** Concepciones sobre las fases lunares detectadas en alumnos y docentes. Síntesis de resultados obtenidos en investigaciones anteriores.

<b>Fases de la Luna</b>		
<b>Referencia</b>	<b>Muestra</b>	<b>Algunas concepciones detectadas y conclusiones</b>
Cohen (1982)	50 maestros Estados Unidos	– Una muy pequeña parte del profesorado es capaz de explicar satisfactoriamente las fases lunares (12%).
Targan (1988)	61 estudiantes Universitarios Estados Unidos	– Sin modelo explicativo (37%). – Modelos explicativos fragmentados (22%). – Modelo de eclipse (13%). – Explicación correcta (2%).
Baxter (1989)	100 alumnos Nivel primario y secundario (9 - 16 años) Inglaterra	Se identificaron 5 nociones más frecuentes para explicar las fases lunares: – Nubes cubren una parte de la Luna. – Planetas proyectan sombra sobre la Luna. – La sombra del Sol cae sobre la Luna. – Modelo de eclipse: la sombra de la Tierra cae sobre la Luna (noción detectada en mayor proporción). – Porción visible desde la Tierra de la cara iluminada de la Luna (punto de vista científico).
Sadler (1992)	1414 alumnos Nivel secundario Estados Unidos	– Modelo de eclipse: la sombra de la Tierra cae sobre la Luna (41%). – La sombra del Sol cae sobre la Luna (27%).
Schoon (1992)	1213 alumnos Niveles primario, secundario y superior Estados Unidos	– Modelo de eclipse: la sombra de la Tierra cae sobre la Luna (48% en primaria). – El modelo de eclipse crece con la edad: se manifiesta en mayor proporción en secundaria (casi 70%). – La Luna orbita a la Tierra en 1 día (36%). – La Luna orbita a la Tierra en 1 año (20%).
Bisard et al. (1994)	708 estudiantes Nivel medio y universitario	– Respuesta correcta: las fases de la Luna se deben a la luz solar reflejada por la Luna (39,2%). – Explicación de eclipse: la sombra de la Tierra proyectada sobre la Luna provoca las fases (37,6%). – Ángulo variable de la luz del Sol sobre la Tierra (18,8%). – Nubes que tapan la Luna (4,4%).
Skam (1994)	81 futuros docentes Australia	Frase: "La sombra de la Tierra provoca las fases lunares". – 59,3% está en desacuerdo con la frase, aunque esto no quiere decir que comprendan la causa de las fases. – Del grupo anterior, un 35,8% pudo dar una explicación adecuada acerca del fenómeno y un 42% dio una explicación parcialmente correcta.
Camino (1995)	85 maestros Argentina	Modelos para explicar fases de la Luna antes de un curso de capacitación para docentes: – No sabe o no contesta (88%). – Modelo científico: la Luna iluminada por el Sol orbita a la Tierra, variando cómo se la ve desde la Tierra (8%). – Modelo de eclipse: la sombra de la Tierra proyectada sobre la Luna provoca las fases (4%).
Schoon (1995)	122 futuros docentes	– Algo (generalmente la Tierra) se interpone en el camino de la Luna (62,3%).

	Estados Unidos	– Explicación científica (18%).
Sharp (1996)	Alumnos 11 años Inglaterra	– La explicación "científica" es mayoritaria. La proporción es aún mayor que en futuros docentes. Puede deberse a llamar "explicación científica" a aquella en que los alumnos atribuyen las fases al movimiento de la Luna alrededor de la Tierra, sin quedar claro que comprendan claramente la causa del fenómeno. – Las nubes oscurecen una parte de la Luna. – Explicación de eclipse: casi no aparece.
Schoon y Boone (1998)	110 futuros docentes Estados Unidos	– Algo (generalmente la Tierra) se interpone en el camino de la Luna (67%).
Stahly, Krockover Shepardson (1999)	4 alumnos 3º grado Estados Unidos	– Ideas divergentes en vez de concepciones científicas: nubes cubriendo la Luna, fases que dependen de la posición del observador o que pueden observarse en cualquier momento (no dependen de las posiciones relativas de los astros).
Kallery y Silos (2001)	Futuros docentes	– Explicaciones no científicas (60%): predomina la idea de fases como consecuencia de la sombra de la Tierra.
Trumper (2001)	2087 alumnos: 826 nivel medio y 1261 nivel universitario Israel	– Desde la escuela secundaria hasta la universidad los estudiantes mantienen concepciones erróneas acerca de las fases de la luna. – Concepción alternativa más común (sombra de la Tierra sobre la Luna): 22,6% alumnos secundaria, 16% futuros docentes primaria, 25% futuros docentes secundaria y 29% estudiantes universitarios carreras no científicas.
Trundle, Atwood y Christopher (2002)	78 futuros docentes Estados Unidos	– Explicación científica (10%). – La sombra de la Tierra cae sobre la Luna (23%). – La rotación del eje terrestre provoca las fases (7,6%).
Danaia y McKinnon (2007)	1920 alumnos (7mo., 8vo. y 9no. año) Australia	– No responde (44,3% en 7mo., 33,7% en 8vo. y 38,4% en 9no. grado). – Sombra de la Tierra sobre la Luna (5,6%, 5,6% y 5,2%). – Nube tapa la Luna (4,8%, 2,6% y 2,6%). – Respuesta correcta (1,7%, 9,9% y 10,1%).
Bayraktar (2009)	154 futuros docentes (estudiantes de 3º año de universidad) Turquía	– Ideas científicas (54%): comprenden que la Luna orbita a la Tierra, que una mitad de la Luna siempre está iluminada por el Sol y que nosotros vemos toda o una parte de la mitad iluminada de la Luna debido a cambios en las posiciones relativas de estos 3 astros. – Explicación de eclipse: la sombra de la Tierra proyectada sobre la Luna produce las fases (26,6%). – La rotación de la Tierra produce las fases (5,2%). – Otras explicaciones (14,2%): nubes tapan parte de la Luna, cambios en la luz que recibe la Luna, distancia variable entre Luna - Tierra, sombras de planetas, etc.
Gangui, Iglesias y Quinteros (2010)	51 futuros docentes Argentina	– La opción más elegida fue la científicamente adecuada: "La Luna refleja la luz del Sol y vemos la zona que está iluminada". Sin embargo, más del 56% no pudo justificar su elección con un dibujo que la avalara. Los esquemas están vinculados a la "teoría del eclipse".

Dicovski et al. (2012)	48 futuros docentes Argentina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explicación desde posición externa a la Tierra (33%).</li> <li>- Explicación científicamente adecuada del fenómeno (12,5%).</li> <li>- Les resulta difícil hacer uso de una explicación de las fases de la Luna para dar respuesta a un caso concreto y percibido desde la Tierra (66%).</li> <li>- Teoría del eclipse para dar cuenta de por qué se produce la Luna nueva (51,67%).</li> </ul>
---------------------------	-------------------------------------	--

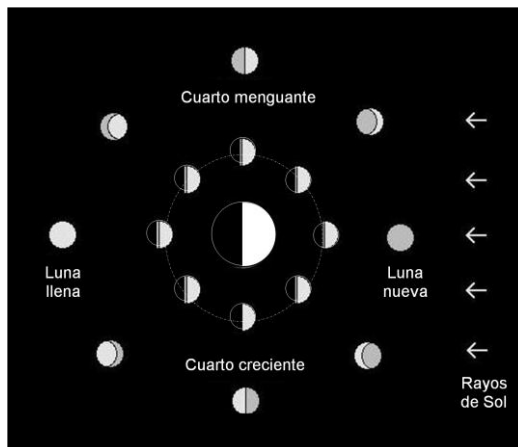
En función de estas investigaciones, es posible concluir que las fases de la Luna resulta ser un fenómeno comprendido por una proporción muy pequeña de estudiantes y de docentes. La explicación más común en todas las edades corresponde al "modelo de eclipse", que sostiene que las fases lunares se deben a la proyección de la sombra de la Tierra sobre la Luna, confundiendo este fenómeno con lo que sucede durante un eclipse de Luna. A su vez, una proporción importante de personas no logran elaborar una explicación acerca del fenómeno, explicando el mismo meramente a través de su aspecto descriptivo: dibujando las distintas formas que toma nuestro satélite a lo largo de una lunación.

Estas dificultades detectadas tanto en alumnos como en docentes están asociadas a diferentes aspectos relativos a la explicación de las fases que aparece en la mayoría de los libros y recursos audiovisuales, la cual requiere importantes habilidades espaciales para su comprensión: la Luna está siempre iluminada por la mitad por el Sol mientras gira alrededor de la Tierra; por lo tanto, dependiendo su posición, desde la Tierra vemos una fracción, toda o ninguna porción de su superficie iluminada por el Sol (**Figura 4-9**). Como se ve, esta explicación requiere determinados conocimientos anteriores y, al mismo tiempo, la superposición de dos puntos de vista diferentes, el externo a la Tierra con el visible desde su superficie:

*"Conceptualizar qué causa las fases lunares requiere un pensamiento muy complejo. En primer lugar, los alumnos deben saber los movimientos de rotación y revolución de la Luna y de la Tierra y sus posiciones relativas al Sol mientras se van moviendo. En segundo lugar, deben saber que la Luna está iluminada por el Sol y que sólo podemos ver la parte de la Luna que está iluminada por el Sol. Y que esa porción iluminada modifica su forma [vista desde la Tierra] en función de los cambios en la posición del sistema Tierra - Luna respecto al Sol. Para tener una buena comprensión de las causas de las fases lunares, los estudiantes deben sintetizar toda esta información, y estar capacitados para la construcción de una imagen tridimensional de este trío y sus movimientos relativos en sus mentes". (Bayraktar, 2009, p. 12)*



**Figura 4-9:** Esquema que explica las fases de la Luna tal como se observan en el cielo del hemisferio sur. La imagen combina dos sistemas de referencia distintos: uno externo a la Tierra donde se observa a la Luna iluminada por la mitad orbitando a la Tierra (las "lunas" más cercanas a la Tierra) y uno correspondiente a cómo se observa la Luna desde la superficie terrestre cuando se encuentra en cada posición (las "lunas" más alejadas, donde las zonas grises indican lo que no se ve). La escala no está respetada.



Como se ve en el esquema anterior, explicar de este modo las fases lunares implica que "uno tiene que cambiar de perspectiva, pasando al espacio exterior a partir de un punto de vista basado en la Tierra" (Subramaniam y Padalkar, 2009, p. 18). En este sentido, muchos alumnos y docentes no poseen la capacidad de poder trabajar desde una perspectiva distinta a la de un observador terrestre (Suzuki, 2003). A su vez, la construcción de un modelo mental adecuado sobre las causas del fenómeno requiere el desarrollo de cierta capacidad para apreciar la escala real del sistema Sol-Tierra-Luna (Fanetti, 2001) y un determinado nivel de razonamiento y habilidad espacial (Callison y Wright, 1993) ya que es necesario ver y trabajar en tres dimensiones (Camino, 2004):

*"Los hallazgos de este estudio indican que algunos de los estudiantes eran capaces de enriquecer su comprensión conceptual de las fases lunares. Sin embargo, tres de los participantes continuaron mostrando puntos de vista que eran científicamente incorrectos. Tal vez el tema de las fases lunares es demasiado complejo para los estudiantes de tercer grado, ya que estos tres estudiantes siguieron mostrando información inexacta." (Stahly, Krockover y Shepardson, 1999, p. 175).*

*"Comprender las fases de la Luna supone un alto nivel de abstracción, además de requerir una cierta habilidad para el trabajo empleando las tres dimensiones espaciales. También requiere de una serie de conocimientos anteriores, que se tornan fundamentales a la hora de resolver las situaciones que involucran al sistema STL". (Dikovskiy et al., 2012, p. 227)*

Pese a las enormes dificultades detectadas para comprender el fenómeno de las fases lunares, en esta revisión no se han detectado trabajos que pongan la mirada en intentar explicar este fenómeno únicamente desde un sistema de referencia centrado en la superficie terrestre, sin necesidad de tener que trabajar simultáneamente desde dos puntos de vista.

#### 4.2.6. Conclusiones de la revisión sobre concepciones

Como ha quedado en evidencia, las ideas presentes en alumnos de todas las edades y en docentes sobre la forma de la Tierra y sobre las causas del día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares distan de estar cercanas al conocimiento científicamente aceptado. En particular, los últimos dos fenómenos mencionados son comprendidos por muy pocos estudiantes y por una muy baja proporción de docentes:

*"Los resultados de nuestra investigación... son bien desalentadores en la medida en que una tercera parte de los profesores sostienen que la Luna no tiene movimiento y que casi la mitad no son capaces de explicar correctamente algo tan diario –nunca mejor dicho– como el ciclo día-noche" (Vega Navarro, 2001, p. 40).*

*"...la mayoría de los alumnos suelen acabar los estudios de primaria sin siquiera saber dibujar correctamente la trayectoria diaria del Sol en el cielo o haber constatado una variación en la elevación del Sol a lo largo del año... la investigación realizada apoya la necesidad de replantear la enseñanza en primaria priorizando los contenidos descriptivos y observacionales, lo que posibilitaría un aprendizaje cimentado (en la percepción) de las teorías explicativas en etapas posteriores" (Navarro Pastor, 2011, p. 171).*

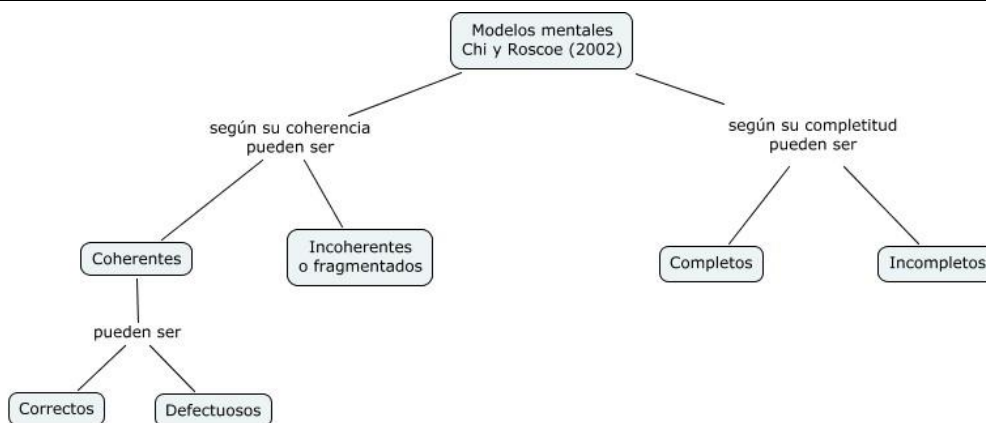
Esta conclusión ha sido obtenida a partir de los distintos trabajos de investigación llevados a cabo a lo largo de los últimos 20 años, los cuales han permitido elaborar un listado exhaustivo de los modelos mentales que poseen estudiantes y docentes en relación a los fenómenos astronómicos cotidianos, haciendo posible su identificación y categorización. Al respecto, Chi y Roscoe (2002) definieron el concepto de modelo mental como una representación del conocimiento que se caracteriza por ser un conjunto interrelacionado de proposiciones insertas dentro de una estructura. A su vez, clasificaron estos modelos según su coherencia y completitud (**Figura 4-10**). En relación con la coherencia, los autores sostienen la existencia de dos tipos de modelos mentales:

- a) Modelos "coherentes": donde las proposiciones están interconectadas sistemáticamente, por lo que pueden ser utilizados para generar explicaciones, realizar predicciones y responder preguntas de una forma consistente y sistemática. Estos modelos pueden ser "correctos" o "defectuosos". En este último caso, la estructura coherente está organizada alrededor de ciertas creencias o principios que son incorrectos. Sin embargo, los estudiantes que poseen modelos mentales "defectuosos" son capaces de responder preguntas de un modo adecuado y consistente ya que comparten un cierto número de proposiciones con un modelo mental correcto, aunque éstas se encuentran interconectadas de acuerdo a principios organizativos incorrectos.
- b) Modelos "incoherentes" (o "fragmentados"): las proposiciones no se encuentran interconectadas de un modo sistemático. En consecuencia, no pueden ser usados para dar explicaciones previsibles y consistentes.

En relación con la completitud, los autores clasificaron los modelos mentales en:

- a) Modelos "completos": poseen la mayoría de las proposiciones que son claves.
- b) Modelos "incompletos": poseen varias piezas faltantes.

**Figura 4.10:** Categorización de los modelos mentales realizada por Chi y Roscoe (2002). En base a un esquema presente en Ogan-Bekiroglu (2007).



En consecuencia, "los estudiantes pueden poseer un modelo mental muy completo pero defectuoso, o un modelo mental básicamente correcto, pero disperso en detalles" (Chi y Roscoe, 2002, p. 8).

En función de esta categorización, los autores definen al cambio conceptual como el proceso de reparación de concepciones erróneas o de reasignación o desplazamiento de un concepto erróneamente categorizado desde una categoría ontológica de un modelo mental incompleto o defectuoso a otra categoría ontológica de un modelo mental correcto.

En la **Tabla 4-5** se brindan algunos ejemplos de los distintos tipos de modelos mentales propuestos por Chi y Roscoe (2002) a partir de respuestas dadas por futuros docentes de Física en relación a los fenómenos astronómicos relacionados con la Luna.

**Tabla 4-5:** Tipos de modelos mentales identificados en un trabajo de investigación sobre los fenómenos lunares realizado por Ogan-Bekiroglu (2007).

Tipo de modelo	Fenómeno	Respuesta y razonamiento (o justificación)
<b>Correcto</b> la respuesta y el razonamiento son consistentes con la perspectiva científicamente aceptada	Salida y puesta de la Luna	La Luna sale por el horizonte oriental y se pone por el horizonte occidental porque la Tierra gira en sentido contrario en aprox. 24 hs.
	Cara de la Luna visible desde la Tierra	Siempre vemos la misma cara de la Luna porque la rotación y la revolución de la Luna duran lo mismo.
<b>Completo y defectuoso</b> la respuesta es correcta pero el razonamiento no es consistente con la perspectiva científicamente aceptada	Salida y puesta de la Luna	La Luna sale por el horizonte oriental y se pone por el horizonte occidental porque la Luna orbita a la Tierra en 24 hs.
	Cara de la Luna visible desde la Tierra	Siempre vemos la misma cara de la Luna porque la Luna no rota.
<b>Defectuoso</b> la respuesta no es	Salida y puesta de la Luna	La Luna no sale ni se pone ya que siempre está en el mismo lugar del cielo.

consistente con la perspectiva científicamente aceptada	Cara de la Luna visible desde la Tierra	Siempre vemos la misma cara de la Luna desde el mismo punto de la Tierra porque la Tierra y la Luna rotan a la misma velocidad.
<b>Incoherente</b> Sea cual sea la respuesta dada, no se explica el razonamiento o está poco claro	Salida y puesta de la Luna	La Luna sale pero no se pone.
<b>Correcto e incompleto</b> la respuesta incluye terminología científica correcta pero la explicación es insuficiente	Mareas	Las mareas ocurren por la fuerza gravitacional de la Luna.

Por otro lado, pese al enorme desarrollo del constructo "modelos mentales", y a su utilización sistemática en una gran cantidad de trabajos de investigación, existe una controversia vigente sobre si las concepciones acerca de los fenómenos naturales detectadas en niños pequeños constituyen o no modelos mentales coherentes o si, por el contrario, su conocimiento está formado principalmente por hechos vagamente relacionados. En este sentido, los resultados hallados por Hannust y Kikas (2007) no apoyan la idea de que la mayoría de los niños construyen modelos. Según estas autoras, los niños de entre 5 y 7 años de edad poseen un conocimiento sobre la forma de la Tierra y la gravedad compuesto esencialmente de hechos sin relación estricta, muchas veces memorizados, independientes entre sí y relacionados con distintas teorías que pueden ser incompatibles unas con otras. A su vez, destacan como muy poco habitual la aparición de modelos sintéticos coherentes (Vosniadou, 1992, 1994), donde los hechos están fuertemente conectados, incluso después de un proceso de instrucción.

Algunas de estas importantes diferencias entre ambas posturas pueden tener su origen en problemas metodológicos vinculados a la realización de entrevistas personales con niños pequeños, quienes se ven obligados a responder a preguntas del investigador que implican un cierto modelo de razonamiento, o a la elaboración de conclusiones a partir de los dibujos de los niños, los cuales suelen ser simplificaciones, o incluso copias, debido a las dificultades que tienen para realizar figuras en tres dimensiones. A su vez, otro problema metodológico detectado ha sido la modificación de los modelos mentales propuestos previamente por los investigadores en función de las respuestas incoherentes surgidas en los niños, descontando la posibilidad de que estas inconsistencias puedan deberse a la presencia de conocimiento fragmentado (ibíd., p. 90).

Al respecto, Nobes et al. (2005) criticaron la metodología de realizar preguntas abiertas a los niños solicitándoles que dibujen o hagan representaciones, por lo que repitieron la investigación de Vosniadou y Brewer (1992) presentándoles fotografías a los niños con distintas formas de la Tierra. Encontraron que incluso los niños pequeños mostraron conocimiento científico sobre la forma de la Tierra y obtuvieron poca evidencia de la presencia de modelos mentales iniciales o ingenuos. Por el contrario, el conocimiento de los niños antes de adquirir el conocimiento científico parece ser incoherente y fragmentado.

Estas dos líneas metodológicas y sus respectivas conclusiones conducen a distintas recomendaciones para la enseñanza de la astronomía y de las ciencias en general. Si

los niños poseen modelos mentales iniciales basados en creencias y presuposiciones fuertemente arraigadas vinculadas a sus experiencias con el entorno cercano, el rol del docente será el de desafiar estas intuiciones y ayudar a los niños a construir gradualmente el modelo científico. De este modo, la enseñanza de las ciencias consistirá en un proceso de sustitución de conceptos erróneos estables y resistentes por teorías científicas actualmente aceptadas.

Por el contrario, si los niños aprenden en mayor medida a partir de información de los adultos, de los libros y de otras fuentes culturales, más que de sus propias intuiciones y observaciones directas, será posible lograr que adquieran cierta comprensión sencilla de los fenómenos astronómicos desde edades tempranas. En consecuencia, la adquisición de conocimiento en la ciencia será un proceso que aumenta la sistematicidad de piezas de conocimiento que inicialmente se encuentran fragmentadas.

En ambas líneas de investigación queda claro que los niños construyen su conocimiento del mundo sobre la base de dos fuentes de información: las observaciones del entorno, por un lado, y las explicaciones dadas por otras personas en base a lo culturalmente aceptado, por el otro (Vosniadou, 2002; Kikas, 2003). La controversia está centrada en cuánto influye cada una de estas fuentes de información en el modo en que los niños representan internamente el mundo en el que viven y en cómo organizan esta información recibida.

En respuesta a las críticas recibidas, Vosniadou et al. (2005) cambiaron su esquema de entrevista incorporando modelos de plastilina para representar la Tierra además de dibujos, encontrando modelos no científicos consistentes similares a los hallados anteriormente. En consecuencia, sostuvieron sus ideas respecto a que el aprendizaje sobre los fenómenos físicos y astronómicos se produce de manera informal en la vida diaria, mucho antes que en la instrucción formal. Por lo tanto, el conocimiento previo de los niños difiere radicalmente de lo que se enseña en la escuela, haciendo que tiendan a reinterpretar la nueva información de acuerdo con sus modelos preliminares y a formar nuevos modelos sintéticos en lugar de los científicos. Por ese motivo, el proceso de instrucción debe ser planificado para poder dedicar tiempo a cuestionar las creencias inadecuadas, a discutir los modelos anteriores y a presentar y utilizar los conceptos y modelos nuevos de modo tal que sean entendibles y que sean vistos como útiles (Brewer et al., 2000).

Más allá de la controversia mencionada anteriormente, los resultados de las investigaciones muestran que comprender las causas de los fenómenos astronómicos cotidianos no resulta nada sencillo desde un punto de vista externo a la Tierra. Por un lado, los mismos exigen que los estudiantes posean ciertos requisitos previos, como comprender la forma de la Tierra y el concepto de gravedad. Por otro lado, requiere entender determinados aspectos del comportamiento de la luz, como la relación entre el ángulo de incidencia y la energía recibida por unidad de superficie para poder explicar las estaciones. A su vez, implica ser capaz de relacionar los movimientos en el espacio con lo que se observa desde un punto de la superficie terrestre, como la trayectoria cambiante del Sol en el cielo, lo cual requiere el desarrollo de determinadas habilidades de razonamiento espacial. Por último, esta relación entre ambos puntos de vista se encuentra presente en muy pocos materiales de instrucción utilizados en las escuelas. (Gil Quílez y Martínez Peña, 2005; Salierno et al., 2005; Sneider et al., 2011).

Algunos autores sostienen que la conciliación entre el punto de vista externo a la Tierra y el correspondiente a lo que se observa desde la superficie terrestre debe comenzar en los últimos años de la escuela primaria, especialmente en relación al ciclo día/noche que

es relativamente sencillo de comprender. Sin embargo, el fenómeno de las estaciones del año también debería ser desarrollado en la escuela primaria:

*"A pesar de estas dificultades, y en cierto modo debido a ellas, la enseñanza del concepto de las estaciones debe permanecer en la lista de lo que todos los estudiantes deben aprender para estar científicamente alfabetizados. Esto es porque el esfuerzo mental implicado en la comprensión de la explicación científica de los cambios estacionales puede ayudar a los estudiantes a fusionar su punto de vista local, centrado en el planeta Tierra, con la concepción moderna de la Tierra en el espacio junto con los otros planetas, estrellas y galaxias. Una vez que los estudiantes entienden este concepto, el mismo puede servir como un constructo unificador para sintetizar otras ideas importantes dentro de las ciencias físicas y del espacio" (Sneider et al., 2011, p. 19).*

Respecto a la complejidad que posee la comprensión de las estaciones y de las fases lunares, Baxter (1989) detectó que los niños pequeños utilizan objetos cercanos y familiares para explicar los eventos astronómicos. Posteriormente, estas ideas son reemplazadas por nociones que incluyen el movimiento de los astros hacia arriba y hacia abajo o a través del cielo. Luego, los niños abrazan la idea de un movimiento orbital. Todo este recorrido, que demanda varios años, indica la complejidad de una tarea que está pensada en los materiales curriculares como si fuera extremadamente sencilla (Baxter, 1989):

*"Por lo tanto, mientras los niños pequeños son animados a observar cómo ocurren algunos de los fenómenos astronómicos, se reconoce que la construcción de un punto de vista heliocéntrico implica un número complejo de factores y no parece apropiado esperar una comprensión de dicha noción antes de la adolescencia temprana. En efecto, parece importante reconocer que los alumnos pueden construir nociones intermedias antes de moverse a un punto de vista heliocéntrico" (Baxter, 1989, p. 511).*

La complejidad del punto de vista heliocéntrico para explicar los fenómenos astronómicos cotidianos queda en evidencia en función de que la mayoría de los estudiantes de 7mo. grado entrevistados en las investigaciones analizadas no fue capaz de proporcionar una explicación científicamente adecuada sobre las causas de día y noche, las fases lunares y las estaciones, conceptos que se supone que son tratados en la escuela primaria. A su vez, los trabajos mostraron que existen pocos progresos en la escuela secundaria, detectándose una gran incidencia de las concepciones alternativas. En este sentido, parece ser que la enseñanza de la astronomía a la que los estudiantes están expuestos tiene muy poco impacto en sus concepciones (Danaia y McKinnon, 2007).

En sintonía con lo anterior, algunos educadores han cuestionado lo apropiado de enseñar los movimientos de los astros en el espacio y de su relación con lo que se observa en el cielo terrestre a alumnos de los primeros años de nivel primario dado que es un tema muy complejo para estudiantes que no están preparados académicamente ni desarrollados mentalmente:

*"El similar tamaño del Sol y la Luna en el cielo genera dificultades para imaginar los tamaños relativos del Sol, la Luna y la Tierra... Antes de comprender la forma y el tamaño de la Tierra, los niños deben aprender a ver objetos en 3 dimensiones desde múltiples perspectivas" (Bryce y Blown, 2013, p. 434).*

*"Aprender a explicar el fenómeno del movimiento celeste requiere más que entender cómo se mueven los cuerpos en el espacio. Por ejemplo, los chicos pueden entender que la Tierra rota sin usar esto para explicar el ciclo día/noche (Plummer et al., 2011) y pueden ser capaces de describir cómo la Luna orbita la Tierra sin ser capaces de explicar las fases lunares (Subramian y Padalkar, 2009)". (Plummer et al., 2014, p. 1084)*

*"Para construir las explicaciones científicas alrededor del movimiento celeste es central la habilidad de seguir y recordar las posiciones y movimientos de los objetos en tres dimensiones. Por ejemplo, comprender el movimiento aparente de las estrellas implica visualizar las observaciones desde la Tierra de las estrellas saliendo y poniéndose, un movimiento que ocurre en la superficie 3D del cielo. Nuestro cambio de perspectiva explica esto como nuestra rotación alrededor del eje terrestre. Este nivel de explicación implica aspectos desafiantes de pensamiento espacial, como rotación mental y visualización espacial (Mathewson, 1999). La rotación mental implica girar objetos en la mente de uno con rapidez y precisión (Linn y Petersen, 1985). La visualización espacial incluye la capacidad de interpretar la información 3D a partir de las representaciones en 2D, imaginar objetos desde diferentes perspectivas, y visualizar la forma en que la rotación puede cambiar la apariencia de los objetos (Barnea y Dori, 1999). La habilidad espacial ha sido identificada como un factor que explica las diferencias de comprensión sobre astronomía en los estudiantes (por ejemplo, Negro, 2005; Heyer, 2012; Wilhelm, 2009)". (Plummer et al., 2014, p. 1085)*

*" Los resultados revelan que la enseñanza podría haber causado tanta confusión que los niños descartan toda la nueva información y utilizan sólo su propia experiencia para ganar un sentido de comprensión... El hecho de que el nivel promedio de los conocimientos obtenidos se mantuvo relativamente baja y sólo cuatro niños dieron respuestas científicamente precisas a todas las preguntas implica que los niños de 5 a 7 años de edad no están preparados para adquirir plenamente los temas relacionados con la Tierra y la gravedad" (Hannust y Kikas, 2007, p.102).*

Por otro lado, la repetición por parte de los estudiantes de informaciones científicas no indica en modo alguno la comprensión de los fenómenos que se están estudiando ya que esto puede corresponder a una mera memorización de hechos. Por ejemplo, los niños desde pequeños recuerdan el hecho de que la Tierra es redonda pese a que contradice la experiencia cotidiana, aunque muchas veces utilizan el modelo dual o el modelo de esfera hueca para reconciliar las vivencias cotidianas con la información científica recibida.

En función de lo expuesto aquí, urge preguntarse acerca de la pertinencia de enseñar en los primeros años de la escuela primaria el modelo Sol-Tierra-Luna, y los fenómenos astronómicos cotidianos, desde un punto de vista heliocéntrico. Como se ha visto, este desarrollo no ha logrado una mejora en la comprensión de dichos fenómenos por parte de alumnos de todas las edades e incluso de docentes.

#### **4.3. Propuestas de enseñanza acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos**

En esta sección se mencionan sugerencias didácticas y secuencias de enseñanza presentes en algunos de los artículos analizados las cuales se encuentran centradas en la enseñanza acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos a partir de la

observación a simple vista del cielo y de la utilización del sistema de referencia topocéntrico. Estos artículos han sido seleccionados en función de tener relación con la pregunta b) de esta investigación:

¿Qué sistema/s de referencia emplean los docentes para describir y explicar los fenómenos astronómicos cotidianos? ¿Pueden existir dificultades relacionadas con la utilización de un sistema de referencia centrado en el Sol para explicar fenómenos que son observados desde un punto de la superficie terrestre (que no es el punto de origen del sistema)?

Es decir, ¿es posible que un problema de la enseñanza de la Astronomía sea la utilización casi exclusiva del sistema de referencia heliocéntrico pese a que se ha detectado que el mismo es de difícil comprensión para los alumnos?

Antes de comenzar a intentar responder esta pregunta, es deseable ampliar la mirada y analizar si algunas de las dificultades referidas a la enseñanza y el aprendizaje de la astronomía no se encuentran insertas dentro de las dificultades correspondientes a la enseñanza escolar de las ciencias en general. En este sentido, se ha detectado que las clases de ciencias de los tres primeros años de la escuela media no parecen provocar modificaciones sustanciales en las concepciones alternativas de los estudiantes. Algunos de los factores que pueden explicar este resultado son la falta de tiempo dedicado a la enseñanza de las ciencias en las escuelas, la naturaleza compactada del currículum de ciencias, las propuestas didácticas de carácter transmisivo puestas en práctica en las aulas, las propias concepciones alternativas de los docentes y el contenido de los cursos de formación de pregrado de los futuros profesores (Danaia y McKinnon, 2007).

Por otro lado, en las escuelas primarias suele ser común que se dedique poco tiempo a la enseñanza de las ciencias, o que incluso no se enseñe en absoluto. Por ejemplo, una investigación realizada en escuelas primarias australianas mostró que un gran porcentaje de los estudiantes recibe menos de 41 minutos de clase de ciencias a la semana (Angus et al., 2004). No es sorprendente, por lo tanto, la presencia de tantas concepciones alternativas ya que el tiempo dedicado es muy escaso si el docente desea identificar las concepciones de los alumnos, implementar actividades de aprendizaje para desestabilizar dichas concepciones y, posteriormente, proporcionar tiempo para que los alumnos puedan reconceptualizar sus modelos mentales. A su vez, el plan de estudios de ciencias de la escuela primaria suele contener muchos temas, con muy poco tiempo disponible para cada uno, por lo cual es probable que sólo un mínimo de tiempo se dedique a temas específicos de ciencias, tales como la astronomía. Por ese motivo, no sorprende que los docentes adopten un modelo pedagógico transmisivo, que les permite avanzar a un ritmo más rápido con los contenidos, aunque esto redunde en la utilización de una metodología que no necesariamente es útil para que la mayoría de los estudiantes logren una comprensión adecuada acerca de los fenómenos naturales (op. cit., 2007).

A su vez, las investigaciones muestran que los docentes en actividad sostienen concepciones alternativas respecto a una amplia gama de conceptos científicos muy similares a las que sostienen los estudiantes, por lo que es probable que éstas puedan ser transmitidas en las clases de ciencias (Vega Navarro, 2002; Trundle, Atwood y Christopher, 2006). Por lo tanto, resulta imprescindible que los docentes tomen conciencia de sus propias concepciones y que puedan contrastarlas con el conocimiento científicamente aceptado antes de comenzar a planificar sus clases de ciencias.



Para superar algunas de estas dificultades, el plan de estudios debe ser reducido con el fin de poder brindar más profundidad a cada tema y de utilizar una pedagogía adecuada que permita que los estudiantes modifiquen paulatinamente sus propias concepciones alternativas. A su vez, será imprescindible realizar un trabajo de formación continua con los docentes con el fin de que puedan revisar y modificar sus propios modelos explicativos con el fin de acercarlos a los modelos científicos aceptados (op. cit., 2007).

En conclusión, una parte de las dificultades vinculadas a la enseñanza de la astronomía pueden tener un origen común relacionado con las dificultades presentes en el proceso escolar de enseñanza de los contenidos científicos en general. Sin embargo, existen cuestiones específicas que se analizarán a continuación.

#### **4.3.1. Dificultades que caracterizan la enseñanza de la astronomía**

En un artículo de hace unos veinte años, García Barros et al. (1995, p. 3) mencionan determinadas dificultades que podríamos tomar como válidas, sin muchas modificaciones, hoy en día:

- a) *Excesivo énfasis en los contenidos conceptuales, introduciendo un modelo explicativo difícil de interpretar por los alumnos [el modelo heliocéntrico] sin relacionarlo con fenómenos cotidianos fácilmente perceptibles.*
- b) *La utilización de metodologías que no tienen en cuenta las ideas y concepciones de los alumnos en este tema.*
- c) *El uso exclusivo de representaciones planas de los astros y de sus movimientos que pueden reforzar errores ya presentes en los alumnos (Ojala, 1992).*

Si se analizan las características anteriores, es posible asociar estas dificultades a la utilización del sistema de referencia heliocéntrico para explicar los fenómenos astronómicos cotidianos, el cual posee una compleja y dificultosa vinculación con lo que se observa en el cielo desde la superficie terrestre.

En función de estas dificultades, los autores elaboraron un planteamiento didáctico vinculado con la observación a simple vista del cielo, el cual resulta contradictorio con sus fundamentos ya que propone explícitamente introducir el modelo heliocéntrico como explicación. Esto queda aún más de manifiesto unos años después, cuando los mismos autores amplían la propuesta didáctica y al mismo tiempo sostienen (García Barros et al., 2003):

*"Consideramos que la comprensión de la teoría heliocéntrica y su adecuada utilización para explicar los movimientos aparentes de los astros no es fácil para los niños del último ciclo de primaria. Tal comprensión demanda aceptar dos hechos clave que en absoluto resultan intuitivos; uno es la esfericidad de la Tierra y nuestra posición en ella, y otro es su movimiento continuo y regular. Ambos encierran problemas de aprendizaje debidos fundamentalmente a la limitada capacidad de abstracción, visión espacial, y demás, de los estudiantes de esta edad." (p. 3)*

*"...no tratamos, en ningún momento, la explicación teórica de las estaciones. Creemos que es un tema difícil y que demanda generalmente un drástico cambio conceptual. Por tal motivo, consideramos que es más oportuno relegar su estudio a un nivel superior (la ESO)". (p. 9)*

Sin embargo, pese a estas grandes dificultades, los autores sostienen que trabajar estos aspectos resulta casi obligado hoy en día debido a que los niños están acostumbrados a ver imágenes de la Tierra vista desde el espacio exterior. Al respecto, es posible cuestionarse qué ideas pueden construir los niños a partir de estas imágenes y si estas ideas tendrán o no una cierta cercanía con el conocimiento científico. A partir de las concepciones alternativas detectadas en los distintos trabajos de investigación llevados a cabo con estudiantes, es posible concluir que ver imágenes de la Tierra desde el espacio, o de sus movimientos, no resulta suficiente para una comprensión adecuada de los fenómenos celestes cotidianos que podemos percibir desde la superficie terrestre.

Como sostienen los mismos autores en otro artículo (García Barros et al., 1997, p. 230):

*"En este sentido debemos destacar que para enseñar a los niños que la Tierra se mueve es imprescindible analizar previamente si tienen claro el carácter esférico de nuestro planeta, su posición en él... pues suelen mantener concepciones alternativas al respecto (Nussbaum, 1989). No debemos olvidar que los niños tienen serias dificultades para comprender que la Tierra está moviéndose en el espacio (Klein, 1982; Nussbaum, 1989)".*

#### **4.3.2. Superación de algunas dificultades: la observación a simple vista del cielo**

A partir de las dificultades anteriores, distintos autores manifiestan la necesidad de revalorizar la observación a simple vista del cielo en las propuestas a implementar en las escuelas, restándole importancia a informaciones teóricas que circulan en las aulas y en los libros de texto, las cuales poseen escasa vinculación con lo vivencial:

*"El alejamiento de la vida en contacto con la Naturaleza y la especialización de los estudios... conlleva el que este conocimiento de los mensajes que el Cosmos nos envía, sea cada vez más escaso. Los movimientos tan evidentes del Sol o de la Luna, en su camino diario o en relación con las estrellas, la marcha de los planetas o la bóveda celeste son insospechados y desconocidos por gran parte de la población actual" (Ten y Monros, 1984, p. 50).*

*"Nos encontramos, pues, ante una curiosa paradoja: un interés generalizado por la Astronomía unido a un considerable desconocimiento de cuestiones básicas, en especial las relacionadas con la observación. ¿Cuáles son las causas de esta situación?... el diseño incorrecto del currículo escolar, la escasa preparación de gran parte del profesorado y la forma de vida cada vez más urbana"... "En primer lugar se trata de familiarizarse con el aspecto del cielo a simple vista, tanto en sus características inmutables como en las cambiantes. Se debe conocer qué objetos hay en el cielo, cuáles de ellos permanecen siempre en el mismo lugar y cuáles cambian y cómo lo hacen. Este conocimiento, que se puede conseguir a edades relativamente tempranas, debe llevar a la explicación de todas las apariencias y a ser conscientes de las consecuencias más notorias e influyentes para nuestra forma de vida. (Arribas de Costa y Rivière Gómez, 1989, p. 202-203)*

*"La observación directa del cielo, de sus objetos y de sus fenómenos, tanto de noche como de día es fundamental e insustituible... el estupor, la capacidad de asombro de cada uno ante la belleza y la grandiosidad del cielo pueden constituir la base para desear conocer, saber, estudiar o para gozar al máximo" (Lanciano, 1989, p. 180).*

*"La observación directa del cielo es uno de los procedimientos esenciales en el estudio de la astronomía... además de permitir la visión tridimensional, la recogida de datos y favorecer el aprendizaje, resulta motivadora para los niños (Lanciano, 1989). No debemos olvidar que la enseñanza tradicional, muy centrada en lo conceptual y abstracto, desestimó lo evidente, lo vivencial y lo cotidiano, que son los aspectos que tienen mayor valor educativo para el nivel al que dedicamos este trabajo... En este caso resulta irrelevante que un niño «sepa» el movimiento de rotación terrestre si «no sabe» explicar con él la variación de la posición del Sol en el cielo a lo largo de la jornada y la sucesión de los días y las noches" (García Barros et al., 1997, p. 230).*

En este sentido, la enseñanza de la astronomía a partir de la observación del cielo permite, entre otras cosas, que los alumnos comiencen a comprender el modo en que han evolucionado las ideas acerca de nuestro universo a lo largo de los siglos, aunque la vida en las grandes y luminosas ciudades dificulta en cierto modo el abordaje observacional de esta temática:

*"Los docentes, habitualmente, se limitan a exponer los modelos teóricos aceptados actualmente sin ningún tipo de crítica o de discusión, sin hacer referencia a su génesis, a los hechos que llevaron a establecer esos modelos. Y no es tan difícil la realización de algunas actividades, con materiales sencillos, que pueden resultar muy formativas... El aumento del porcentaje de población residente en áreas urbanas dificulta esa familiarización con los fenómenos celestes más inmediatos que venimos propugnando. Es claro que en las ciudades no es fácil «ver» el cielo, aún cuando se mire hacia él: la polución luminosa, sobre todo, limita considerablemente nuestras posibilidades" (Arribas de Costa y Rivière Gómez, 1989, p. 202).*

Este tipo de propuestas observacionales prácticamente se encuentran ausentes en los libros de texto e incluso en los currículum escolares donde se desarrollan los contenidos de astronomía, los cuales se encuentran volcados sobre todo hacia el conocimiento del Sistema Solar y de los movimientos de la Tierra y de la Luna desde un sistema de referencia externo a la Tierra. En este sentido, los libros se expresan como si los estudiantes nunca hubiesen hecho una observación del cielo de día o de noche.

Esta ausencia de relación con el entorno celeste cotidiano se acentúa debido a diferentes dificultades. Por un lado, la observación del cielo se torna dificultosa en las zonas urbanas debido a la contaminación lumínica que alumbra el cielo y sólo deja a la vista unas pocas estrellas, a que algunas de las observaciones a llevar a cabo deben hacerse fuera del horario escolar, y a que los cambios en el cielo ocurren con relativa lentitud, lo que obliga a realizar estas actividades en forma relativamente continua. Por otro lado, determinadas cuestiones culturales han hecho que las personas se alejen del contacto con la naturaleza, y con el cielo, predominando la información indirecta, el abuso de las imágenes y la renuncia a adquirir conocimiento con los propios sentidos. En consecuencia, las características de la bóveda celeste y los movimientos evidentes del Sol y de la Luna son desconocidos para gran parte de la población actual, lo que deriva en una falta de conocimientos observacionales en la mayor parte del alumnado (Moreno Lorite, 1998).

### 4.3.3. Propuestas de enseñanza que incluyen la observación del cielo

Pese a todas las limitaciones mencionadas anteriormente, se han diseñado, implementado y evaluado diferentes programas de instrucción con alumnos de distintas edades en los que la observación del cielo a simple vista ha sido el enfoque central. En algunos de ellos, las observaciones del cielo se simularon mediante la utilización de un planetario (Plummer, 2008; Plummer et al., 2014; Türk y Kalkan, 2015) o de un programa informático como el Stellarium (Galindo Bohórquez, 2014), aunque ninguno se centró en la utilización didáctica del sistema de referencia topocéntrico (Galperin y Raviolo, 2014).

Sebastià y Torregrosa (2005) llevaron a cabo un programa de desarrollo profesional para 132 futuros docentes de primaria en España en el que se hizo hincapié en los fenómenos que pueden ser observados a simple vista, tales como los cambios en la trayectoria del Sol en el cielo y en la duración del día. El proceso de instrucción involucró un enfoque "de los datos al modelo" en el que los estudiantes realizaban observaciones y luego desarrollaban un modelo teórico coherente, avanzando luego hacia la construcción del modelo heliocéntrico. El programa se evaluó mediante ítems de opción múltiple y preguntas de desarrollo corto que indicaron que luego del curso la mayoría de los estudiantes comprendieron la explicación científica del ciclo día/noche y de las estaciones. A su vez, pudieron hacer predicciones complejas, tales como el recorrido que realiza el Sol en el cielo en la misma fecha en distintas latitudes, o el cálculo de cuáles meses tienen aproximadamente el mismo número de horas de luz.

Por su parte, Plummer (2008) realizó y evaluó un programa de instrucción basado en la utilización de un pequeño planetario. El método de enseñanza pidió, en primer lugar, que los estudiantes predigan los movimientos del Sol, la Luna y las estrellas en el cielo. Luego, los alumnos observaron los movimientos de los astros simulados en el planetario y, por último, contrastaron las predicciones con la simulación. Como resultado, más de la mitad de los estudiantes mostró una mejora en la comprensión de las estaciones luego de finalizada la instrucción. En función de estos resultados, la autora propuso una progresión tentativa de aprendizaje relativa al movimiento del Sol en el cielo:

- 1er. grado: los estudiantes deben ser capaces de aprender que el Sol está en el cielo durante el día, pero no de noche, y que el Sol sale y se pone.
- 2do. y 3er. grado: los estudiantes deben aprender que el movimiento del Sol es continuo y que sale y se pone en lados opuestos del cielo.
- 4to. y 5to. grado: deben aprender que el Sol se encuentra más alto al mediodía, pero no encima de nuestra cabeza (en nuestra latitud). También que la trayectoria del Sol en el cielo y su altura cambian a lo largo de las estaciones.

En base a este y otros trabajos, Sneider et al. (2011) elaboraron una propuesta secuenciada de aprendizaje acerca del día y la noche y las estaciones desde los grados 4 a 12. En esta secuencia, la explicación de las estaciones del año utilizando el sistema de referencia heliocéntrico se introduce recién a partir de 9no. año. La propuesta se organiza en torno a 3 niveles progresivos (**Figura 4-11**):

Grados 4to. y 5to.: los estudiantes aprenden sobre la forma esférica de la Tierra y la trayectoria diaria del Sol en el cielo como modo de comprender el ciclo día/noche. Aunque los estudiantes de esta edad son capaces de entender la forma esférica de la Tierra y la explicación del ciclo día/noche, este concepto debe ser revisado cada vez que se enseñe astronomía en la escuela secundaria.

Grados 6to. a 8vo.: los estudiantes se involucran en cuatro unidades de estudio que les permitan explicar las estaciones del año desde la perspectiva terrestre.

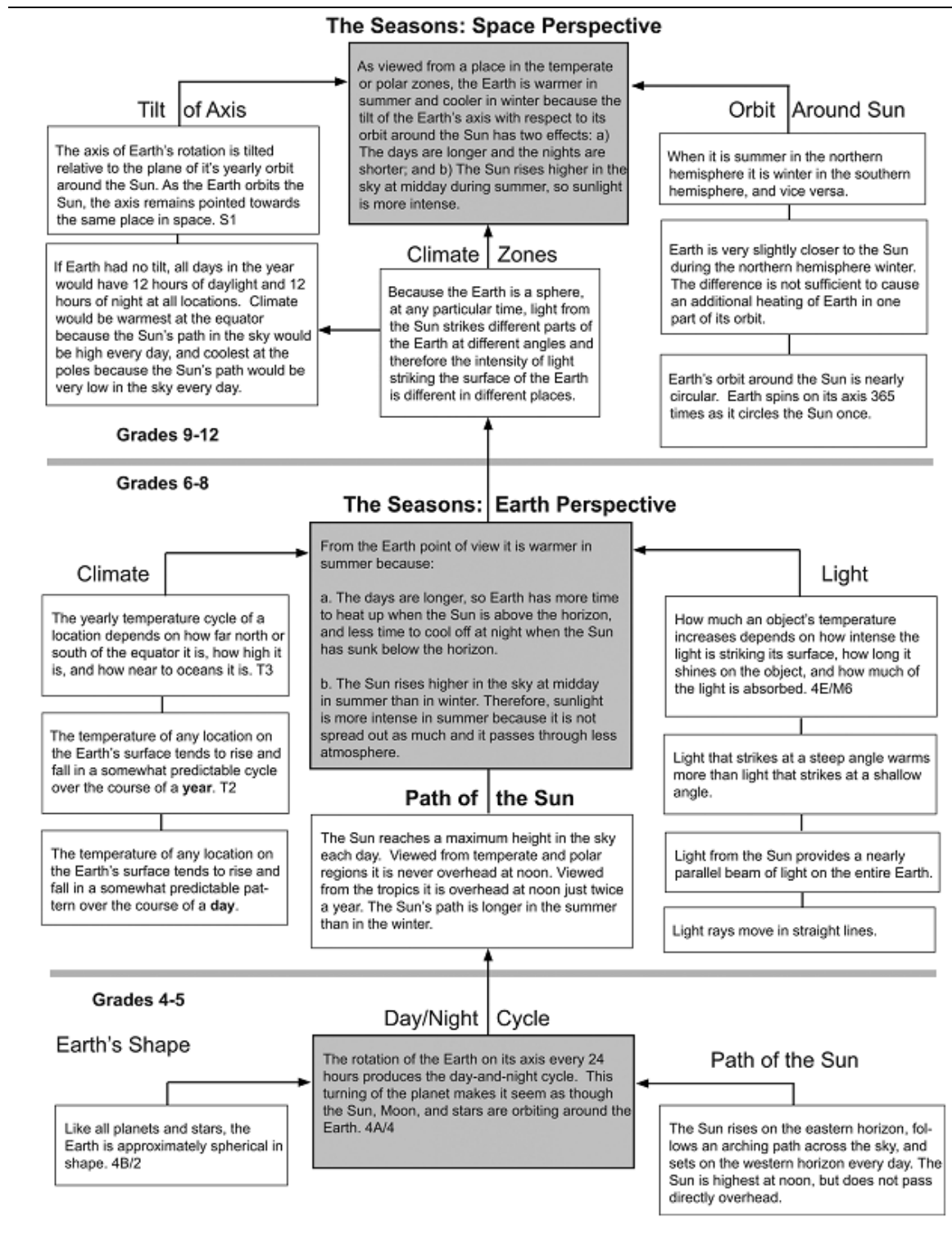
- 1) Los cambios diarios y estacionales del clima y cómo éste varía con la latitud.
- 2) Los cambios en la trayectoria diaria del Sol en el cielo a lo largo del año.
- 3) El comportamiento de la luz.
- 4) Los cambios en la temperatura media a lo largo del año debido a la variación de las horas de luz y al ángulo con el que la luz del Sol incide sobre la Tierra.

Grados 9no. a 12vo.: es el nivel en el que se puede esperar que los estudiantes reconcilien su comprensión de las estaciones desde la perspectiva de la Tierra con una visión de la Tierra desde el espacio. Implica cuatro unidades.

- 1) La forma esférica de la Tierra provoca zonas climáticas debido a que la luz del sol incide con diferentes ángulos en diferentes partes de la esfera (más allá de si el eje está inclinado o no).
- 2) La órbita de la Tierra alrededor del Sol es casi circular, por lo que la forma de la órbita no provoca las estaciones. Además, cuando es verano en el hemisferio norte es invierno en el hemisferio sur y viceversa.
- 3) Presentación de un modelo simplificado en el que el eje de la Tierra no se encuentra inclinado. Esto permite que los estudiantes analicen cómo la gente podría ver el Sol en las diferentes zonas climáticas y las consecuencias que traería para la longitud del día (sería igual para todos los lugares a lo largo de la misma línea de latitud y no cambiaría mientras la Tierra orbita al Sol) y para la intensidad de la luz solar (menor temperatura media en los polos y mayor en el Ecuador). Luego, los estudiantes exploran cómo cambiarían las observaciones del Sol si se inclina el eje de la Tierra.
- 4) Los estudiantes sintetizan su conocimiento de las zonas climáticas de la Tierra, su comprensión de la órbita de la Tierra alrededor del Sol y la inclinación del eje para entender por qué cambian la trayectoria y la altura del Sol en el cielo durante el año.

En esta propuesta, el tratamiento secuenciado desde los modelos iniciales de los estudiantes hasta el modelo científico se encuentra centrado en el trabajo con las creencias y presuposiciones de los estudiantes, las cuales condicionan la formación de los modelos mentales sintéticos (Vosniadou y Brewer, 1994). En este sentido, se parte de eventos locales posibles de ser observados a simple vista en el cielo para ir progresivamente hacia una perspectiva centrada en la Tierra, pero válida para cualquier punto sobre ella, hasta finalizar en la construcción de un modelo explicativo centrado en un punto externo a nuestro planeta.

**Figura 4-11:** Propuesta de aprendizaje progresiva acerca del día y la noche y las estaciones del año elaborada por Sneider, Bar y Kavanagh (2011).



La progresión anterior da cuenta de las enormes dificultades detectadas en niños para adoptar una perspectiva externa a la Tierra, la cual promueve la adopción de modelos sintéticos donde se combinan aspectos de un modelo inicial e intuitivo basado en la experiencia cotidiana con aspectos de la cultura aceptada (Vosniadou, 2002).

A su vez, la propuesta toma en cuenta los resultados que indican que determinadas propuestas de enseñanza que son útiles y efectivas con docentes no lo son de igual modo con estudiantes de nivel medio, quienes no logran comprender el fenómeno de las estaciones aún después de implementado un programa de instrucción constructivista. Esto se debe a las complejas habilidades de visualización espacial que se requieren para comprender este fenómeno desde un punto de vista externo a la Tierra y, a la vez, a una serie de subconceptos, actividades o ideas que son requisitos previos necesarios para la plena comprensión de las estaciones del año (Sneider et al., 2011, p 15):

- a) La observación de cómo se correlacionan los cambios en la trayectoria del Sol en el cielo en el año con los cambios en la longitud del día y de la temperatura media.
- b) La toma de conciencia del movimiento de la Tierra sobre su eje y de su órbita alrededor del Sol.
- c) El uso de modelos para ver que mantener la orientación del eje de la Tierra en el espacio mientras gira alrededor del Sol produce cambios en la cantidad de horas de luz y en el ángulo de incidencia de la luz solar sobre la superficie terrestre en diferentes latitudes y en distintas épocas del año a la misma hora del día.
- d) La comprensión de cómo la luz viaja en línea recta y cómo el ángulo de incidencia de la luz solar afecta el grado de calentamiento de la superficie terrestre.

De igual modo que con las estaciones del año, es posible afirmar que no basta con comprender cómo se mueven los cuerpos celestes en el espacio para poder explicar los fenómenos astronómicos cotidianos. Por ejemplo, los niños pueden entender que la Tierra rota sobre sí misma y, sin embargo, no poder usar este conocimiento para explicar el ciclo día/noche (Plummer et al., 2011). A su vez, pueden ser capaces de describir cómo la Luna orbita alrededor de la Tierra y no ser capaces de explicar las fases lunares (Subramaniam y Padalkar, 2009). Respecto a las estaciones, pueden saber cómo se mueve la Tierra alrededor del Sol con su eje inclinado, pero no poder utilizar esta información para explicar los cambios estacionales en un lugar determinado de la superficie terrestre.

#### **4.3.4. Estrategias didácticas para el diseño de propuestas de enseñanza**

Existen evidencias que muestran que los estudiantes que han podido modificar sus concepciones respecto a un fenómeno astronómico, muchas veces regresan a sus ideas iniciales luego de transcurrido un cierto tiempo (Kikas, 1997; Hannust y Kikas, 2010). Al respecto, Dove (2002) sugiere cuatro estrategias para prevenir que los estudiantes vuelvan "hacia atrás" en su conocimiento astronómico: llevar a cabo observaciones en relación a lo estudiado en clase, trabajar con modelos, realizar preguntas para que los estudiantes utilicen el nuevo conocimiento y presentar figuras de algún astro en posiciones imposibles. Por su parte, Chi y Roscoe (2002) proponen dos procesos de enseñanza para remover concepciones alternativas y "reparar" modelos defectuosos: asimilación (agregar nuevas piezas al conocimiento) y revisión (corregir determinadas piezas de conocimiento). La asimilación de conocimiento puede lograrse a partir de realizar observaciones periódicas y trabajar en grupo, mientras que la revisión del conocimiento puede producirse al construir modelos concretos y al tener que explicarlos.

En relación con la comprensión del movimiento diario del cielo, Plummer et al. (2014) han hallado que niños de tercer grado (8-9 años) comprenden mejor este fenómeno si se los involucra en actividades desde dos puntos de vista: la realización de observaciones desde la Tierra junto con la elaboración de explicaciones desde el espacio. En este sentido, sugieren que el aprendizaje acerca de los fenómenos astronómicos es más efectivo si se realiza moviéndose entre estos dos sistemas de referencia, guiando a los estudiantes "para la comprensión de la conexión entre los movimientos reales y los aparentes" (Plummer et al., 2011, p. 23). A su vez, señalan que los niños logran comprender adecuadamente el movimiento diario del Sol en el cielo a partir de simulaciones en computadora, o con un planetario, apoyadas por explicaciones basadas en la utilización de movimientos corporales por parte del docente y de los alumnos. Estos movimientos cinestésicos permiten simular la trayectoria del Sol en el cielo a través de gestos y desplazamientos de los estudiantes, quienes "ponen en acto" sus propios modelos mentales. Sin embargo, los niños no obtuvieron el mismo nivel de comprensión sobre el movimiento diario de la Luna y de las estrellas.

Para representar el movimiento diario de las estrellas en el cielo, se utilizó una simulación en la cual se colocaron puntos brillantes en las paredes del aula y luego los alumnos rotaban sus cuerpos para observar cómo las estrellas parecían girar alrededor de ellos en sentido contrario. Pese a que previamente se pensó que esta representación disminuiría la carga cognitiva al sustituir el desplazamiento de cientos de estrellas en el cielo por un único movimiento de giro, este método parece no haber sido de suficiente ayuda para que los niños de 3er. grado comprendan la relación entre lo que se observa desde la Tierra y la rotación terrestre (Plummer et al., 2014).

Los distintos trabajos de estas autoras son relevantes ya que ponen en cierta igualdad los dos marcos de referencia, desde la Tierra y desde el espacio, sosteniendo la necesidad de desarrollar actividades con los niños desde ambos puntos de vista. En contraposición, la mayoría de las investigaciones anteriores utilizaban como válido únicamente el punto de vista externo a la Tierra, sobrevalorando el sistema de referencia heliocéntrico para explicar los fenómenos astronómicos visibles desde nuestro planeta (Galperin y Raviolo, 2014). Sin embargo, parece ser que esta igualdad es relativa ya que Plummer et al. (2011) señalan como "aparentes" los movimientos de los astros observados desde la Tierra, y como "reales" a los vistos desde el espacio, desconociendo que todos los movimientos son "aparentes" en función de ser relativos al sistema de referencia que se utilice para describirlos:

*"Los resultados presentados aquí apoyan nuestra afirmación de que los estudiantes necesitan ser guiados en la comprensión de cómo hacer las conexiones entre los movimientos reales de los cuerpos heliocéntricos y las consecuencias observables desde un punto de vista terrestre (Plummer et al., 2011, p. 1986)".*

En relación con la cita anterior, desde un punto de vista físico todos los movimientos son reales, ya que dependen del sistema de referencia desde el que se esté describiendo el movimiento, lo que marca una equivalencia cinemática entre los dos puntos de vista. Por lo tanto, lo que las autoras llaman "consecuencias observables" podríamos llamarlas adecuadamente "movimientos reales", los cuales pueden ser explicados de diferentes modos, mediante distintos modelos, cada uno de los cuales tendrá sus propias limitaciones explicativas. A su vez, las autoras consideran que la rotación de la Tierra corresponde al "modelo científico", el modelo heliocéntrico, desconociendo la existencia de dos sistemas de referencia astronómicos de gran relevancia, el geocéntrico y el topocéntrico, de importantes aplicaciones prácticas cada uno:



*"Nos basamos en un marco de referencia en el cual la comprensión de un modelo científico incluye hacer una conexión explícita entre el modelo y las observaciones empíricas que el modelo supuestamente explica (Albanese et al., 1997)". (Plummer et al., 2014, p. 1084)*

En esta cita, las autoras intentan conectar el "modelo científico" de la rotación de la Tierra con las "observaciones empíricas" correspondientes al movimiento diario del Sol, la Luna y las estrellas, desconociendo la posibilidad de explicar estas mismas observaciones desde otro modelo científico centrado en la superficie terrestre, el cual posee grandes ventajas a la hora de realizar predicciones sobre el movimiento de los astros en el cielo. Por ese motivo, en la sección siguiente se exponen citas de algunas investigaciones anteriores que valorizan la utilización del sistema de referencia topocéntrico para plantear propuestas de enseñanza acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos.

Por otra parte, algunos investigadores sostienen como inadecuado plantear propuestas didácticas basadas en el modelo heliocéntrico en los primeros años de la escuela primaria, cuando los niños todavía tienen dificultades para comprender nociones básicas relacionadas con la forma de la Tierra y la gravedad, tal como muestran muchos trabajos de investigación mencionados anteriormente:

*"El peligro es que el niño va a decir y aceptará las nuevas nociones de la Tierra, la gravedad y el espacio sin entender el sentido de la evidencia o sin pensar en las implicaciones de las nuevas ideas" (Mali y Howe, 1979, p. 685).*

*"Observando regularmente el cielo de día y de noche, los niños de 4to. grado aprenderán a identificar secuencias de cambios y a buscar patrones en ellos... El intento de extender esta comprensión a explicaciones utilizando modelos está limitada por la incapacidad de los niños para entender que la Tierra es aproximadamente esférica. También tienen poca comprensión de la gravedad y por lo general poseen ideas erróneas sobre las propiedades de la luz que nos permiten ver objetos como la Luna" (National Research Council, 1996, p. 130).*

*"...el objetivo de la enseñanza de la astronomía debe ser ayudar que los niños adquieran un modelo cada vez más sofisticado de su lugar en el universo... La investigación citada en este trabajo indica que la construcción de un modelo de este tipo no es fácil. En algunos casos, significa abandonar las ideas anteriores que parecían perfectamente obvias y razonables, y la aceptación de nuevas ideas que pueden ser contrarias a la intuición" (Agan y Sneider, 2004, p. 114).*

Contrariamente, otros investigadores notaron que una tardía instrucción en conceptos relativos a la Tierra y al día y la noche, que son parte de la vida cotidiana de los chicos, puede conducir a la formación de concepciones iniciales que son ya evidentes en primer ciclo (Diakidoy y Kendeou, 2001). Incluso Kikas (2006) muestra que niños de nivel preescolar usualmente hablan sobre conceptos astronómicos elementales. En consecuencia, las dificultades de comprensión podrían tener su origen en el tipo de propuestas planteadas en las aulas y en el modo de intervención de los docentes:

*"Los fenómenos y conceptos astronómicos como la esfericidad de la Tierra o el ciclo día/noche, considerados difíciles para chicos muy jóvenes, pueden volverse más accesibles si son presentados con recursos, estrategias y estilos de enseñanza que los motiven, que despierte su interés, y que reduzca sus dificultades de aprendizaje" (Kallery, 2011, p. 364).*

Al respecto, Kallery (2011) estudió la efectividad de una intervención de enseñanza sobre la forma de la Tierra y el ciclo día/noche en niños de 4 a 6 años, donde trabajó con herramientas didácticas tales como un globo terráqueo y un video. Los resultados obtenidos fueron alentadores, aunque no se pudo medir la permanencia de los aprendizajes. A su vez, otros investigadores han mostrado que determinadas ideas de los estudiantes acerca de la forma de la Tierra, la gravedad y los fenómenos astronómicos cotidianos pueden ser modificadas mediante técnicas de instrucción constructivistas puestas en práctica con diferentes modalidades y recursos (García Barros et al., 1995, 2003; Moreno Lorite, 1998; Sneider y Ohadi, 1998; Stahly, Krockover y Shepardson, 1999; Barnett y Morran, 2002; Vega Navarro, 2002; Subramaniam y Padalkar, 2009; Navarro Pastor, 2011; Çelikten et al., 2012; Isik-Ercan, 2014; Vélchez-González y Ramos-Tamajón, 2015; Türk y Kalkan, 2015). Sin embargo, lo que caracteriza a todas estas secuencias es la intención última de abordar la comprensión de los fenómenos astronómicos desde una perspectiva externa a la Tierra, pese a las enormes dificultades de comprensión que han sido detectadas al intentar lograr este propósito:

*"Lo que se debería promover en este nivel educativo, sobre todo en los primeros cursos, es la observación y la descripción del mundo que nos rodea. Asimilados los fenómenos del entorno, se podría proceder a la explicación que se ha dado a lo largo de la Historia de la Ciencia. Lo habitual, sin embargo, es actuar de forma contraria, mostrando en las aulas una ciencia academicista poco relacionada con la vida cotidiana. Este hecho, unido a metodologías tradicionales poco atractivas, lo único que consigue es, como venimos observando, empeorar la actitud del alumnado hacia las disciplinas científicas" (Vélchez-González y Ramos-Tamajón, 2015, p. 18).*

Incluso Kikas (1997) ha detectado que, luego de un proceso de instrucción, el porcentaje de estudiantes de 4to. y 5to. grado que dan respuestas adecuadas acerca de dichos fenómenos suele superar al de alumnos de 7mo. grado que han sido instruidos de la misma manera. Por lo tanto, pareciera ser que los resultados positivos hallados en relación a la enseñanza de los fenómenos astronómicos cotidianos pueden deberse a determinados modos de recabar la información, los cuales sobrevaloran el lenguaje oral y memorístico de los alumnos, o a éxitos relativamente efímeros, que no logran representarse significativamente en la mente de los alumnos.

#### **4.3.5. Estrategias relacionadas con el desarrollo de habilidades mentales**

Algunos resultados desalentadores obtenidos con niños en cuanto a la comprensión de los fenómenos astronómicos a corto y largo plazo pueden estar relacionados con las habilidades de visualización y percepción espacial que se requieren para poder posicionarse imaginariamente fuera de nuestro planeta y para poder "ver" y analizar los movimientos de la Tierra y la Luna en el espacio. Al respecto, Kikas (2006) detectó que las habilidades viso-espaciales y verbales afectan el conocimiento de hechos ya que son necesarias para comprender la información visual observada en la vida diaria y, al mismo tiempo, para contestar preguntas y para realizar tareas de expresión mediante dibujos.

Otros estudios han identificado a las habilidades de visualización y percepción espacial como un factor en la explicación de las diferencias en los resultados del aprendizaje en astronomía. Por ejemplo, Heyer (2012) encontró que el rendimiento en las habilidades de rotación mental y en tareas espaciales de transformación se relacionaron

significativamente con pruebas de conocimiento en astronomía. A su vez, Wilhelm (2010) mostró que los estudiantes de secundaria mejoraron su pensamiento en áreas de visualización espacial tras participar en una unidad sobre fases lunares. Por lo tanto, estos estudios apoyan la necesidad de relacionar fuertemente el aprendizaje de la astronomía con el desarrollo de habilidades espaciales, sabiendo que alumnos de la misma edad poseen distintas capacidades espaciales (Plummer et al. 2012).

Otro desafío cognitivo para comprender el movimiento celeste se refiere a la manera de aprender a realizar un seguimiento y recordar las posiciones y movimientos de los objetos en dos y tres dimensiones, lo cual es especialmente difícil para estudiantes con habilidad espacial baja (Hegarty, 2010). En este sentido, la observación de los astros en el cielo transcurre como si estos desplazamientos ocurriesen en dos dimensiones debido a la gran distancia a la que se encuentran los astros, lo que no permite tener idea de la profundidad del campo visual. De este modo, la vista proporciona información inexacta o engañosa, por lo que es necesaria cierta ayuda para identificar formas, tamaños y distancias, incluso para objetos relativamente cercanos como los del Sistema Solar (Leite y Hosoume, 2009). Estas dificultades a menudo se potencian cuando los niños interactúan con las ilustraciones presentes en los libros de texto, que al estar representadas en dos dimensiones pueden conducir a la construcción de conceptos, relaciones y medidas erróneas (Delizoicov et al., 2002). En este sentido, Lucas y Cohen (1999) mencionan que la mayoría de los libros de texto modernos hacen un mal trabajo de explicación de las estaciones del año, presentando los mismos esquemas e ilustraciones que los presentes en libros de hace 200 años:

*"Por ejemplo, un libro de texto de Física publicado por Edward Jackson en 1894 comenzó con una clara y detallada explicación de los fenómenos que son precursores para la comprensión de las estaciones del año, incluyendo los cambios graduales en la intensidad de la luz del Sol durante el día y durante el año y sobre los movimientos diarios y anuales de la Tierra... Tras una minuciosa descripción de las estaciones mediante una serie de diagramas, tanto desde la perspectiva geocéntrica y heliocéntrica, el texto pasa a explicar por qué las épocas más frías y más cálidas del año no se corresponden con los solsticios" (Sneider, Bar y Kavanagh, 2011, p. 19).*

En relación con las dificultades de razonamiento espacial, se ha mostrado que los niños que gesticulan se desempeñan mejor en tareas mentales que aquellos que no lo hacen:

*"Instruir a los niños usando gestos puede tener un profundo y positivo impacto en el desarrollo de las habilidades espaciales tempranas, sobre todo en las habilidades de transformación mental" (Ehrlich et al., 2006, p. 1267).*

*"[Gesticular] puede ayudar a los niños a simular mentalmente transformaciones espaciales, posiblemente mediante la reducción (o tercerización) de la carga de la memoria de trabajo o aprovechando los mecanismos precableados de coordinación sensorio-motriz" (Newcombe y Frick, 2010, p. 108).*

Por lo tanto, la utilización de los movimientos cinestésicos por parte del docente y de los propios alumnos constituye una estrategia didáctica adecuada para lograr una reducción de la carga cognitiva espacial en el aprendizaje de los fenómenos astronómicos, lo que ayuda a los estudiantes a recordar y comprender las relaciones entre lo que se observa desde la Tierra y desde el espacio (Plumer et al., 2011). Esto puede lograrse, por ejemplo, simulando el recorrido del Sol en el cielo mediante un movimiento de giro del brazo extendido, o girando el cuerpo sobre sí mismo para entender cómo la rotación de la Tierra repercute en las observaciones terrestres de los cuerpos celestes.

#### 4.4. Sistemas de referencia en la enseñanza de la astronomía

En esta sección se discutirán los antecedentes relacionados al tema central de este trabajo de investigación: la utilización didáctica del sistema de referencia topocéntrico para la enseñanza acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos. Los artículos han sido seleccionados en función de tener relación con la segunda parte de la pregunta b) de esta investigación:

- b) ¿Pueden existir dificultades relacionadas con la utilización de un sistema de referencia centrado en el Sol para explicar fenómenos que son observados desde un punto de la superficie terrestre (que no es el punto origen del sistema)?

Es decir, aquí se mencionarán artículos y citas de ellos que han puesto el eje en evidenciar las dificultades relacionadas con la utilización temprana de un punto de vista externo a nuestro planeta, dejando de lado la utilización de una perspectiva centrada en la Tierra. La pregunta específica sería: ¿Existen argumentos en la bibliografía que indiquen que enseñar astronomía desde el sistema de referencia topocéntrico puede ser útil para mejorar la comprensión de los alumnos?

Al respecto, hace unos 25 años atrás varios trabajos de investigación centraron su atención en recuperar la observación del cielo como eje central para la enseñanza de la astronomía en las escuelas. Para ello sugirieron que utilizar un modelo centrado en la Tierra podía ser muy útil dado que ese es el punto desde el que se observan todos los fenómenos celestes, por lo cual trabajar sólo desde una perspectiva externa a nuestro planeta no permitiría comprender adecuadamente los fenómenos que se observan a diario en el cielo. De este modo, se asoció la mayoría de las veces la descripción de los movimientos de los astros desde la superficie terrestre con el modelo geocéntrico antiguo sintetizado por Claudio Tolomeo en el siglo II:

*"Nuestro punto de observación habitual para mirar la Tierra como planeta está sobre su misma superficie. En el caso de que la Tierra se moviese en el Universo, nosotros formaríamos un todo con ella, pero no seríamos conscientes de este desplazamiento... Ninguna percepción directa del cuerpo nos hace pensar en el desplazamiento de nuestro planeta sobre el que apoyamos los pies. No existen experimentos «cruciales» en el sentido de ser intuitivos para todos de forma inmediata..." (Lanciano, 1989, p. 174).*

*"No hay ninguna razón práctica evidente para hacernos abandonar el modelo de Tolomeo... Por el contrario, esto «funciona» estupendamente para explicar y describir lo que se ve cotidianamente" (Lanciano, 1989, p. 175).*

*"Cuando les planteamos qué pruebas tenemos de que la Tierra se mueva alrededor del Sol y no al revés, la ausencia de pruebas es absoluta y los alumnos recurren unánimemente a los argumentos de autoridad (porque lo dijo Galileo y esto es lo aceptado por todos los científicos)" (Jiménez Liso et al., 2012, p. 50).*

Pese a las desventajas ya mencionadas de utilizar un punto de vista externo a la Tierra, todos los trabajos analizados plantearon la utilización de un punto de vista centrado en la Tierra como trabajo en simultáneo con el punto de vista externo a nuestro planeta. A su vez, la mayor parte de los trabajos tomaron al punto de vista centrado en la Tierra como una apariencia (lo que se observa) y como si la única forma de explicarlos fuese desde el espacio exterior:

"Sin querer entrar en la polémica de si se deben utilizar sistemas geocéntricos o heliocéntricos en la explicación de las apariencias, conviene hacer notar que, aún desde un punto de vista heliocéntrico, sería conveniente una relación constante entre la observación y la explicación del fenómeno; al ver, por ejemplo, la órbita de Venus, no debe olvidarse relacionarla con su característica de astro matutino o vespertino" (Arribas de Costa y Rivière, 1989, p. 204).

"...no se trata de realizar una elección que elimine una hipótesis para admitir otra: nadie deja de ser completamente tolemáico para hacerse simplemente copernicano. Se trata, más bien, de ser capaz y consciente de aceptar la posibilidad de mantener dos modelos diferentes, dos modelos de lenguaje para hablar de lo mismo: mantener la visión tolemáica cotidiana y su relatividad con respecto a un sistema del mundo en el que todo se mueve y no existen centros locales... (Lanciano, 1989, p. 175)".

"El día y la noche, las estaciones y las fases serían fenómenos fácilmente explicables, para todos, si pudiéramos tener una perspectiva desde fuera del sistema Tierra-Sol-Luna. Consideramos que la dificultad no radica en los fenómenos en sí mismos sino en que busquemos comprenderlos desde una perspectiva topocéntrica, sin generar herramientas que nos permitan imaginar otros puntos de vista" (Camino, 1995, p. 87).

"...la instrucción sobre el movimiento celeste debe considerar el movimiento de los objetos celestes desde la Tierra y desde un marco de referencia heliocéntrico como parte del modelo mental del estudiante. El aprendizaje... implica «la capacidad de parte del alumno de tomar diferentes puntos de vista y de comprender cuándo diferentes concepciones son apropiadas según el contexto de uso (Vosniadou, 2007, p. 58)»... dar un enfoque de un sistema de referencia por sobre el otro puede resultar en forma no intencional en modelos sintéticos en lugar de en una visión científica coherente y aceptada culturalmente" (Plummer et al., 2011, p. 1969).

Para plantear este trabajo, Lanciano (1989) brinda sugerencias relacionadas con la observación a simple vista del cielo que ayudan a "ver lo que se piensa y pensar en lo que se ve" (p. 180):

- *La posición del observador: es evidente la importancia del punto escogido para observar un fenómeno que se desarrolla en el tiempo y en el que un objeto recorre un espacio.*
- *La observación directa del cielo: si se utiliza el observatorio privilegiado de la astronomía, que es el cielo, la verdadera naturaleza y no sus imágenes, muchas cosas se presentan más claras y menos complejas.*
- *El sistema de referencia: para enseñar las estrellas se puede usar un sistema de coordenadas «locales» [topocéntrico], como el que está basado en el horizonte y la altura a éste, o un sistema de coordenadas «absolutas» [geocéntrico], válidas en cualquier punto de la Tierra.*
- *Maravillarse al observar el cielo: la capacidad de asombro ante la belleza y la grandiosidad del cielo pueden constituir la base para desear conocer y saber, mucho más que cualquier lección en el pizarrón.*

Como se ve, los trabajos ponen énfasis en desarrollar simultáneamente ambos puntos de vista, lo que ya se ha detectado que implica el uso de determinadas habilidades mentales que no todos los estudiantes poseen. En este sentido, existen pocos artículos que pongan énfasis en la relativa inutilidad práctica y cotidiana del sistema de referencia heliocéntrico, el cual no permite realizar descripciones ni predicciones sencillas respecto a los movimientos de los astros en el cielo. En consecuencia, tampoco pueden utilizarse estos movimientos para construir explicaciones sencillas de los fenómenos astronómicos cotidianos:

*"La inutilidad del modelo «tan válido» y «tan aceptado por todos» de la Tierra dando vueltas alrededor del Sol se pone de manifiesto cuando tienen que usarlo para explicar la variación del número de horas de luz solar a lo largo de un año en su localidad" (López-Gay et al., 2009, p. 50).*

*"A pesar de que no esté en discusión que la visión acumulativa-lineal es una visión deformada de la ciencia, son numerosos los ejemplos que encontramos en los que la presentación didáctica de un desarrollo histórico de un contenido induce o refuerza esta visión deformada. Es el caso concreto del sistema Sol-Tierra, en el que, desde muy pequeños, se nos indica que la Tierra da vueltas alrededor del Sol pero no se nos ofrece ninguna prueba de que ello suceda así y, además, se atribuye esta formulación del movimiento absoluto a Galileo, al mismo tiempo que se estudia su principio de relatividad" (Jiménez Liso et al., 2012, p. 49).*

A su vez, la perspectiva centrada en la Tierra suele no ser desarrollada por los docentes con sus alumnos debido a que muchos de ellos sostienen que "es un modelo que está mal y que no debería ser usado en las clases" (Shen y Confrey, 2010, p. 22). Sin embargo, las investigaciones muestran que esta perspectiva es cercana al pensamiento de los estudiantes: muchos de los niños de 3er. grado creen que los movimientos que observan en el cielo constituyen desplazamientos de los propios objetos celestes, siendo muy pocos los niños que logran asociar el movimiento diario del Sol, la Luna y las estrellas en el cielo con la rotación terrestre (Plummer et al., 2011).

Por lo tanto, desarrollar la enseñanza de la astronomía a partir de la observación a simple vista del cielo y desde el sistema de referencia topocéntrico permite conectar a los niños con sus experiencias cotidianas y brindar un adecuado marco científico a los conocimientos construidos:

*"Cualquier conocimiento que esté divorciado de la experiencia es superficial; el aprendizaje de la astronomía debería estar conectado con la experiencia personal, especialmente para niños muy pequeños; es muy común que a la gente le falte experiencia observacional cuando comienzan a aprender astronomía; y el aprendizaje del sistema de referencia geocéntrico provee alguna ayuda" (Shen y Confrey, 2010, p. 13)*

*"En un sentido formal, el modelo geocéntrico se refiere a un sistema que es cinemáticamente consistente con el modelo heliocéntrico. Los dos modelos son paralelos: difieren solamente en la preferencia de elección del origen de un particular sistema de referencia" (ibíd., pág. 8).*

*"La solución es tomar al movimiento como relativo: esto es, el origen de un sistema de referencia para describir el movimiento es arbitrario. La elección de un sistema de referencia es solamente una cuestión pragmática" (ibíd., pag 18).*

Más allá que algunos autores lo toman como sinónimos, en este trabajo utilizaremos la expresión "sistema de referencia topocéntrico" y no usaremos la de "modelo geocéntrico", tal como figura en la cita anterior, dado que esta última expresión puede provocar confusiones que supongan una cierta adhesión al modelo antiguo de universo, con sus principios fundamentales incluidos (Tierra central y estática, movimientos circulares y uniformes, diferencias entre el mundo supralunar y el sublunar, etc). Por el contrario, lo que se sostiene en este trabajo es la adhesión a los conceptos físicos vigentes hoy en día, como la relatividad de todos los movimientos y la posibilidad de descripción de los mismos desde cualquier sistema de referencia. A su vez, este desarrollo implica una concepción actual de la ciencia, que propone a los modelos como construcciones humanas que poseen fines descriptivos, explicativos y predictivos.

Desde un punto de vista físico, la elección de un determinado sistema de referencia espacial se basa en criterios de conveniencia (simplicidad de la descripción) y de rigidez (las distancias entre los cuerpos tomados como referencias espaciales deben mantenerse invariables). Este proceso de elección hace posible el estudio de la evolución de las teorías astronómicas y de los antiguos "sistemas del mundo", los cuales estaban naturalmente referidos a la Tierra, a la que creían central e inmóvil. Por lo tanto, discutir los sistemas de universo y su evolución constituye una oportunidad para trabajar sistemas de referencia con los alumnos (Nuvoli, 1992):

*"...en principio cualquier sistema de referencia puede ser usado para describir el fenómeno. No debemos sostener que algún sistema es correcto en un sentido absoluto" (Dunin-Borkowski y Mank, 1992, p. 457).*

*"...Si se le pregunta a la gente, uno encuentra cierto buen conocimiento acerca de que la Tierra es un planeta, que orbita alrededor del Sol una vez al año y que rota alrededor de su eje una vez al día. Pero al preguntar para explicar las estaciones, usted encontrará extraordinariamente vagas o nulas ideas... El tratamiento de las estaciones es esencialmente un problema de transformación de sistemas de referencia. Varios fenómenos básicos de astronomía son cuestión de encontrar un adecuado sistema de referencia." (Szostak, 1992, p. 491)*

Luego de concluida esta sección, es posible afirmar que no existe ninguna razón debidamente fundamentada para explicar los fenómenos astronómicos cotidianos a niños de nivel primario, e incluso a adultos, exclusivamente desde una perspectiva externa a la Tierra. Los criterios de sencillez, relación con el entorno y la posibilidad concreta de realizar predicciones le brinda ciertas ventajas a la utilización del sistema de referencia topocéntrico. Esto no quiere decir abandonar el sistema de referencia heliocéntrico, pero sí colocarlo en el marco que le corresponde: como una posible forma, de abordar la explicación de los fenómenos del día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares, conociendo las dificultades de comprensión que trae asociadas.

Por estos motivos, no queda del todo claro por qué las editoriales, los docentes y los formadores de futuros docentes continúan utilizando el sistema de referencia heliocéntrico en forma exclusiva al momento de intentar enseñar acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos. La siguiente cita es sumamente representativa de la situación actual planteada en el seno de la didáctica de la astronomía:

*"Las razones por las cuales las personas aceptan el sistema heliocéntrico hoy en día probablemente no son muy diferentes a las presentes en la antigüedad cuando el sistema geocéntrico era la ortodoxia" (Shen y Confrey, 2010, p. 22).*

#### 4.5. Conclusiones de la revisión bibliográfica

En función del análisis bibliográfico realizado, es posible concluir algunas cuestiones relacionadas con el trabajo de investigación a llevar a cabo:

- Una gran cantidad de investigaciones dan cuenta de enormes dificultades por parte de niños, jóvenes y adultos para la comprensión de los fenómenos astronómicos más cotidianos: día y noche, estaciones del año y fases de la Luna. Esto llama la atención al ser fenómenos sumamente cotidianos, sencillos de observar a simple vista y con amplio desarrollo en los libros de texto de nivel primario y en los materiales curriculares.
- La revalorización de la Astronomía observacional como parte de los contenidos escolares es un reclamo vigente en las publicaciones analizadas desde hace, como mínimo, 20 años. Sin embargo, esta línea de trabajo ha sido muy poco incorporada en la educación formal, y en los libros de texto, donde no se relaciona la Astronomía con la observación directa del cielo.
- Los docentes en ejercicio poseen muchas veces las mismas ideas intuitivas o modelos mentales en relación a los fenómenos astronómicos cotidianos que poseen los alumnos. Por lo tanto, es factible la transmisión de información inadecuada o errónea dentro del aula de clases. Esto se vuelve aún más problemático debido a que se han detectado algunos de estos errores en los textos escolares que se utilizan en las escuelas.
- Pese a que en varios artículos analizados se menciona que enseñar acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos desde una perspectiva centrada en la Tierra puede favorecer mejores aprendizajes en niños pequeños, la gran mayoría de estos trabajos proponen este abordaje con el objetivo de comprender mejor a futuro el modelo heliocéntrico y los movimientos de la Tierra y la Luna vistos desde el espacio. Incluso se toma como aparente el movimiento de los astros vistos desde la superficie terrestre, como si existiese algún sistema de referencia privilegiado o absoluto para definir cuáles desplazamientos son "reales" y cuáles no.
- Algunos trabajos de los últimos años quitan del centro de la enseñanza de la astronomía al modelo heliocéntrico, planteando la comprensión del recorrido diario del Sol en el cielo moviéndose entre la perspectiva centrada en la Tierra y la vista desde el espacio. Sin embargo, no se ha investigado este planteamiento didáctico con fenómenos más complejos, tales como las estaciones del año y las fases de la Luna.
- Ninguna de las publicaciones analizadas manifiesta en forma contundente la posibilidad de utilizar el sistema de referencia topocéntrico como forma de abordar la enseñanza de los fenómenos astronómicos cotidianos desde lo cercano y concreto sin la necesidad específica de realizar el salto conceptual hacia el sistema de referencia heliocéntrico, el cual reviste más interés por cuestiones culturales que por ayudar en la comprensión de los fenómenos celestes visibles desde la Tierra.



En consecuencia, a partir del análisis bibliográfico realizado, cobra relevancia la necesidad de llevar adelante un trabajo de investigación centrado en la utilización didáctica del sistema de referencia topocéntrico con el fin de que los estudiantes logren describir, explicar y predecir los fenómenos celestes más cotidianos con una muy aceptable precisión.



# CAPÍTULO 5: RESULTADOS PRELIMINARES

---

## 5.1. Introducción

En este capítulo se detallarán los resultados obtenidos a partir de trabajos llevados a cabo dentro de esta investigación en forma previa al diseño de la propuesta didáctica a desarrollar en el aula. Los mismos han sido elaborados con el fin de poner en contexto la investigación, tanto en el marco general de la didáctica de la astronomía como en el marco local de la enseñanza y el aprendizaje acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos en la zona donde se desarrollará el trabajo de campo.

El primer análisis realizado tuvo como fin incluir esta Tesis en el cuadro más general del estado actual de las investigaciones en relación a la didáctica de la astronomía, poniendo particularmente la atención en identificar cuáles son los sistemas de referencia astronómicos que se utilizan, tanto explícita como implícitamente, en una selección de 50 artículos académicos presentes en la revisión bibliográfica (**Sección 5.2.**).

El segundo análisis llevado a cabo puso el foco en uno de los materiales más importantes con que cuentan alumnos y docentes al momento de querer acceder a información sobre los fenómenos celestes: los libros de texto. Se estudiaron las imágenes incluidas en 20 libros escolares de nivel primario presentes en las escuelas de la zona y se detectaron una cantidad importante de errores conceptuales y didácticos (**Sección 5.3.**).

El tercer análisis se centró en conocer cuál es el grado de conocimiento que poseen estudiantes de todos los niveles educativos y docentes de nuestra zona acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos con el fin de evaluar similitudes y diferencias con estudios realizados en otros lugares de la Argentina y del mundo. A su vez, este trabajo preliminar tuvo como fin poner el eje en el tema central de esta investigación: cuál es el sistema de referencia astronómico que utilizan en forma implícita los alumnos y docentes cuando deben elaborar una explicación acerca de uno de dichos fenómenos. Para ello se tomaron indagaciones y se realizaron entrevistas sobre las causas del ciclo día/noche, fenómeno que fue elegido por ser más cotidiano y sencillo de explicar que las estaciones del año y las fases lunares (**Sección 5.4.**).

## 5.2. Sistemas de referencia en la enseñanza de la Astronomía

En esta sección se presenta el resultado de un proceso de revisión bibliográfica centrado en identificar cuáles son los sistemas de referencia astronómicos que utilizan los investigadores, tanto implícita como explícitamente, cuando intentan averiguar y categorizar las concepciones de los alumnos y docentes en relación a la comprensión de los fenómenos astronómicos más cotidianos (día y noche, estaciones del año y fases de la Luna) y cuando proponen secuencias de enseñanza acerca de dichos fenómenos. A modo de hipótesis, se prevee que existirá un predominio de artículos en los cuales los fenómenos celestes son desarrollados desde un sistema de referencia externo a la Tierra, sin hacer mención a la posibilidad de describirlos y explicarlos adecuadamente desde un sistema posicionado en la superficie terrestre.

### 5.2.1. Sistemas de referencia astronómicos

Como ya se ha mencionado, la elección de un sistema de referencia adecuado es un tema crucial para el análisis y la comprensión de los fenómenos físicos ya que éstos no ocurren igual en todos los sistemas y, en consecuencia, cobra gran relevancia el proceso de decisión acerca de cuál elegir con el fin de lograr que los fenómenos de la naturaleza aparezcan en él de la forma más simple (Landau et al., 1973). Dado que el sistema de referencia puede ser arbitrario, la descripción del movimiento de un cuerpo será diferente en función de la elección que se realice. Si el sistema de referencia se encuentra en el mismo objeto a analizar, éste se hallará en reposo respecto al sistema elegido pero se encontrará en movimiento respecto a otros posibles sistemas de referencia. Esto implica que el mismo cuerpo se moverá diferente, siguiendo distintas trayectorias, en los distintos sistemas.

El concepto de sistema de referencia presenta cierta complejidad conceptual, por lo que debe ser desarrollado y enseñado explícitamente en las clases de Física. Esto queda en evidencia dado que los alumnos de entre 9 y 16 años suelen describir la posición que ocupa un cuerpo respecto a otro sin referirla a ningún sistema de referencia explícito, estableciendo únicamente una relación lineal directa entre el observador y el cuerpo o entre dos cuerpos (Jiménez Gómez y Guirao Moya, 2007). A su vez, los estudiantes muestran una tendencia a definir el movimiento como algo intrínseco al cuerpo y no como algo en relación a un sistema de referencia específico, lo que provoca que movimiento y reposo sean considerados substancialmente inequivalentes (Saltiel y Malgrange, 1980). En este sentido, se encuentra muy presente la idea acerca de la existencia de un sistema de referencia absoluto, basado en los cambios en la posición de un cuerpo en relación al espacio mismo, y que todas las descripciones realizadas desde otros sistemas deberían ser transformadas a éste. Esta preferencia de los estudiantes, incluso los universitarios, por un espacio o sistema de referencia absoluto no llama la atención si se tiene en cuenta que en la vida cotidiana se suele aceptar implícitamente la existencia de tales sistemas (el suelo, por ejemplo) (Driver, 1986).

Pese a que existen ciertas ventajas de los “sistemas de referencia inerciales”, en el caso de los fenómenos astronómicos se torna imposible definir un sistema de referencia que sea estrictamente inercial ya que la Tierra se encuentra en rotación y con continuas aceleraciones, y lo mismo sucede si se desea centrar el sistema de referencia en el Sol. Sin embargo, dado el lento cambio en las velocidades, un sistema de referencia posicionado en la Tierra o en el Sol puede ser considerado inercial para la gran mayoría de las experiencias cotidianas. Por lo tanto, resulta conveniente utilizar la idea de “esfera celeste”: una esfera de radio arbitrario sobre la que se encuentran proyectados todos los astros. En función de dónde se posiciona el centro de la esfera, los sistemas de referencia han sido clasificados en topocéntrico (un lugar de la superficie terrestre), geocéntrico (centro de masas de la Tierra) o heliocéntrico (centro de masas del Sistema Solar) (Berrocoso et al., 2003). (**Tabla 5-1**)

**Tabla 5-1:** Características de los tres sistemas de coordenadas astronómicos más utilizados para analizar las causas de los fenómenos astronómicos cotidianos.

Origen	Centro de la esfera celeste	Nombre del sistema	Plano fundamental	Coordenadas
Topocéntrico	Superficie terrestre	Horizontal o Altacimutal	Horizonte del observador	Acimut y altura
Geocéntrico	Centro de masas de la Tierra	Ecuatorial absoluto	Ecuador celeste	Ascensión recta y declinación
Heliocéntrico	Centro de masas del Sistema Solar	Heliocéntrico	Eclíptica	Longitud y latitud heliocéntricas

### 5.2.2. Metodología

El trabajo realizado consistió en la lectura minuciosa de 50 artículos presentes en la revisión bibliográfica de esta investigación, los cuales fueron analizados teniendo en cuenta frases que hicieran referencia a un determinado sistema de referencia, tanto en forma explícita como implícita. De este modo, cada artículo fue clasificado en función de utilizar un sistema de referencia centrado en el Sol (heliocéntrico), centrado en la Tierra (terrestre) o en ambos simultáneamente (dual):

- a) Heliocéntricos (He): aquellos que brindan explicaciones y descripciones utilizando un sistema de referencia externo a la Tierra. Esta categoría incluye la subcategoría “Heliocéntrico observacional” (He obs), que corresponde a artículos que, a su vez, sostienen la necesidad de relacionar dichas explicaciones y descripciones “heliocéntricas” con lo que se observa desde la superficie terrestre.
- b) Terrestres (Te): brindan descripciones y explicaciones utilizando un sistema de referencia centrado en la Tierra. Esta categoría incluye las subcategorías “Geocéntrico” (Geo), donde el sistema de referencia se encuentra centrado en el centro de masas de la Tierra, y “Topocéntrico” (To), en la cual el sistema de referencia tiene su origen en un punto de la superficie terrestre.
- c) Dual (Du): se utilizan descripciones y explicaciones del movimiento de los astros en el cielo vistos desde la superficie terrestre, haciendo referencia a que estos movimientos pueden explicarse de igual modo desde un sistema de referencia externo a la Tierra. Esto implica que estos artículos indican explícitamente la posibilidad de utilizar adecuadamente un sistema de referencia externo (He) o uno terrestre (Te), en sintonía con lo que postula el principio de relatividad del movimiento.

A su vez, se identificó el o los niveles educativos que estaban siendo mencionados en cada trabajo: alumnos y docentes de nivel primario, alumnos y docentes de nivel medio, alumnos y docentes de carreras de formación docente o alumnos de carreras de nivel superior en general.

### 5.2.3. Frases que identifican sistemas de referencia

A continuación se presentan algunas citas extraídas de los artículos analizados que han permitido su categorización. Al finalizar cada cita se encuentra indicado el número de trabajo y la página correspondiente (el listado numerado de artículos se encuentra en el **Anexo**).

#### • C.1. Sistema de referencia “Heliocéntrico” (He)

*“...se les solicitó explicar, con un diagrama o usando una esfera de poliestireno que se les proporcionó, por qué se hace de día y de noche.” [3] (p. 504)*

*“La conceptualización de las causas de las fases lunares requiere un pensamiento muy complejo. Primero, los alumnos deben saber los movimientos de rotación y revolución de la Luna y la Tierra y sus posiciones relativas al Sol mientras se van moviendo.” [4] (p. 12)*

*“En este trabajo se estudian las representaciones gráficas y los textos que acompañan a las mismas, realizadas por estudiantes de Magisterio sobre los movimientos de la Tierra y de la Luna y sus consecuencias. Su análisis permite afirmar que hay una falta de comprensión del modelo Sol-Tierra-Luna.” [20] (p. 153)*

*“Se le solicita al profesor... que escoja el objeto que mejor representa a la Tierra y lo coloque en un lugar de la sala... [luego, sobre el objeto elegido] que coloque un muñeco que represente a una persona en la superficie de Tierra.” [28] (p. 802)*

*“En ningún caso se advierte que [el movimiento del Sol] se trata de un movimiento aparente.” [44] (p. 343)*

### **C.1.1. Subcategoría: “Helio-céntrico observacional” (He obs)**

*“Los estudiantes destacaron los siguientes aspectos positivos de la unidad didáctica: - Se contempla la observación de los movimientos aparentes de los astros. - La constante relación realidad observable / modelo interpretativo.” [16] (p. 126)*

*“...resulta irrelevante que un niño, «sepa» el movimiento de rotación terrestre si no sabe explicar con él la variación de la posición del Sol en el cielo a lo largo de la jornada y la sucesión de los días y las noches.» [17] (p. 230)*

*“...[los estudiantes] respondieron correctamente que en la latitud de Turquía, al norte del Trópico de Cáncer, el Sol nunca está directamente sobre la cabeza al mediodía... La mayoría de los estudiantes... indicaron que la causa de las diferentes estaciones que experimentamos cada año son la inclinación del eje de la Tierra con respecto al plano de su órbita y su giro alrededor del Sol.” [23] (p. 19)*

## **• C.2. Sistema de referencia “Terrestre” (Te)**

### **C.2.1. Subcategoría: “Geocéntrico” (Geo)**

*“Nuestra intención en este capítulo es presentar al sistema geocéntrico como un modelo útil, que sirve para hacer predicciones válidas de los movimientos del Sol, las estrellas y la Luna (y de las fases de esta última) tal como se ven en el cielo a simple vista.” [19] (p. 136)*

*“Ninguna percepción directa del cuerpo nos hace pensar en el desplazamiento de nuestro planeta sobre el que apoyamos los pies. No hay ninguna razón práctica evidente para hacernos abandonar el modelo de Tolomeo... éste «funciona» estupendamente para explicar y describir lo que se ve cotidianamente.” [25] (p. 175)*

### C.2.2. Subcategoría: “Topocéntrico” (To)

*“Una observación más atenta y extendida en el tiempo, muestra el movimiento uniforme de la mayor parte de éstas a lo largo del día y del año y el de la luna y algunas de estas «estrellas», respecto a las otras que parecen mantener invariables sus posiciones relativas y permiten su agrupación en imaginarias figuras: las constelaciones...” [42] (p. 48)*

*“...es decir, como el observador (los niños) está ubicado en un determinado punto de la Tierra, todo lo que puede observar debe describirse en primer lugar desde un sistema centrado en el lugar del observador (posición topocéntrica), y entonces se puede hablar con total rigurosidad, de que el Sol sale y se pone...” [6] (p. 153)*

*“Estas actividades han de estar dirigidas a reconocer los astros más importantes que podemos apreciar, a conocer sus nombres y a tratar de determinar cómo éstos modifican sus posiciones a lo largo del tiempo, siempre desde una posición centrada en nuestro propio punto de referencia.” [13] (p. 196)*

### • C.3. Sistema de referencia “Dual” (Du)

*“...será a través del citado diálogo entre la realidad y la utilización de los modelos concretos como gradualmente se irán construyendo aprendizajes que incorporen una "perspectiva dual" en el análisis de estos fenómenos: nos referimos a imaginar al mismo tiempo dos perspectivas: la topocéntrica propia de lo netamente vivencial, observacional, y una perspectiva propia del megaespacio, como si estuviéramos observando el sistema desde afuera.” [7] (p. 84)*

*“La astronomía diurna es de hecho mucho más fácil de aprender, como primer paso, cuando describimos todos los fenómenos desde el sistema de referencia del observador... Sabemos que el arco seguido por el Sol en el cielo local es el efecto resultante (visible) de nuestra propia rotación (la Tierra).” [9] (p. 40)*

*“Los resultados presentados aquí apoyan nuestra afirmación de que los estudiantes necesitan ser guiados en la comprensión de cómo hacer las conexiones entre los movimientos reales de los objetos heliocéntricos y sus consecuencias observables desde una perspectiva con sede en la Tierra.” [34] (p. 23)*

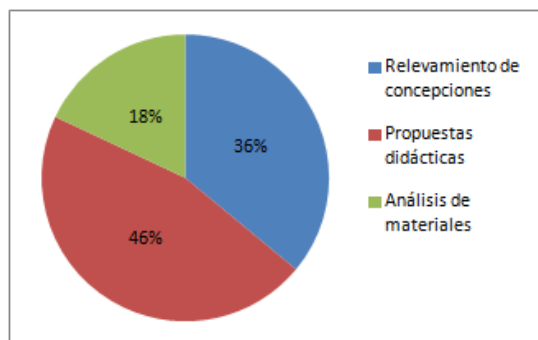
*“...el modelo geocéntrico se refiere a un sistema que es cinemáticamente consistente con el modelo heliocéntrico. Los dos modelos son paralelos: difieren solamente en la preferencia de elección del origen del sistema de referencia.” [37] (p. 8)*

El análisis completo llevado a cabo se encuentra en la **Sección 10.6 del Anexo**. Allí se especifica el listado numerado de los artículos y se presenta la **Tabla 10.6** en la que se detalla cada trabajo analizado con alguna/s cita/s representativa/s que permiten identificar el sistema de referencia utilizado en el mismo.

#### 5.2.4. Resultados

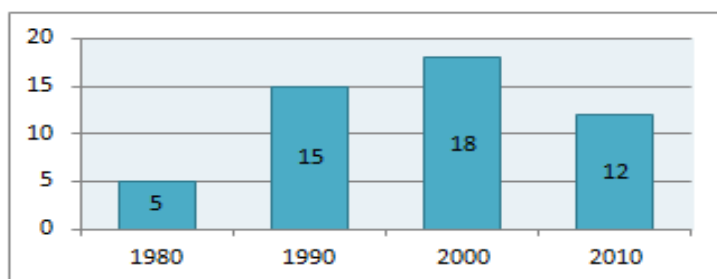
De acuerdo a los objetivos formulados en los trabajos analizados, en la **Figura 5-1** se aprecia que muchos presentaban propuestas didácticas (46%), otros realizaban una indagación de concepciones sobre los fenómenos astronómicos cotidianos presentes en docentes y alumnos (36%) y algunos otros examinaban materiales curriculares (18%).

**Figura 5-1:** Tipos de artículos analizados.



A su vez, en la **Figura 5-2** puede apreciarse que 30 trabajos analizados (60% del total) han sido publicados en los últimos 12 años, y 45 en los últimos 20 años (80% del total), dando cuenta de ser una revisión actualizada.

**Figura 5-2:** Cantidad de artículos analizados por década de publicación.

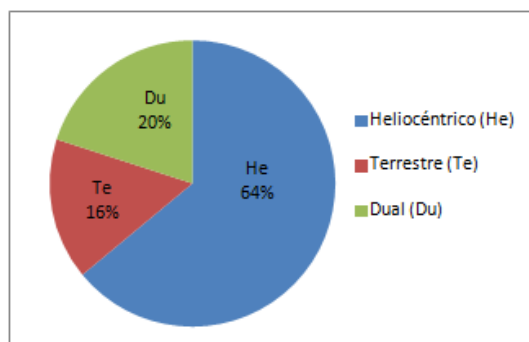


Más allá de haber examinado una muestra acotada, es posible afirmar que esta revisión es representativa de una cantidad de trabajos mucho mayor dado que en cada uno de los artículos analizados estaban presentes referencias bibliográficas que se encontraban en sintonía y fundamentaban en cierto modo lo planteado en él.

Como se aprecia en la **Figura 5-3**, del total de artículos analizados (50), 32 de ellos (64%) utilizan un sistema de referencia externo a la Tierra (categoría “Heliocéntrico”), 10 de los trabajos (20%) proponen el uso de un sistema de referencia terrestre para la descripción de los fenómenos observables en el cielo y, simultáneamente, uno externo para la explicación de los mismos (categoría “Dual”) y, por último, 8 artículos (16%) sostienen descripciones y explicaciones desde un punto ubicado en nuestro planeta (categoría “Terrestre”).

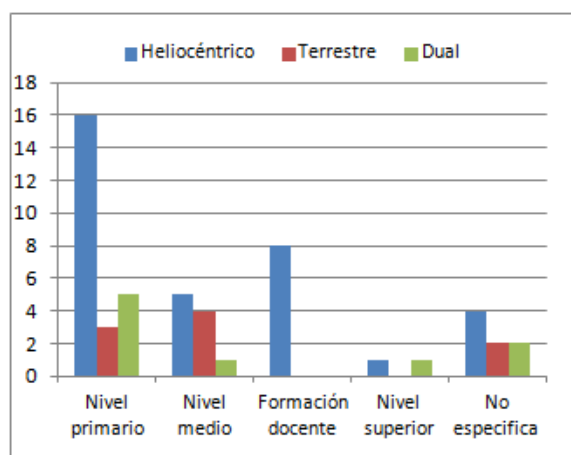


**Figura 5-3:** Porcentaje de artículos que utilizan cada sistema de referencia.



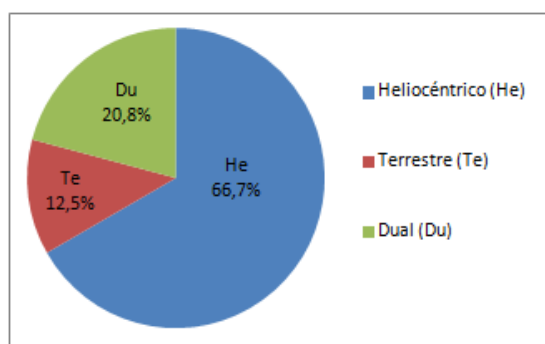
En la **Figura 5-4** se presenta un análisis acerca de la categoría en que fue clasificado cada trabajo en función del nivel educativo con el que se relaciona. En este caso, algunos artículos fueron contados más de una vez dado que estaban dirigidos a más de un nivel educativo y se discriminan aquellos que no especifican un nivel educativo en particular. A su vez, en el nivel superior se diferencian aquellos trabajos relacionados con estudiantes de carreras de formación docente de aquellos vinculados con estudiantes de otras carreras.

**Figura 5-4:** Cantidad de artículos clasificados por categoría y por nivel educativo.



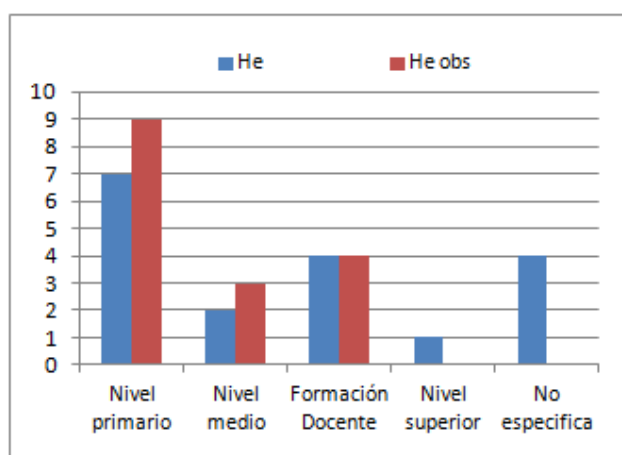
Como puede apreciarse, en prácticamente todos los niveles predominan los trabajos que utilizan el sistema de referencia helio-céntrico, haciéndose mucho más notable esta diferencia en el nivel primario y en la formación docente. Vale aclarar que los artículos categorizados como “duales” involucran también explicaciones “helio-céntricas”, por lo cual la presencia de este último sistema de referencia es sin dudas preponderante en los artículos examinados. Por ejemplo, los 8 trabajos analizados correspondientes a la formación docente presentan un desarrollo “helio-céntrico” de los fenómenos astronómicos tratados. A su vez, de 24 trabajos analizados para el nivel primario, sólo 3 (12,5%) proponen descripciones netamente terrestres (**Figura 5-5**).

**Figura 5-5:** Porcentaje de artículos de nivel primario por cada categoría.



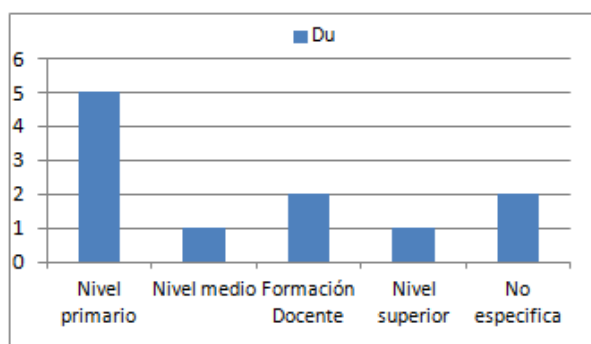
El análisis de los 34 trabajos incluidos en la categoría “Heliocéntrico” se presenta en la **Figura 5-6**, el cual muestra que prácticamente la mitad de los artículos (47%) manifiestan la necesidad de relacionar las explicaciones heliocéntricas con lo que puede observarse en el cielo desde la superficie terrestre (subcategoría “Heliocéntrico observacional”). Esta última posición es abordada en una gran proporción de artículos en los cuales se identifica a las observaciones del cielo como una propuesta didáctica motivadora que favorece los aprendizajes. En consecuencia, tanto en el nivel medio como en el primario, la cantidad de trabajos incluidos en la categoría “Heliocéntrico observacional” (He obs) supera a los que no proponen la relación con el cielo cotidiano.

**Figura 5-6:** Cantidad de trabajos que utilizan exclusivamente el sistema de referencia heliocéntrico, clasificados por nivel con el que se relaciona el artículo.



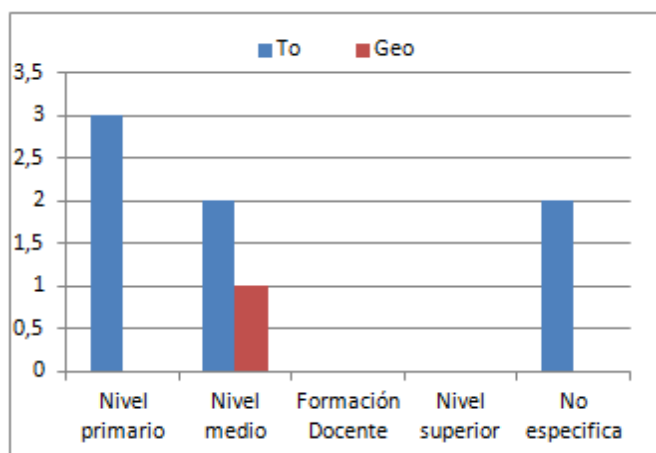
Algunos artículos manifiestan la importancia de enseñar a los estudiantes a moverse entre distintos sistemas de referencia (Camino, 2004; Shen y Confrey, 2010; Plummer et al., 2011). La **Figura 5-7** muestra la presencia de esta categoría “Dual” (Du) en los distintos niveles educativos, la cual se encuentra presente en un 20% de los artículos analizados y, en mayor medida, en trabajos relacionados con el nivel primario.

**Figura 5-7:** Cantidad de trabajos incluidos en la categoría Dual por nivel educativo.



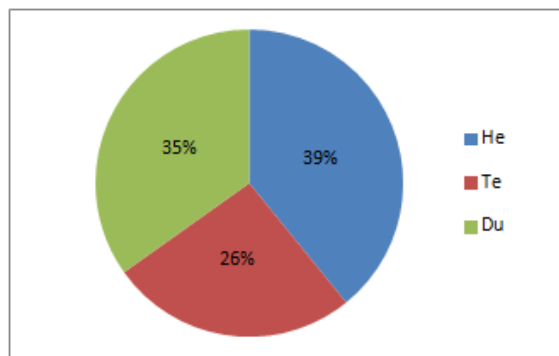
Los sistemas de referencia terrestres (Geocéntrico o Topocéntrico) son poco utilizados en todos los niveles ya que se presentan en sólo el 16% del total de artículos analizados, aunque llama especialmente la atención su nula presencia en los trabajos vinculados a la formación docente (**Figura 5-8**). Esto puede guardar cierta relación con su escasa utilización en las aulas de nivel primario, en contraposición con el sistema heliocéntrico, de gran presencia en dicho nivel.

**Figur 5-8:** Cantidad de trabajos que utilizan exclusivamente un sistema de referencia terrestre, clasificados por nivel.



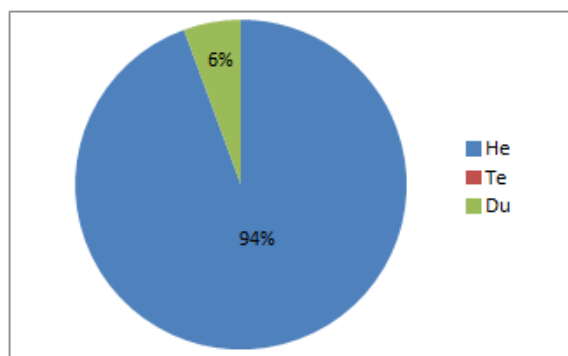
Entre los 50 artículos analizados existe una preponderancia de trabajos que utilizan exclusivamente el sistema de referencia heliocéntrico para explicar los fenómenos astronómicos más cotidianos. Sin embargo, este predominio no se visualiza de igual modo en todos los tipos de artículos. Por ejemplo, como puede verse en la **Figura 5-9**, entre los 23 trabajos que presentan propuestas didácticas para el aula, este predominio no se visualiza de ninguna manera ya que los porcentajes por categoría se encuentran muy cercanos entre sí: el 39% de los trabajos son "Heliocéntricos", el 35% presenta un abordaje "Dual", mientras que un 26% son "Terrestres".

**Figura 5-9:** Porcentaje de artículos pertenecientes a cada categoría que presentan propuestas didácticas.



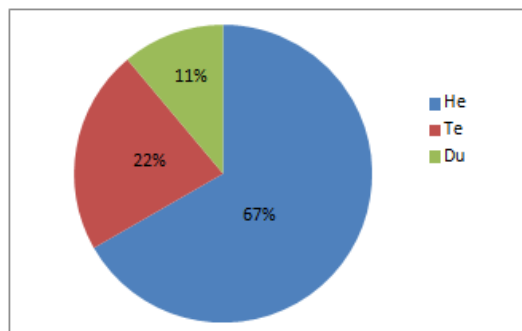
Muy por el contrario, la **Figura 5-10** muestra que al analizar los 18 trabajos que relevan concepciones en relación a los fenómenos astronómicos cotidianos tanto de estudiantes como de docentes, se encuentra que en dichos relevamientos predomina ampliamente la utilización del sistema de referencia heliocéntrico para la explicación de dichos fenómenos. En este caso, 17 artículos pertenecen a la categoría “Heliocéntricos” mientras que sólo uno propone un abordaje “Dual”. Llama la atención que entre los trabajos analizados no se encuentren investigaciones centradas en conocer las ideas de estudiantes y docentes en relación a los movimientos de los astros en el cielo posicionados desde un sistema de referencia topocéntrico.

**Figura 5-10:** Porcentaje de artículos que relevan concepciones de estudiantes y docentes, clasificados por categoría.



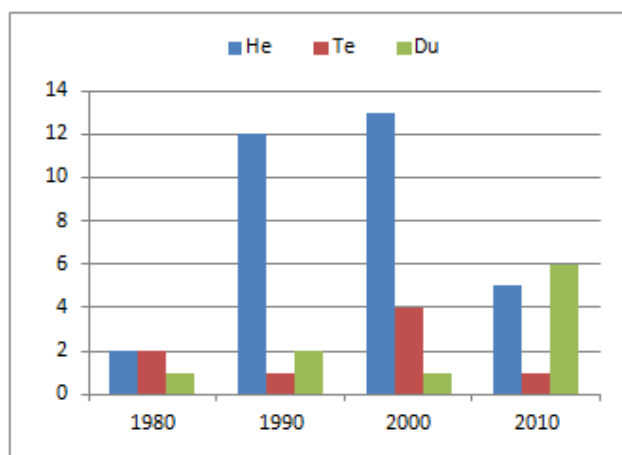
La **Figura 5-11** muestra el análisis de los 9 trabajos que examinan materiales curriculares. Aquí se encuentran 6 artículos “Heliocéntricos” (67%), lo que indica un predominio en la utilización de este sistema de referencia. A su vez, 2 de los artículos son “Terrestres” (22%), mientras que sólo 1 fue clasificado como “Dual” (11%). Como ya se ha mencionado, realizar este análisis desde un determinado sistema de referencia implica privilegiar implícitamente un punto de vista, en detrimento de la posibilidad de explicar los fenómenos cotidianos adecuadamente desde otra perspectiva.

**Figura 5-11:** Porcentaje de artículos que analizan materiales curriculares, clasificados por categoría.



Por su parte, si analizamos el o los sistemas de referencia utilizados en los trabajos en relación al año de su publicación, encontramos lo sintetizado en la **Figura 5-12** que los artículos “Heliocéntricos” son mayoritarios en el período 1990 - 2010, tendencia que se revierte ampliamente en los últimos años, donde la cantidad de artículos “duales” equipara prácticamente a la de “heliocéntricos”. A su vez, se evidencia que la cantidad de trabajos que utilizan un sistema de referencia exclusivamente “terrestre” disminuye en los últimos años.

**Figura 5-12:** Cantidad de artículos publicados en cada década, clasificados por categoría.



### 5.2.5. Análisis de resultados

Como se ha visto, entre los 50 artículos analizados existe una preponderancia de trabajos que utilizan exclusivamente el sistema de referencia heliocéntrico para explicar los fenómenos astronómicos más cotidianos. A su vez, los artículos incluidos en la categoría “Heliocéntricos” suelen indicar como “reales” a los movimientos descritos desde un punto de vista externo a la Tierra y, en contraposición, caracterizan como “aparentes” a aquellos movimientos descritos desde un sistema de referencia terrestre.

Esto último se contradice con el principio de relatividad del movimiento, que expresa que todos los movimientos son “aparentes” ya que dependen del sistema de referencia elegido. Las citas de los artículos [16] y [17] que figuran en la **Sección 10.6.** del **Anexo** son un ejemplo de lo aquí expresado.

La muestra de trabajos analizada ha sido elegida sin un criterio específico de selección, lo que le brinda ciertas ventajas y desventajas. Por un lado, las desventajas se relacionan con ser una muestra pequeña en relación a la cantidad de trabajos relacionados con la comprensión de los fenómenos astronómicos cotidianos publicados en los últimos 30 años. Sin embargo, dado que cada trabajo presenta en su bibliografía otros artículos que generalmente refuerzan lo expresado en él, es posible afirmar que el análisis realizado es representativo de una muestra muchísimo mayor a la aquí examinada. A su vez, posee la desventaja de presentar algunos artículos pertenecientes a los mismos autores, lo que provoca que ciertas posturas se vean reforzadas por sobre otras. Sin embargo, puede considerarse que esta “repetición” da cuenta de la dedicación y el compromiso de determinados autores con la investigación en el área, hecho que no queda representado si se decide analizar un artículo por autor.

Por último, las conclusiones que se extraen de este trabajo no intentan ser concluyentes en cuanto a porcentajes y cantidades relativas a la utilización de cada sistema de referencia astronómico. Por el contrario, proponen centrar la mirada en un aspecto didáctico en el cual ha habido exiguo desarrollo y del cual se ha investigado escasamente: la influencia de los sistemas de referencia a la hora de generar aprendizajes acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos en los estudiantes. En este sentido, la elección de una muestra arbitraria de investigaciones resulta ventajosa ya que pone en evidencia que, sin importar demasiado los artículos analizados, casi con seguridad se encontrará una preponderancia de trabajos “Heliocéntricos”, cuyos autores no especifican desde qué sistema de referencia se encuentran describiendo y explicando los fenómenos astronómicos más cotidianos.

#### **5.2.6. Conclusiones sobre el uso de los sistemas de referencia astronómicos**

La elección de un sistema de referencia adecuado para el análisis de un determinado fenómeno físico es central en el trabajo científico cotidiano y, en consecuencia, a la hora de tener que proponer secuencias para la enseñanza de dichos fenómenos. Sin embargo, muchos estudiantes, incluso universitarios, sostienen la existencia de un sistema de referencia, con mayor validez que cualquier otro, en el cual existen objetos en reposo absoluto y en los cuales las leyes de la Física son enunciadas de un modo “correcto”. En esta sección se ha buscado identificar si esta creencia se manifiesta también en el caso de los fenómenos astronómicos y, particularmente, si se pone de manifiesto o no en los trabajos de investigación.

En función del análisis realizado, se puede evidenciar que en los artículos examinados predomina la utilización del sistema de referencia heliocéntrico para la descripción y explicación de los fenómenos astronómicos posibles de ser observados en el cielo cotidianamente. Dado que la elección de un sistema de referencia determinado responde a cuestiones de utilidad y sencillez, es llamativo que la mayoría de los trabajos no mencionen explícitamente las razones para privilegiar un sistema de referencia por sobre otro. Parecería ser que muchos de los investigadores consideran que las únicas descripciones y explicaciones posibles y válidas de los fenómenos astronómicos son las que se realizan desde un sistema de referencia externo a la Tierra, sin tomar conciencia de que, para muchos de los fenómenos observables desde nuestro planeta, las

explicaciones “terrestres” son extremadamente sencillas y potentes desde un punto de vista descriptivo y predictivo (Gellon et al., 2005).

En este sentido, el utilizar descripciones y explicaciones topocéntricas permite poner el acento en la observación a simple vista del cielo, relacionando la Astronomía con lo vivencial y cotidiano para el alumno, y potenciando sus ganas de conocer debido al asombro que provoca la belleza y grandiosidad del firmamento (Lanciano, 1989). A su vez, permite que el alumno utilice con total rigurosidad su lenguaje cotidiano ya que, desde su posición, efectivamente “el Sol sale y se pone”, “la Luna sale cada día más tarde” o “las estrellas giran” (Camino, 1999). Por lo tanto, sería importante preguntarse qué tan relevante puede ser para la enseñanza de las ciencias que los alumnos “sepan”, por ejemplo, el movimiento de rotación terrestre, si “no saben” explicar la variación de la posición del Sol en el cielo a lo largo del día y de los meses (García Barros et al., 1997).

Por otro lado, pese a la existencia de una gran cantidad de investigaciones que dan cuenta de enormes dificultades por parte de niños, jóvenes y adultos para la comprensión de los fenómenos astronómicos más cotidianos, como el día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna, no se han detectado trabajos que pongan énfasis en identificar si dichas dificultades pueden guardar alguna relación con el sistema de referencia utilizado a la hora de brindar explicaciones acerca de estos fenómenos.

A su vez, pese a haber encontrado que aproximadamente un cuarto (26%) de los trabajos que proponen propuestas didácticas promueven la enseñanza de los fenómenos astronómicos cotidianos utilizando un sistema de referencia terrestre, esto se ve muy poco reflejado en los trabajos de investigación sobre concepciones alternativas y, sobre todo, en los materiales curriculares presentes en las escuelas.

Esto abre un espacio importante de reflexión en relación a la necesidad de desarrollar, profundizar y explicitar el trabajo con sistemas de referencia, de modo tal que en los artículos sobre enseñanza de la Astronomía comience a indicarse claramente cuál es el sistema de referencia que se está utilizando, sin dar por sentado que hay uno solo posible para explicar un determinado fenómeno: explicitar y justificar el sistema de referencia elegido es un requisito indispensable a la hora de desarrollar investigaciones en esta temática.

### **5.2.7. Conclusiones relacionadas con el tema de investigación**

En el análisis llevado a cabo quedó en evidencia una sobrevaloración del enfoque heliocéntrico, el cual posee relevancia para la construcción de una representación mental acorde y actualizada de las características del Sistema Solar, pero de escasa incidencia en la comprensión de los fenómenos celestes posibles de ser observados cotidianamente a simple vista en el cielo. Para estos fenómenos, es más adecuado su estudio desde un punto de la superficie terrestre.

En relación con la secuencia de enseñanza a desarrollar en esta investigación, basada en la utilización didáctica del sistema de referencia topocéntrico, este trabajo preliminar ha permitido conocer que muy pocas investigaciones han puesto el foco en esta perspectiva y que en ninguno de los artículos analizados se ha planteado lo que se propone en esta investigación: el desarrollo de una propuesta de enseñanza únicamente topocéntrica acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos.

### **5.3. La astronomía en los libros escolares**

En esta sección se centra la atención en los libros escolares de educación primaria existentes en las escuelas de la zona donde se implementará la propuesta de enseñanza a desarrollar y, particularmente, en las imágenes presentes en los mismos relacionadas con el ciclo día/noche, las estaciones del año y las fases lunares. Este trabajo preliminar surgió, justamente, debido a haber detectado la existencia de textos que poseen errores conceptuales y didácticos, lo que sugiere la necesidad de una revisión del contenido de estos materiales educativos sumamente utilizados en las instituciones escolares.

#### **5.3.1. Las imágenes en los libros**

Los textos escolares se encuentran presentes en la gran mayoría de los establecimientos educativos de la Argentina debido a que en muchos casos los propios organismos públicos los envían para ser utilizados por los docentes en sus clases. En algunas jurisdicciones, estos textos quedan dentro de la institución escolar, mientras que en otras son repartidos directamente a los alumnos. En otros casos es el mismo docente el que sugiere a los estudiantes la compra de un determinado libro escolar. Esto determina que los libros de texto ejerzan una gran influencia en la configuración de la enseñanza y en la práctica cotidiana del docente.

Por su parte, las imágenes presentes en los libros no son un medio neutro, sino el reflejo de los conocimientos e intenciones de los autores. En este sentido, el libro de texto traduce de algún modo el currículum, transmite determinados métodos educativos y determina, muchas veces, los contenidos que se desarrollan y el modo en que son enseñados en las escuelas. Dado que están escritos con finalidad exclusivamente pedagógica, presentando de forma especializada y organizada los aspectos básicos de un tema o área para un determinado nivel educativo, no sólo incluyen información en diferentes formatos, sino que también contienen una propuesta didáctica en forma explícita o implícita (Jiménez, 2000).

Por otro lado, el uso del libro de texto puede facilitar y transformar la labor del docente permitiendo el desarrollo de actividades de discusión y solución de problemas con los alumnos y el manejo de grupos numerosos y heterogéneos en edades y habilidades. A su vez, puede ayudar a los docentes a completar sus conocimientos acerca de temas en los que no han recibido una buena formación y colaborar con los alumnos para que puedan estudiar en forma independiente, tanto en clase como en sus casas (Uribe, 2006).

En la utilización del libro de texto es deseable una aproximación crítica al mismo por parte de estudiantes y docentes, tomándolo como un material de apoyo y no como una guía única, de modo tal de no empobrecer las capacidades de los alumnos ni el desempeño de los docentes. De este modo se evita caer en el "textocentrismo", en donde el docente se transforma en un administrador del libro escolar, el cual se convierte en el fin mismo de la enseñanza y en una "verdad absoluta" imposible de ser discutida. Para ello, tanto el docente como los alumnos deben poder cuestionar su contenido, admitiendo que los textos son escritos por gente real en un contexto determinado, impregnado por cuestiones culturales, económicas y políticas (Peña y Rojas, 1997).



Los libros escolares se organizan en un formato que incluye textos e imágenes. El hecho de que las imágenes han ido ganando cada vez más espacio en los libros se debe a cierto "convencimiento", de la industria editorial y del "imaginario pedagógico", de que el uso de recursos visuales constituye un modo de mejorar la comprensión del lector, en cualquier área de conocimiento, incluida la enseñanza de las ciencias naturales. Sin embargo, no es posible afirmar que la presencia de imágenes en los libros de texto provoque una mejora intrínseca en el desempeño de los alumnos. Resulta necesario profundizar en el abordaje apropiado a llevar adelante en las clases con las imágenes presentes en los libros, de modo tal de que favorezcan la comprensión por parte de los estudiantes (Otero, Moreira y Greca, 2002), y estudiar en qué medida promueven la construcción de representaciones mentales adecuadas (Greca y Moreira, 1998).

En relación con las representaciones mentales, como ya se ha detallado, Johnson-Laird (1983) propuso la existencia de un código representacional formado por proposiciones, imágenes y modelos mentales. Una proposición es una afirmación verbalmente expresable, las imágenes mentales son producto de la percepción y/o de la imaginación y representan aspectos perceptibles de los objetos del mundo real. Por su parte, los modelos mentales son representaciones analógicas que se elaboran en la memoria de trabajo, que permiten dar sentido a las imágenes y realizar inferencias o extraer conclusiones (Greca y Moreira, 1998). En este sentido, comprender una situación o problema implica la posibilidad de elaborar un modelo mental con funciones descriptivas, explicativas y predictivas (Johnson Laird, 1996).

En este trabajo se sostiene como premisa básica que el proceso de comprensión basado en la construcción de modelos mentales puede ser influido a partir del aporte de representaciones externas, tales como las imágenes presentes en los libros de texto. Al respecto, Kosslyn (1986) sugiere la existencia de una transición en el modo de pensar: los niños pequeños utilizarían principalmente imágenes mentales en sus razonamientos mientras que los adultos tenderían a utilizar, en mayor medida, representaciones verbales o proposiciones abstractas. Por su parte, Bruner, Olver y Greenfield (1967) sostienen que los niños de entre uno y siete años pueden representar el mundo en forma imaginaria mediante imágenes mentales, las cuales representan solamente aquellas características más relevantes. En consecuencia, no es casualidad que el uso de dibujos aparezca vinculado al pensamiento infantil. Sin embargo, la percepción de una representación visual externa no originará, necesariamente, una imagen mental ya que la comprensión de las representaciones externas se produce mediante un complejo proceso personal de representación interna de la información externa. Por otro lado, la utilización preponderante de imágenes mentales por parte de los niños no implica necesariamente que las imágenes externas les resulten sencillas y fácilmente comprensibles (Otero et al., 2002). En este sentido, "percepción e imaginación son procesos diferentes, aunque están íntimamente relacionados" (ibíd., p. 133).

Pese a lo anteriormente expresado respecto a la falta de correspondencia estricta entre imágenes externas e internas, los libros escolares parecerían estar sustentados en ideas del sentido común que otorgan a las imágenes externas un carácter de facilitador del recuerdo y de los aprendizajes, como si el contenido de la imagen fuese "evidente". Esto queda reflejado en la cantidad de imágenes presentes en los libros de texto, cantidad que aumenta considerablemente en los primeros años de la escuela primaria, y en la recurrente ausencia de relaciones entre las imágenes y la información que se presenta. En contraposición, parecería que este uso de los recursos visuales no reporta beneficios cognitivos importantes dadas las grandes dificultades para poder representar internamente de manera adecuada el conocimiento relevante por parte de los estudiantes. Esto se pone particularmente de manifiesto en el tratamiento de los contenidos de astronomía, donde los libros de texto exhiben una gran cantidad de

representaciones visuales de distinto tipo, mientras los estudiantes y docentes continúan manteniendo ideas inadecuadas acerca de los fenómenos astronómicos más cotidianos (Schoon, 1992; Camino, 1995; Greca y Moreira, 1997; Vega Navarro, 2007).

Dada la gran cantidad de representaciones relativas a los fenómenos astronómicos presentes en los libros escolares, en esta sección se centrará la atención en examinar solamente aquellas imágenes presentes en textos de nivel primario relativas a los movimientos observables del Sol y la Luna en el cielo, y a la comprensión de los fenómenos del día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna. Se analizarán las representaciones que presenten errores conceptuales y/o didácticos que puedan actuar como obstáculos para una comprensión adecuada de estos fenómenos astronómicos por parte de alumnos y docentes.

### **5.3.2. Imágenes externas y representaciones internas**

Las imágenes representan uno de los medios de expresión más utilizados a la hora de transmitir información tanto en la sociedad en general como en el ámbito educativo. En este sentido, las representaciones externas de carácter pictórico han pasado a ocupar un lugar central en los libros escolares, en los cuales aparecían pocas fotografías, dibujos, gráficos, historietas, etc., hasta hace menos de dos décadas. Sin embargo, estudios relativamente recientes muestran que, lejos de resolver las dificultades de comprensión detectadas en los estudiantes, el uso masivo de imágenes presenta dificultades intrínsecas debido a la existencia de una relación incierta entre la representación externa visual que se presenta al alumno y la representación mental que éste logra construir (Otero, Moreira y Greca, 2002; Fanaro, Otero y Greca, 2005; Perales, 2006; Matus Leites, Benarroch y Perales, 2008; Raviolo, 2013).

En el "imaginario popular", subyace la idea de que el uso de imágenes mejora la comprensión y el rendimiento escolar ya que éstas reducen la abstracción, promueven el recuerdo y la imaginación, vinculan el conocimiento científico a la vida cotidiana y motivan a los estudiantes (Otero y Greca, 2004). A su vez, existen otras concepciones sobre el rol pedagógico de la imagen en los libros de texto (Fanaro et al., 2005): las imágenes "se graban" en la cabeza y no se olvidan, son "sencillas" y "evidentes", "no necesitan explicación" y "se comprenden mejor que las palabras". Todas estas ideas contribuyen a un uso inadecuado de las imágenes en el contexto educativo.

Sin embargo, estas afirmaciones no son válidas en todos los contextos ya que la percepción de una imagen no implica en modo alguno una relación unívoca con una cierta representación interna. Por el contrario, la construcción de esta representación dependerá de los conocimientos previos del estudiante, de su interés en la temática y en el modo de desarrollo de las clases, de sus concepciones alternativas, de sus capacidades propias y del proceso de construcción de significado que se lleve a cabo a partir de la imagen. En consecuencia, los alumnos pueden perderse en el camino de la imagen a la conceptualización, interpretar inadecuadamente las imágenes y generar nuevas concepciones alternativas o reforzar las ya presentes (Raviolo, 2013).

Por otro lado, la interpretación de las imágenes muchas veces requiere habilidades mentales espaciales (Harle y Towns, 2011). Estas habilidades cobran relevancia al querer interpretar imágenes relacionadas a los fenómenos astronómicos, las cuales muchas veces implican la necesidad de poseer destrezas en la visualización, orientación y rotación espacial.

Todas estas consideraciones sugieren que los docentes deben ser conscientes de las limitaciones y dificultades asociadas al uso de las imágenes presentes en los libros de texto y en otros materiales que utilizan este tipo de recursos. En consecuencia, es necesario que desarrollen competencias asociadas a la búsqueda, edición e incorporación de recursos visuales en las actividades a desarrollar en las aulas, partiendo de un análisis crítico, creativo, fundamentado y pedagógico de los mismos. Para ello será necesario contar con un conocimiento disciplinar y didáctico del contenido a desarrollar en las clases, lo que les permitirá realizar una selección adecuada de dichos recursos. Para esta instancia de selección de imágenes asociadas a determinadas actividades áulicas será importante tener conocimiento sobre las ideas básicas fundamentales de la temática, los temas relevantes y cuestiones de interés, las dificultades que suelen poseer los alumnos y las concepciones alternativas más comunes (Raviolo, 2013).

### 5.3.3. Concepciones sobre las causas de los fenómenos astronómicos cotidianos

Como ya se ha mencionado en la revisión bibliográfica, la cantidad de investigaciones acerca de las dificultades de aprendizaje del modelo Sol-Tierra-Luna y sus fenómenos asociados es sumamente extensa. Algunas de ellas analizan las ideas de los estudiantes sobre la forma de la Tierra (Nussbaum, 1979; Baxter, 1989), mientras que otras indagan acerca de los modelos con los que los alumnos intentan explicar los fenómenos del día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna (Schoon, 1992; Vosniadou y Brewer, 1992, 1994; Trumper, 2001; Trundle et al., 2007; Vega Navarro, 2007; Galperin et al., 2012). A su vez, otras investigaciones indagan acerca de las concepciones sobre estos fenómenos presentes en maestros de primaria, o en futuros docentes, mostrando similitudes entre los modelos explicativos que utilizan los docentes con los que ponen en juego los alumnos (Camino, 1995; Schoon, 1995; De Manuel, 1995; Atwood y Atwood, 1995, 1996; Martínez Peña y Gil Quílez, 2001; Trundle et al., 2002, 2006; Vega Navarro, 2001, 2007; Fernández Nistal y Peña Boone, 2007; Bayraktar, 2009).

Como se ha indicado en el **Capítulo 4**, las ideas más comunes detectadas en los distintos trabajos respecto a las causas del día y la noche, son las siguientes:

- a) El Sol se oculta y sale la Luna.
- b) Cuando está el Sol, no está la Luna (acercamiento y alejamiento del Sol y de la Luna).
- c) Las nubes tapan el Sol durante la noche.
- d) La Luna tapa el Sol.
- e) La Tierra rota mientras el Sol y la Luna se encuentran estáticos en el espacio en posiciones opuestas respecto a nuestro planeta.
- f) La Luna y el Sol giran en torno a la Tierra en posiciones opuestas.
- g) La Tierra orbita al Sol en 24 horas sin girar sobre su eje.
- h) La Tierra rota sobre su eje.

Muchas de las concepciones anteriores tienen su origen en la idea errónea muy común presente en niños, e incluso en muchos adultos, respecto a que la Luna se observa en el cielo todas las noches. En consecuencia, los modelos explicativos se “adaptan” a este supuesto conocimiento, que no es cuestionado, y la Luna termina siendo incorporada en

muchas de las explicaciones. En este sentido, algunos de los modelos explicativos mencionados anteriormente constituyen "modelos sintéticos" (Vosniadou y Brewer, 1994), donde se combinan aspectos de un modelo inicial e intuitivo basado en la experiencia cotidiana ("la Luna se ve todas las noches") con aspectos de la cultura aceptada (la Tierra es esférica y rota sobre sí misma).

A su vez, las investigaciones muestran que algunas ideas alternativas de los docentes en ejercicio, o de los futuros docentes, son similares a las que poseen alumnos de nivel primario (Schoon, 1995; Galperin et al., 2012), y que determinados modelos explicativos alejados del modelo científico continúan presentes aún después de finalizada una instancia de formación específica acerca de la temática (Camino, 1995).

Por otro lado, existen muy pocas investigaciones centradas en analizar las ideas alternativas más comunes en relación al movimiento diario del Sol en el cielo, fenómeno indispensable para poder comprender adecuadamente la sucesión de los días y las noches desde un sistema de referencia topocéntrico (Camino, 1999; Galperin, 2011). Desde este sistema de referencia local, el día corresponde al lapso de tiempo en el que el Sol realiza su movimiento diario por encima del horizonte, apareciendo por algún lugar del horizonte oriental hasta ocultarse, varias horas después, por algún lugar del horizonte occidental. Contrariamente a lo que muchos niños y adultos piensan, sólo dos días al año el Sol sale justo por el este y se oculta por el oeste.

A su vez, debido a la ubicación geográfica de la Argentina, la trayectoria diaria del Sol en el cielo se observa inclinada hacia el norte. Esto implica que, contrariamente a lo que la mayoría de las personas creen, un observador situado en casi cualquier localidad de la Argentina nunca tendrá al Sol en el cenit y, si mira en dirección al Sol, siempre observará su recorrido de derecha a izquierda. Por otra parte, debido al huso horario utilizado por nuestro país (UTC -3), el mediodía solar no ocurre nunca a las 12 hs, dependiendo este horario de la longitud geográfica del lugar de observación. En las localidades situadas más hacia el este, el mediodía solar ocurre cerca de las 12.20 hs, mientras que ocurre cerca de las 13.50 hs en aquellos lugares situados hacia el oeste. En El Bolsón, situado bien hacia el oeste, el mediodía solar medio ocurre a las 13.45 hs.

En relación con la causa de las estaciones del año, la concepción mayoritaria en niños y adultos es la que sostiene que este fenómeno se debe a la distancia variable entre la Tierra y el Sol a medida que nuestro planeta se traslada en su órbita. En este sentido, un video realizado hace más de dos décadas mostró que la mayor parte de los graduados de Harvard no podía explicar adecuadamente las estaciones del año ni las fases lunares (Schneps y Sadler, 1989), manteniendo concepciones alternativas similares a las identificadas en niños de escolaridad primaria y en alumnos de secundaria. A su vez, la mayor parte de los adultos asocian las estaciones del año con la traslación de la Tierra alrededor del Sol, dejando de lado la inclinación del eje terrestre, lo que refuerza la idea errónea que asocia este fenómeno con la distancia de la Tierra al Sol.

Por otro lado, son escasos los estudios en relación a las ideas más comunes sobre el modo en que se desplaza el Sol en el cielo de un día al otro y sobre cómo este movimiento anual permite explicar las estaciones del año en forma topocéntrica. Desde este sistema de referencia, las diferencias estacionales pueden comprenderse a partir del movimiento anual del Sol hacia el norte y hacia el sur, lo que hace que su trayectoria se observe más alta o más baja a lo largo del año, provocando la llegada de sus rayos con diferente inclinación a medida que transcurren los meses. En consecuencia, el Sol no sale ni se pone por el mismo lugar ni en el mismo horario todos los días, lo cual se encuentra íntimamente relacionado con las estaciones.

Respecto a las causas de las fases lunares, las concepciones más comunes detectadas en niños y adultos en los distintos trabajos de investigación son las siguientes:

- a) La parte que falta de la Luna está en otra parte de la Tierra.
- b) Una nube tapa parte de la Luna.
- c) La sombra de la Tierra impide ver toda la Luna.
- d) La forma de la Luna cambia en función de cómo es vista desde la Tierra su parte iluminada.

En prácticamente todos los estudios llevados a cabo, la noción predominante es la que identifica a la sombra de la Tierra como causa de este fenómeno, indicando una gran confusión entre las fases lunares y los eclipses.

Al igual que con el ciclo día/noche y con las estaciones, existen pocos estudios que analicen las ideas presentes en niños y adultos en relación al movimiento que realiza la Luna en el cielo, tanto durante el mismo día como de un día al otro. En este sentido, la mayor parte de las personas desconoce que la Luna realiza su movimiento diario en forma análoga al Sol: saliendo por algún lugar del horizonte oriental hasta ocultarse, varias horas después, por algún lugar del horizonte occidental. A su vez, existe gran desconocimiento respecto a que la Luna no se encuentra en la misma posición en el cielo al observarla dos días seguidos a la misma hora: ésta se desplaza hacia el horizonte oriental debido a su propio movimiento orbital alrededor de la Tierra. Este desplazamiento "hacia oriente" provoca las fases: pese a que el Sol ilumina constantemente la mitad de la superficie de nuestro satélite, no es posible ver siempre toda la mitad iluminada debido a que la Luna cambia su posición respecto al Sol a medida que se desplaza en el cielo. Por otro lado, pese a que en un mismo día la fase lunar es igual para todos los observadores terrestres, el lado de la Luna que se ve iluminado varía según el hemisferio en que se encuentre el observador. Por ejemplo, la Luna en cuarto creciente posee su lado izquierdo iluminado cuando se la observa desde el hemisferio sur, mientras que posee su lado derecho iluminado cuando se la observa ese mismo día desde el hemisferio norte.

Todas estas concepciones presentes en niños y adultos son las que deben ser muy tenidas en cuenta a la hora de decidir qué imágenes estarán presentes en los libros escolares y cuál será el texto que las acompañará, de modo tal que las mismas no transmitan explícitamente ni refuercen en forma implícita dichas concepciones. Como se verá a continuación, muchas de las imágenes presentes en los libros analizados transmiten información errónea en relación a los fenómenos mencionados y, en otros casos, promueven interpretaciones que pueden causar el refuerzo de las concepciones alternativas más comunes.

#### **5.3.4. Metodología**

Se analizaron 19 libros de texto correspondientes al nivel primario que son o han sido utilizados en las escuelas de la zona de El Bolsón en los últimos años. La mayoría de ellos han sido editados en la última década y, para simplificar el análisis, se decidió centrarse únicamente en las imágenes relacionadas con la explicación de los fenómenos del día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna, tanto desde un sistema de referencia heliocéntrico, externo a la Tierra, como del sistema de referencia topocéntrico.

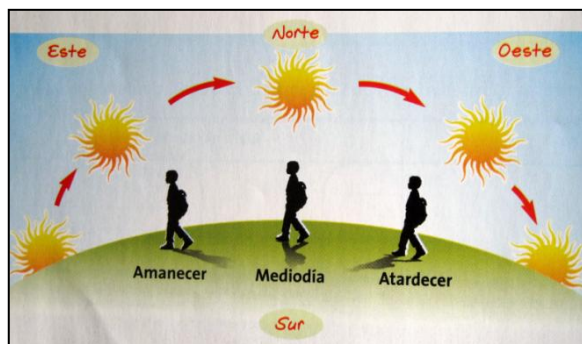
Algunos libros adicionales encontrados no fueron tenidos en cuenta al no desarrollar explícitamente estos contenidos. Los datos de los libros examinados y la cantidad de imágenes analizadas en cada uno de ellos se presenta en la **Tabla 5-2** Todos estos libros fueron editados en la República Argentina.

**Tabla 5-2:** Listado de libros de texto analizados.

Nro.	Nombre del libro	Editorial	Año	Nivel	Imágenes analizadas
1	Soy de primero	EDIBA	2008	1º grado	1
2	Hola, mi libro y yo 1º	EDIBA	2006	1º grado	3
3	Vamos mi libro y yo 3º	EDIBA	2008	3º grado	3
4	Manual 4. Santillana Comprender	Santillana	2008	4º grado	9
5	Caramelos de Coco y Dulce 3º	Est. Mandioca	2010	3º grado	3
6	Quiero aprender. Manual 4º	Tinta Fresca	2010	4º grado	5
7	Soy de quinto	EDIBA	2009	5º grado	6
8	Ciencias Naturales 6º EGB	Santillana	2004	6º grado	2
9	Ciencias Naturales 4º	Kapelusz	2005	4º grado	3
10	Cs. Naturales 4: mentes en red	Edebé	2011	4º grado	4
11	Ciencias Naturales 4 Federal	Kapelusz	2011	4º grado	7
12	Una rana mete la pata 2: áreas	Aique	2008	2º grado	2
13	Chubut pura naturaleza	M. Ed. Chubut	2006	4º grado	1
14	Manual Punto de encuentro 6	Ediciones SM	2012	6º grado	4
15	ACTIVA 6 EGB Soc/Nat Fed	Puerto palos	2001	6º grado	5
16	El Libro de la Naturaleza 7	Estrada	1998	7º grado	5
17	Manual 5EGB	Santillana	1997	5º grado	3
18	Yo soy de sexto	EDIBA	2013	6º grado	3
19	Ciencias Naturales 7	Santillana	2011	7º grado	2

El análisis llevado a cabo ha tenido en cuenta la presencia de dos tipos de errores en las imágenes de los libros: los conceptuales y los didácticos. Los errores conceptuales son aquellos vinculados con una comprensión inadecuada del fenómeno natural que se intenta explicar. En este sentido, relacionar explícitamente la noche con la presencia de la Luna en el cielo es un error conceptual debido a que dicho fenómeno sólo tiene relación con la ausencia del Sol. Otro ejemplo de este tipo de errores es indicar que la salida del Sol permite determinar los puntos cardinales, desconociendo que el Sol sale justo por el este sólo dos días al año y que su corrimiento anual respecto a esta posición es realmente muy notorio (**Figura 5-13**).

**Figura 5-13:** Imágenes que presentan errores conceptuales. Izquierda: los puntos cardinales pueden ser determinados a partir de observar la salida del Sol (sin especificar ningún momento del año). Derecha: el movimiento diario del Sol en el cielo se produce de izquierda a derecha (observando hacia el norte).



Por otro lado, los errores didácticos son aquellos que promueven aprendizajes inadecuados en los alumnos debido al tratamiento didáctico que se realiza del contenido que se desea enseñar. En este sentido, la interpretación de explicaciones, esquemas o imágenes por parte de los alumnos (incluso imágenes correctas desde el punto de vista científico) pueden provocar el refuerzo de las propias concepciones alternativas de los estudiantes previas al proceso de instrucción.

Por ejemplo, no es adecuado colocar a la Luna girando alrededor de la Tierra en una imagen (aunque sea en forma correcta) cuando se desea explicar el día y la noche a partir de la rotación terrestre. Esto representa un error didáctico ya que la presencia de la Luna refuerza la idea alternativa presente en grandes y chicos relativa a asociar a la noche con la Luna. Otro ejemplo de este tipo de errores es dibujar la órbita de la Tierra o indicar su movimiento de traslación cuando se desea explicar el día y la noche, reforzando la concepción alternativa que sostiene que dicho fenómeno está relacionado con el giro de la Tierra alrededor del Sol (**Figura 5-14**).

**Figura 5-14:** Imágenes que presentan errores didácticos. Izquierda: la imagen refuerza la concepción alternativa que asocia la noche con la presencia de la Luna. Derecha: la flecha grande refuerza la idea alternativa que asocia el ciclo día/noche con la traslación. El uso de imágenes animistas puede reforzar concepciones alternativas.



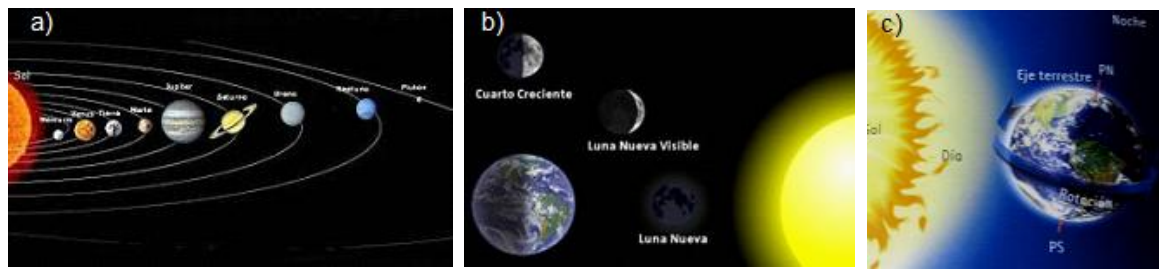
En el caso de las imágenes, existen dificultades intrínsecas relacionadas con la demanda de habilidades espaciales por parte del lector para poder interpretar adecuadamente la ilustración. En particular, muchas de las imágenes acerca de los fenómenos astronómicos requieren cierta habilidad de orientación espacial para lograr imaginar cómo se vería un objeto o un conjunto de ellos desde una perspectiva diferente a la del observador (la Tierra desde el espacio, por ejemplo).

A su vez, dado que los dibujos esquemáticos que se presentan en los textos constituyen construcciones humanas que persiguen una intención específica, es común que muchas imágenes astronómicas presenten errores didácticos debido a cualidades particulares que dificultan su interpretación:

- a) Se representa algo que no es posible ver desde ninguna posición de observación debido a haber forzado demasiado las simplificaciones en escala y perspectiva respecto a lo real. Por ejemplo, dibujar el Sistema Solar fuera de escala y con todos los planetas alineados (**Figura 5-15a**).
- b) Se representa desde una posición de observación lo que se vería desde otra. Por ejemplo, dibujar la Luna en fase en el espacio exterior tal como se la observa desde la superficie terrestre (**Figura 5-15b**).

- c) Se representa en una misma imagen lo que se vería desde dos o más posiciones de observación. Por ejemplo, dibujar la Tierra en el espacio exterior y representar el espacio que da hacia el Sol de color celeste y el opuesto al Sol de color negro (tal como se vería el cielo desde la superficie terrestre) (**Figura 5-15c**).

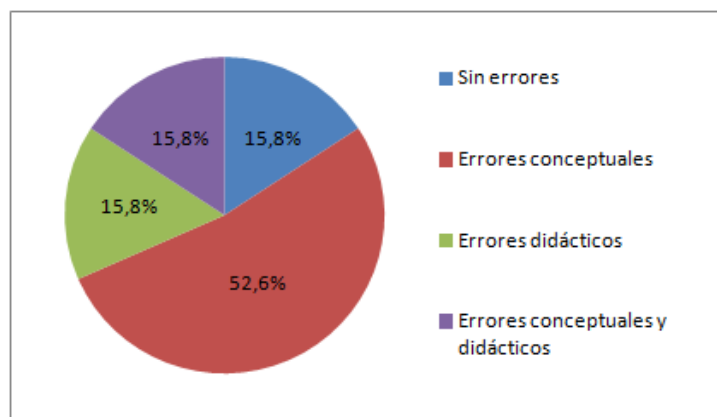
**Figura 5-15:** Imágenes que presentan errores didácticos debido a que requieren el uso de habilidades de orientación espacial para su comprensión. Las mismas promueven la construcción de ideas erróneas.



### 5.3.5. Análisis de imágenes sobre el día y la noche y el movimiento diario del Sol

Del total de libros analizados, en 19 de ellos se desarrolla el fenómeno del día y la noche utilizando 28 imágenes asociadas con dicho fenómeno. El análisis llevado a cabo permitió determinar que en 3 libros las imágenes no presentan errores conceptuales ni didácticos, aunque sólo uno de ellos desarrolla el fenómeno del día y la noche a partir de la rotación terrestre y, a su vez, de su relación con el desplazamiento diario del Sol en el cielo. Los otros dos presentan un desarrollo basado solamente en el movimiento de rotación de la Tierra. De los restantes libros, en 10 de ellos se identificaron imágenes que poseen errores conceptuales, en 6 de ellos imágenes con errores didácticos y en otros 3 se detectaron imágenes con errores conceptuales y didácticos. Como queda en evidencia, la gran mayoría de los libros analizados (casi un 85%) poseen errores de distinto tipo acerca de las causas del ciclo día/noche (**Figura 5-16**).

**Figura 5-16:** Porcentaje de libros en los que se detectaron los distintos tipos de errores en las imágenes correspondientes al fenómeno del día y la noche.





A continuación se brinda un detalle de los errores conceptuales y didácticos detectados en las imágenes presentes en los libros de texto analizados.

- Errores conceptuales:

- a) El planeta Tierra no está iluminado adecuadamente (6 libros). Esto se debe a que la parte iluminada no apunta hacia el Sol, a que la Tierra no posee una mitad iluminada y una mitad oscura, o a que la parte oscura de la Tierra se dibuja circular, como si correspondiese a la sombra de un objeto esférico no presente en la imagen.
- b) El Sol sale siempre por el este, lo que permite utilizar este evento astronómico para ubicar los puntos cardinales (4 libros).
- c) Cuando se observa en dirección al Sol desde nuestra ubicación, éste se mueve de izquierda a derecha (3 libros).
- d) Se incluye a la Luna en la explicación del día y la noche. Se la dibuja en el espacio en posición opuesta al Sol respecto a la Tierra, como si sólo se viese de noche (2 libros).
- e) El mediodía solar ocurre a las 12 hs, momento en que el Sol se encuentra en el cénit (1 libro).
- f) El Sol sale y se pone por el mismo lado del horizonte (1 libro).
- g) La Luna llena se observa mucho más grande que el Sol y sale por el mismo punto del horizonte que el Sol ese mismo día (1 libro).

- Errores didácticos:

- a) Representar el cielo nocturno visto desde la superficie terrestre e incluir en él a la Luna para explicar el día y la noche (5 libros).
- b) Incluir dibujos animistas para representar al Sol y a la Tierra (2 libros).
- c) Incluir a la traslación de la Tierra en la imagen explicativa del día y la noche (1 libro).
- d) Asociar el ciclo día/noche con las actividades que se realizan en cada momento del día sin hacer mención a la causa astronómica de este fenómeno (1 libro).
- e) Representar el espacio exterior con los colores del cielo terrestre: celeste del lado de la Tierra que mira hacia el Sol y negro del lado opuesto (2 libros).
- f) Superponer la representación del movimiento de la Tierra visto desde el espacio exterior con las actividades que se realizan de día o de noche en la superficie terrestre (1 libro).

La presencia de un determinado error en una imagen presente en uno de los libros analizados no implica en modo alguno la ausencia de otros errores en el mismo libro o incluso en la misma imagen. Como ejemplo de esto, en uno de los libros se analizaron un total de 5 imágenes relacionadas con el día y la noche y con el movimiento diario del Sol, en las cuales se detectaron 3 errores conceptuales y 1 error didáctico. Como se ve en la **Figura 5-17**, una misma imagen puede tener varios errores conceptuales y didácticos. En contraposición, 6 de los libros analizados presentaban un solo error, ya sea didáctico o conceptual, en una de sus imágenes.

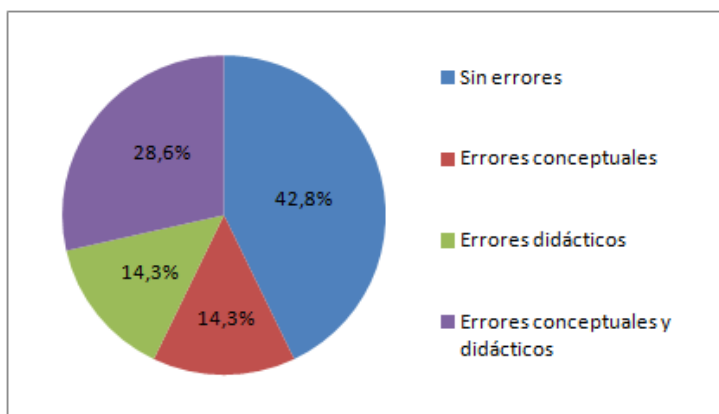
**Figura 5-17:** Ejemplo de imagen analizada en relación al día y la noche. Presenta los errores conceptuales a) y d) y el error didáctico f).



### 5.3.6. Análisis de imágenes sobre estaciones y el movimiento anual del Sol

Del total de libros analizados, en 14 de ellos se desarrolla el fenómeno de las estaciones del año utilizando 33 imágenes asociadas con dicho fenómeno. El análisis llevado a cabo permitió determinar que en 6 libros las imágenes no presentan errores conceptuales ni didácticos, aunque en sólo 2 de ellos se desarrolla el fenómeno de las estaciones a partir de la traslación terrestre y la inclinación del eje, relacionando esto con la altura del Sol en el cielo en el instante del mediodía solar. Los otros 4 libros presentan un desarrollo basado solamente en un sistema de referencia externo a la Tierra sin considerar qué es lo que puede observarse desde la superficie terrestre en relación a este fenómeno. De los restantes libros, en 2 de ellos se identificaron imágenes que poseen errores conceptuales, con errores didácticos se detectaron otros 2 libros y en otros 4 libros se detectaron imágenes con errores conceptuales y didácticos. En conclusión, más de la mitad de los libros analizados poseen errores relacionados con la explicación de las estaciones del año (**Figura 5-18**).

**Figura 5-18:** Porcentaje de libros en los que se detectaron los distintos tipos de errores en las imágenes correspondientes a las estaciones del año.



A continuación se listan los errores, tanto didácticos como conceptuales, detectados en las imágenes en relación al fenómeno de las estaciones del año.

Errores conceptuales:

- a) Asociar las estaciones del año sólo con la traslación de la Tierra, sin mencionar explícitamente la inclinación del eje terrestre (2 libros).
- b) Al dibujar las diferentes trayectorias del Sol a lo largo del año (más altas o más bajas), indicar que el movimiento diario del Sol se produce de izquierda a derecha (2 libros).
- c) Indicar las fechas de inicio de cada estación para el hemisferio sur como si fuesen válidas para toda la Tierra (2 libros).
- d) Representar la órbita de la Tierra muy elíptica, dando a entender que el afelio y el perihelio terrestre son causa de las estaciones (1 libro).
- e) Indicar que en verano los rayos del Sol llegan verticalmente a todo un hemisferio (1 libro).
- f) No mantener el eje de la Tierra siempre paralelo a sí mismo mientras la Tierra se traslada (1 libro).
- g) Dibujar el plano de movimiento diario del Sol en el cielo a  $90^\circ$  respecto del horizonte local (1 libro).
- h) Representar el Sol en el cénit en el mediodía solar correspondiente al inicio del verano (1 libro).

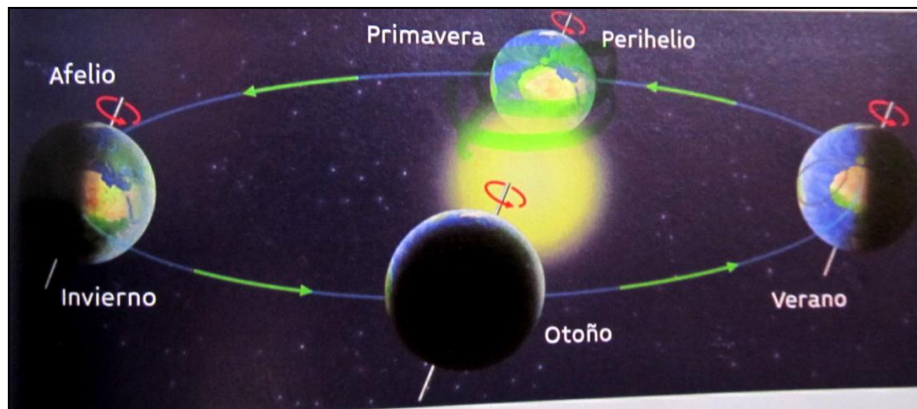
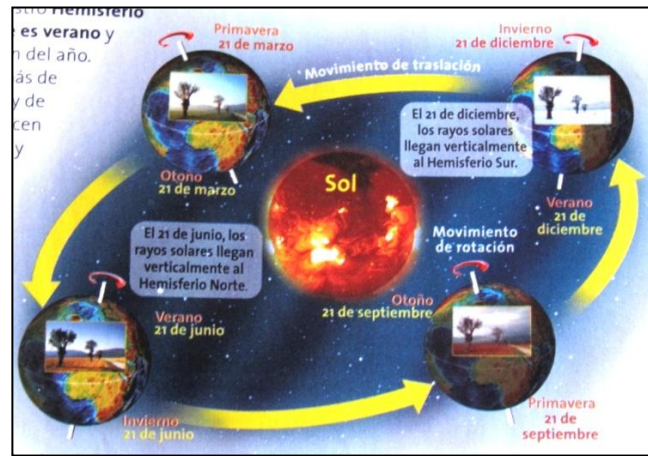
Errores didácticos:

- a) Representar la órbita de la Tierra como una elipse con una excentricidad exagerada (3 libros).
- b) Asociar las estaciones con los fenómenos terrestres que ocurren en cada momento del año (caída de hojas de árboles, nevadas, etc) sin hacer mención a las causas astronómicas de estos fenómenos (2 libros).
- c) Dibujar la Luna en una imagen en la que se desea explicar solamente las estaciones del año (1 libro).

Al igual que en el análisis de las imágenes acerca del día y la noche, la presencia de un determinado error en una imagen de uno de los libros analizados no implica la ausencia de otros errores en la misma imagen y/o en el mismo libro. Sin embargo, si se compara el análisis sobre las imágenes relacionadas con las estaciones del año con el llevado a cabo en relación al fenómeno del día y la noche, es notoria la diferencia en cuanto a la proporción de libros que no presentan errores de ningún tipo: 42,8 % de los textos que desarrollan el tema estaciones del año contra un 15,8 % de los libros que desarrollan el día y la noche.

A continuación se presentan imágenes que poseen errores conceptuales y didácticos en relación al fenómeno de las estaciones del año (**Figura 5-19**).

**Figura 5-19:** Ejemplos de imágenes analizadas en relación a las estaciones del año. Arriba: errores conceptuales d) y e). Medio: errores conceptuales c) y d) y el error didáctico a). Abajo: errores conceptuales b) y h).

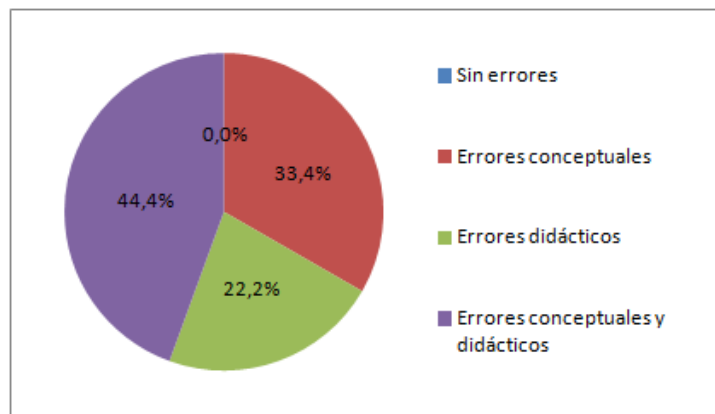


### 5.3.7. Análisis de imágenes sobre fases de la Luna y movimiento propio en el cielo

Del total de libros analizados, en 9 de ellos se desarrolla el fenómeno de las fases lunares utilizando 10 imágenes asociadas con dicho fenómeno. En la totalidad de estos libros se detectaron imágenes relativas al fenómeno que poseían errores conceptuales y/o didácticos.

Al analizar los 9 textos que desarrollan las fases de la Luna se determinó que 2 de ellos incluyen imágenes que poseen errores didácticos, en 3 de ellos se identificaron imágenes que poseen errores conceptuales y en otros 4 libros se detectaron imágenes con errores conceptuales y didácticos. Como puede verse, el tema no se desarrolla adecuadamente en ninguno de los libros analizados (**Figura 5-20**)

**Figura 5-20:** Porcentaje de libros en los que se detectaron los distintos tipos de errores en las imágenes correspondientes a las fases de la Luna..



A continuación se detallan los errores didácticos y conceptuales detectados en las imágenes relacionadas con el fenómeno de las fases lunares.

#### Errores conceptuales:

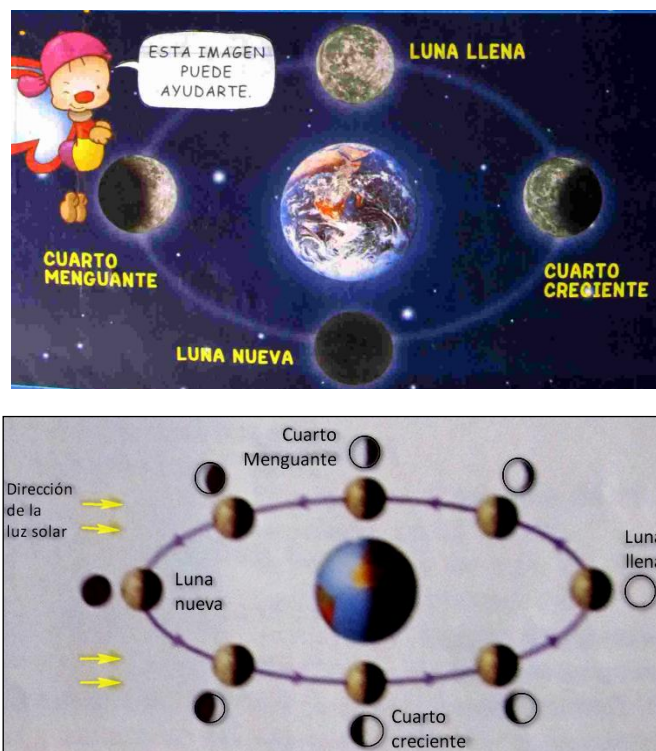
- Representar la Luna en el espacio exterior sin que su mitad iluminada apunte hacia el Sol (3 libros). En una imagen la mitad de la Luna que está iluminada "mira" hacia la Tierra.
- Indicar el giro de la Luna y su correspondiente lado iluminado por el Sol, tal como se observa desde el hemisferio norte (2 libros).
- Representar la Luna en el espacio exterior con fases, como se la puede observar desde la superficie terrestre (2 libros).
- Dibujar distintas fases y que sus nombres no coincidan con la forma correspondiente de la Luna tal como se la observa desde la Argentina (2 libros).

#### Errores didácticos:

- Representar las distintas fases de la Luna tal como se las observa en el cielo sin indicar la causa de este fenómeno (3 libros).
- Explicar simultáneamente las fases lunares junto con el fenómeno de la cara de la Luna no visible desde la Tierra (2 libros).
- No indicar la posición del Sol en el espacio exterior iluminando una mitad de la Luna (1 libro).
- Dibujar todas las fases (tal como se las observa en el cielo) en la misma imagen, como si las mismas pudiesen ser observadas en la misma noche (1 libro).

Como puede verse, ninguna de las imágenes presentes en los libros analizados resulta adecuada, lo cual muestra que el tratamiento del fenómeno es sumamente desacertado en todos los textos que desarrollan el tema. Esto llama la atención al ser libros que tienen como fin lograr una comprensión adecuada del fenómeno por parte de estudiantes de diferentes años del nivel primario. A continuación se presentan algunas de las imágenes analizadas y los errores detectados en ellas (**Figura 5-21**).

**Figura 5-21:** Ejemplo de imágenes analizadas en relación a las fases lunares. Arriba: errores conceptuales a), c) y d) y el error didáctico c). Abajo: errores conceptuales b) y d).



### 5.3.8. Conclusiones sobre las imágenes presentes en los libros de texto

Pese a que la muestra de libros analizados no abarca a la totalidad de los textos escolares utilizados en las escuelas primarias de la Argentina, es factible suponer que el análisis llevado a cabo brinda un diagnóstico aproximado de la situación que se presenta sobre el modo en que son tratados los fenómenos del día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna en los libros de texto, identificando errores conceptuales y didácticos de relevancia.

El análisis llevado a cabo permitió reconocer una gran cantidad de errores conceptuales y didácticos en las imágenes presentes en los libros que utilizan cotidianamente los estudiantes y docentes en las aulas. Esto permite suponer que algunas de las concepciones alternativas presentes en niños, jóvenes y en adultos en relación a los fenómenos astronómicos cotidianos pueden haber surgido a partir de la observación de imágenes en los libros escolares, muchas de las cuales refuerzan creencias equivocadas y transmiten información en forma errónea.

En sintonía con lo anterior, es posible sugerir que la gran cantidad de errores conceptuales presentes en los libros analizados pueden ser el resultado de la persistencia de las concepciones alternativas más comunes en relación a los fenómenos astronómicos cotidianos en los propios dibujantes y escritores de los libros. Estas ideas alternativas, probablemente elaboradas cuando los autores eran estudiantes y que no fueron nunca revisadas, son las que son transmitidas en mayor medida en los libros analizados. De lo contrario, no se entiende cómo es posible encontrar, por ejemplo, varias imágenes que indican erróneamente que el Sol siempre sale justo por el este y se oculta justo por el oeste, que las estaciones del año tienen su origen en la distancia variable entre la Tierra y el Sol o que las fases de la Luna ocurren debido a su giro alrededor de la Tierra sin tener en cuenta la posición del Sol.

A su vez, los errores didácticos detectados pueden tener su origen en la falta de capacitación por parte de los autores de los libros en relación a la didáctica de la astronomía, quienes parecen desconocer cuáles son las concepciones alternativas más comunes presentes en chicos de todas las edades en relación a los distintos fenómenos astronómicos que se desarrollan durante la escolaridad primaria. Esto queda de manifiesto al momento de haber encontrado imágenes en las que la Luna aparece representada en el cielo nocturno, reforzando la idea errónea respecto a la relación entre la Luna y la noche, en las que el Sol se ubica en el cenit en el momento del mediodía, en las que el lado iluminado de la Luna no "apunta" hacia el Sol, etc.

Como se puede concluir a partir del análisis realizado, las fases de la Luna resulta ser el tema en el cual, proporcionalmente, se detectan más errores, tanto conceptuales como didácticos. Sin embargo, llama la atención que el día y la noche sea el fenómeno que le sigue en dificultad, detectándose una proporción muy pequeña de libros que no poseen errores. En contraposición, casi la mitad de los libros analizados no poseen errores en las imágenes relacionadas con las estaciones del año.

Estas diferencias podrían ser el resultado de suponer que el fenómeno del día y la noche es sumamente sencillo de comprender, por lo que los autores no necesitarían profundizar el tema antes de comenzar a escribir los textos. Por el contrario, el fenómeno de las estaciones suele verse como un fenómeno más complejo, por lo que es posible que los autores realicen una instancia previa de repaso o estudio del tema. En cuanto a las fases, algunos de los errores pueden haber sido provocados por la utilización inadecuada de materiales didácticos diseñados en el hemisferio norte, los cuales no poseen validez en el hemisferio sur. Un ejemplo de esto son las imágenes que muestran a la Luna con su lado invertido respecto a cómo se la puede ver en el cielo cuando se observa desde la Argentina.

### **5.3.9. Conclusiones relacionadas con el tema de investigación**

En el análisis de imágenes presentes en los libros escolares quedó en evidencia que gran parte de las mismas poseen errores conceptuales y/o didácticos, tanto si los fenómenos son explicados desde un punto de vista externo a la Tierra como si lo hacen desde una perspectiva terrestre. En este sentido, llama la atención la cantidad de errores en cuestiones tan básicas como el sentido de movimiento diario del Sol en el cielo, el ciclo día/noche o los cambios en la altura del Sol a lo largo del año. En consecuencia, es claro que los libros de texto presentes en las escuelas no podrán ser utilizados dentro de la secuencia de enseñanza a desarrollar en el aula, lo que implica la necesidad de elaborar nuevos materiales que posean un enfoque topocéntrico didáctica y conceptualmente adecuado de los fenómenos astronómicos más cotidianos.

#### **5.4. Concepciones de alumnos y docentes de la zona sobre el día y la noche**

En esta sección se analizaron las ideas acerca del ciclo día/noche que poseen estudiantes de distintos niveles educativos y docentes en ejercicio de la región en la que se desarrolla esta investigación. Se llevó a cabo una indagación a partir de dibujos, explicaciones escritas y entrevistas semiestructuradas individuales con el fin de analizar si los trabajos presentes en la revisión bibliográfica sobre concepciones alternativas sobre el día y la noche son representativos de las nociones presentes en alumnos y docentes de nuestra zona. La información obtenida se interpretó desde una perspectiva centrada en los sistemas de referencia utilizados para explicar el fenómeno.

##### **5.4.1. Introducción**

Las ideas de los niños acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos han sido estudiadas en diferentes momentos del siglo XX. Sin embargo, como ya se ha detallado, el auge de estas investigaciones tuvo lugar a finales de los años 80 con la indagación generalizada de las llamadas concepciones alternativas de los estudiantes, las cuales debían ser erradicadas o modificadas para promover el aprendizaje significativo de las más potentes y generalizables explicaciones científicas (Posner et al., 1982).

Otra perspectiva sobre la construcción del conocimiento comenzó a partir de la noción de modelos mentales (Johnson-Laird, 1983), concebidos como modelos de trabajo en la mente del sujeto, que procesan proposiciones e imágenes, y le permiten describir, explicar y predecir eventos. Estos modelos mentales evolucionan en el tiempo con el fin de organizar coherentemente informaciones, creencias y suposiciones contribuyendo a la comprensión del mundo en que las personas se mueven todos los días. Así se desarrollaron diversas investigaciones para dar cuenta de los modelos mentales que utilizan los niños al pensar y actuar en relación a los fenómenos celestes posibles de ser observados en el cielo (Baxter, 1989; Vosniadou y Brewer, 1992, 1994; Schoon, 1995; Chiras y Valanides, 2008).

A continuación se analizará el modo en que estudiantes de distintas edades y docentes explican el fenómeno del día y la noche, uno de los más sencillos y cotidianos fenómenos celestes, sistematizando estas explicaciones a partir las concepciones detectadas en la revisión bibliográfica ya mencionada. Las ideas de los docentes en ejercicio se estudiarán con el fin de localizar posibles coincidencias con las detectadas en los alumnos ya que pueden ser un posible origen de las mismas. A su vez, se llevará a cabo un análisis adicional vinculado a los objetivos de esta investigación: se examinará cuál es el sistema de referencia astronómico que es utilizado implícitamente por alumnos y docentes para explicar el ciclo día/noche.

##### **5.4.2. Concepciones más comunes detectadas en alumnos y docentes**

Como ya se ha detallado en la **Sección 4.2.3.**, gran cantidad de investigaciones han logrado sistematizar cuáles son los modelos más comunes sobre el fenómeno del día y la noche presentes tanto en alumnos como en docentes (Sadler, 1987; Jones, Lynch y Reesinck, 1987; Baxter, 1989; Vosniadou y Brewer, 1994; Camino, 1995; Schoon, 1995; Vega Navarro, 2001; Chiras y Valanides, 2008):



- a) Modelo de rotación: la Tierra gira sobre su eje mientras el Sol y la Luna se encuentran en posiciones opuestas.
- b) Modelo de revolución: la Luna y el Sol se encuentran en posiciones opuestas y giran alrededor de la Tierra.
- c) Modelo de revolución terrestre: la traslación de la Tierra alrededor del Sol provoca el ciclo día/noche.
- d) Modelo científico: el ciclo día/noche es consecuencia del movimiento de rotación terrestre.

Los modelos “de rotación” y “de revolución” mencionados anteriormente pueden considerarse como “modelos sintéticos”, tal como los definen Vosniadou y Brewer (1994), dado que combinan aspectos de un modelo inicial e intuitivo basado en la experiencia cotidiana (la Luna se ve todas las noches) con aspectos aprendidos en el contexto socio cultural (la Tierra es esférica y rota sobre sí misma).

Al analizar las explicaciones inapropiadas es posible notar que varias de ellas tienen su origen en la idea errónea presente en niños, y también en muchos adultos, que sostiene que la Luna se encuentra presente en el cielo todas las noches. Como consecuencia de esto, los modelos explicativos suelen “adaptarse” sin ningún tipo de cuestionamiento a este “conocimiento”, y la Luna es incluida prácticamente en todas las explicaciones, incluso en aquellas que indican una comprensión adecuada del día y la noche a partir del movimiento de rotación terrestre.

Vosniadou y Brewer (1994) sostienen que la creencia de la aparición de la Luna durante la noche, y su desaparición a lo largo del día, es consecuencia de las experiencias personales de los niños, tanto reales (el Sol está de día y no de noche) como aparentes (la Luna se ve durante toda la noche). Estos autores concluyeron que estos modelos surgen a partir del modo particular que cada sujeto tiene de entender y justificar la aparición y desaparición de los cuerpos (si lo hacen solos, si los tapa algo, si desaparecen porque se mueven, etc.). Por otro lado, diferentes investigaciones muestran que algunas ideas de profesores en ejercicio, o de futuros docentes, son similares a las que poseen alumnos de nivel primario (Camino, 1995; Schoon, 1995; Vega Navarro, 2001).

En función de lo mencionado, es posible concluir que el fenómeno del día y la noche no es comprendido adecuadamente por una proporción importante de docentes y por un porcentaje muy significativo de alumnos de nivel primario, pese a que el mismo es enseñado en las aulas y que es considerado como uno de los más sencillos de desarrollar. A su vez, el fenómeno aparece en los libros de texto en distintos años de escolaridad, por lo cual los alumnos suelen abordarlo más de una vez durante su trayectoria educativa.

#### **5.4.3. Sistemas de referencia astronómicos: dos explicaciones del día y la noche**

Como ya ha quedado en evidencia, existe una importante “distancia conceptual” entre las representaciones de estudiantes y docentes sobre el ciclo día/noche y el “modelo científico” que explica dicho fenómeno a partir de “observar” imaginariamente la rotación de la Tierra desde un punto ubicado afuera de nuestra planeta (utilizando el “sistema de referencia heliocéntrico”). Sin embargo, en prácticamente ningún trabajo presente en la revisión bibliográfica se menciona la posibilidad de explicar científicamente este mismo fenómeno de un modo distinto: utilizando un sistema de referencia astronómico

posicionado en la superficie terrestre (el “sistema de referencia topocéntrico”), lo que permite explicar el día y la noche a partir del movimiento diario del Sol en el cielo.

Utilizando el sistema de referencia topocéntrico, el ciclo día/noche puede explicarse adecuadamente entendiendo al día como el lapso de tiempo en que el Sol se encuentra por encima de nuestro horizonte local, y a la noche caracterizada por la ausencia visible de dicho astro. Como el Sol se va desplazando en el cielo, en algún momento se posiciona por debajo del horizonte, provocando la alternancia de los días y las noches.

La explicación del día y la noche en forma topocéntrica es científicamente correcta, aunque puede ser cuestionada si se la asocia con el antiguo modelo geocéntrico de universo. Aquí no se sugiere enseñar desde ese modelo histórico (Justi, 2000). Por el contrario, se propone la idea de describir los fenómenos astronómicos desde la posición de un observador terrestre, lo que se logra colocando el origen del sistema de referencia en dicha posición (Lanciano, 1989; Camino, 1999; Galperin, 2011).

Los dos sistemas de referencia ya mencionados son igualmente adecuados para explicar el fenómeno del día y la noche (Dunin-Borkowski y Mank, 1992; Shen y Confrey, 2010; Plummer, Wasko y Slagle, 2011). Sin embargo, más allá del ciclo día/noche y algunos otros fenómenos celestes visibles desde la superficie terrestre, el sistema de referencia heliocéntrico es más utilizado por los científicos en función de su capacidad para describir en forma precisa y sencilla los fenómenos astronómicos que ocurren en la totalidad de nuestro Sistema Solar. En consecuencia, la utilización de uno u otro dependerá de su simplicidad descriptiva, explicativa y predictiva en relación a su contexto de uso. Por ese motivo, esta sección se centra en analizar el sistema de referencia (heliocéntrico o topocéntrico) que utilizan implícitamente estudiantes y docentes al intentar explicar el ciclo día/noche.

#### 5.4.4. Metodología

Se realizó una indagación con 279 estudiantes de diferentes niveles educativos pertenecientes a distintas instituciones de la zona de El Bolsón, Argentina: cinco escuelas primarias urbanas, una escuela secundaria ubicada en una zona rural y una institución universitaria. Esta indagación se llevó adelante también con 40 docentes (32 de nivel primario y 8 de nivel medio), quienes se encontraban comenzando un curso de capacitación en relación a la enseñanza de la astronomía (**Tabla 5-3**).

**Tabla 5-3:** Detalle de alumnos y docentes incluidos en la indagación.

Nivel	Grado o Año	Cantidad
Primario	4to. a 7mo.	183
Secundario	1ro. a 5to.	76
Universitario	1ro. y 2do.	20
Docentes	Todos	40
<b>Total</b>	<b>Todos</b>	<b>319</b>

Se entregó una hoja en blanco con el título “Poniendo en juego nuestras ideas sobre los fenómenos celestes”. A continuación se planteó la siguiente pregunta: “¿Cómo explicarías el fenómeno del día y la noche a través de un dibujo? Podés ayudarte escribiendo un texto”. Posteriormente, se realizaron entrevistas semiestructuradas a 10 alumnos de 6º y 7º grado de nivel primario, 10 alumnos de 1º a 5º año del nivel medio y 4 docentes (2 de nivel primario y 2 de nivel medio). Estas entrevistas permitieron construir categorías de análisis de los dibujos realizados por los participantes y, a su vez, pusieron en evidencia la relación entre estas representaciones externas y los modelos mentales que utilizan los estudiantes y docentes al intentar explicar el fenómeno del día y la noche. Para ello, la totalidad de las entrevistas fueron transcritas, lo que permitió extraer de las mismas frases representativas de los distintos modelos explicativos acerca de dicho fenómeno.

En primer lugar, las respuestas obtenidas a partir de la pregunta sobre el ciclo día/noche fueron clasificadas teniendo en cuenta el sistema de referencia desde el cual el sujeto describe y/o explica el fenómeno: topocéntrico (desde un punto en la superficie terrestre) o heliocéntrico (desde un punto ubicado afuera de la Tierra). En segundo lugar, el análisis realizado tuvo en cuenta si la respuesta brindada era apropiada o no desde el punto de vista científico. En consecuencia, las categorías de análisis utilizadas en este trabajo fueron:

- a) Representación heliocéntrica científicamente apropiada (RHCA): el ciclo día/noche se explica a partir de la rotación de la Tierra sobre su eje. La Luna no tiene relación con este fenómeno.
- b) Representación topocéntrica científicamente apropiada (RTCA): el ciclo día/noche se explica a partir del movimiento diario del Sol en el cielo. La Luna no tiene relación con este fenómeno.
- c) Representación heliocéntrica científicamente inapropiada (RHCI): el ciclo día/noche se explica observando a la Tierra desde el espacio exterior. La Luna aparece involucrada en la explicación o se asocia el fenómeno con la traslación de la Tierra. Generalmente, se asocia a la noche con la presencia de la Luna.
- d) Representación topocéntrica científicamente inapropiada (RTCI): el ciclo día/noche se explica observando el cielo desde un punto de la superficie terrestre. La Luna aparece involucrada en la explicación. Generalmente, se asocia la noche con la presencia de la Luna.

#### **5.4.5. Resultados**

A continuación se presentan resultados cuantitativos sobre el número de alumnos y docentes que utilizan cada modelo para explicar el día y la noche. A su vez, se exponen algunos dibujos realizados como parte de la indagación, los cuales ayudan a identificar la representación mental que utiliza cada individuo cuando debe explicar el ciclo día/noche. Por último, se citan frases extraídas de entrevistas llevadas a cabo con alumnos y docentes, las cuales permiten dar validez a la categorización de modelos llevada a cabo.

## Representaciones utilizadas para explicar el ciclo día/noche

En función de la aparición de alguna de las explicaciones sobre el fenómeno del día y la noche mencionadas anteriormente, se calculó la proporción de alumnos (separados por niveles educativos) y de docentes que utilizan cada representación para explicar el ciclo día/noche (**Tabla 5-4**).

**Tabla 5-4:** Proporción de alumnos y docentes que explican el fenómeno del día y la noche en función del sistema de referencia que utilizan y de si las representaciones son científicamente apropiadas o no.

Representaciones para explicar el día y la noche	Nivel primario	Nivel medio	Nivel universitario	Docentes
<b>Cantidad de participantes</b>	183	76	20	40
<b>Heliocéntrica científicamente apropiada (RHCA)</b>	2,7 %	9,2 %	40,0 %	72,5%
<b>Heliocéntrica científicamente inapropiada (RHCI)</b>	7,7 %	18,4 %	30,0 %	15,0 %
<b>Topocéntrica científicamente apropiada (RTCA)</b>	6,0 %	1,3 %	10,0 %	0%
<b>Topocéntrica científicamente inapropiada (RTCI)</b>	69,4 %	48,7 %	0 %	5,0 %
<b>Otras representaciones</b>	8.2 %	18.4 %	20.0 %	7.5 %
<b>No responde</b>	6.0 %	4.0 %	0 %	0 %
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>

Como se muestra en la **Tabla 5-3**, pocos alumnos de los niveles medio y primario logran explicar adecuadamente el fenómeno del día y la noche desde alguno de los dos sistemas de referencia. En contraposición, casi la 3/4 parte de los docentes explica apropiadamente el fenómeno, aunque todos ellos lo hacen utilizando el sistema de referencia heliocéntrico. A medida que se avanza en el nivel educativo, se observa un aumento importante del porcentaje de personas que brinda una explicación heliocéntrica adecuada (del 2,7% de los alumnos de nivel primario al 72,5% de los docentes en actividad). Contrariamente, la proporción de personas que utiliza adecuadamente la explicación topocéntrica en los distintos niveles casi no asciende, e incluso se vuelve nula en los docentes.

Analizando la **Tabla 5-3**, es posible notar que las explicaciones heliocéntricas, tanto las apropiadas como las que no lo son desde el punto de vista científico, son minoría en el nivel primario, representando únicamente el 10,4% de las respuestas. En el nivel medio este porcentaje aumenta hasta llegar a tener un 27,6% de respuestas que utilizan una representación heliocéntrica. En cambio, las respuestas "heliocéntricas" se detectan en una proporción significativa de alumnos universitarios (70%) y en los docentes (87,5%). Esto muestra una gran distancia conceptual entre las representaciones de los estudiantes, la mayoría de los cuales basa sus explicaciones en el sistema de referencia topocéntrico, y las de los docentes, que en su gran mayoría son heliocéntricas.

Por otro lado, una gran proporción de alumnos de nivel medio y primario presenta representaciones topocéntricas, siendo la gran mayoría de ellas inapropiadas desde el punto de vista científico. En contraposición, los alumnos universitarios y docentes prácticamente no presentan representaciones basadas en este sistema de referencia.

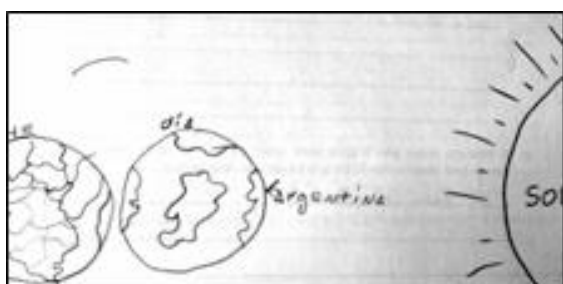
En todos los niveles se encuentran representaciones confusas o que no explican el ciclo día/noche, por lo que no pueden ser clasificadas en las categorías de análisis planteadas. A su vez, pese a la cotidianeidad del fenómeno del día y la noche, algunos alumnos de primaria y secundaria no lograron esbozar una respuesta acerca de la causa de dicho fenómeno.

A continuación se brindan ejemplos de dibujos y explicaciones correspondientes a cada una de las categorías de análisis. En algunos casos se han identificado subcategorías, las cuales se corresponden con las identificadas previamente por otros autores ya mencionados en la revisión bibliográfica llevada a cabo en la **Sección 4.2.3**.

#### *Representaciones heliocéntricas científicamente apropiadas (RHCA)*

A continuación se presentan explicaciones y dibujos correspondientes a alumnos y docentes que explican adecuadamente el día y la noche a partir de la rotación de la Tierra alrededor de su eje. Como se aprecia en la **Figura 5-22**, los esquemas explicativos correspondientes a distintos niveles educativos son similares pese a que se encuentran muy pocas explicaciones heliocéntricas apropiadas en los niveles medio y primario.

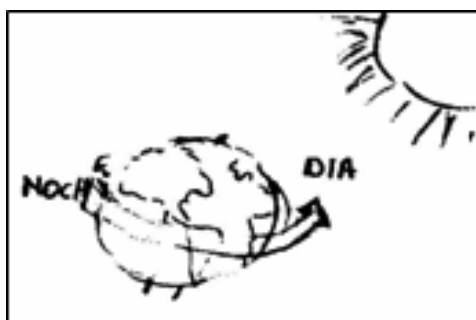
**Figura 5-22:** Representaciones heliocéntricas científicamente apropiadas (RHCA) sobre el fenómeno del día y la noche dadas por un alumno de 6º grado de nivel primario, por un estudiante universitario y por docentes en actividad. No se evalúa si está correctamente representado el giro de la Tierra ni la inclinación de su eje.



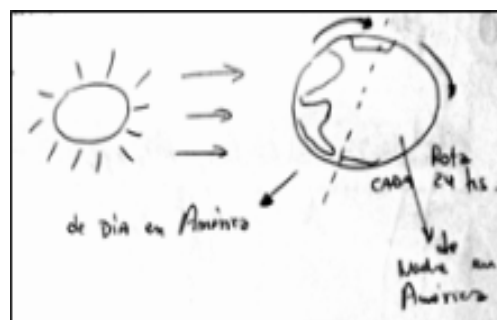
Marcelo – 11 años



José – 35 años



Elena – Docente



Carmen - Docente

Algunas frases extraídas de las entrevistas llevadas a cabo que muestran una cierta comprensión científicamente apropiada del fenómeno por parte de alumnos de todos los niveles educativos y de docentes son las siguientes:

*“La Tierra va dando vueltas y el Sol está quieto. Entonces, cuando de un lado de la Tierra es de día, del otro lado es noche”. (Pamela, 10 años)*

*“Como la Tierra rota sobre sí, cuando el sol le está apuntando al continente, en esa parte es el día. Y cuando no, es de noche.” (Mariana, 12 años)*

*“La Tierra gira sobre su eje y siempre tiene una cara iluminada y otra no, marcando el día y la noche”. (Eduardo, 15 años)*

*“La Tierra gira sobre sí misma y cada 24 hs da una vuelta. En la cara que está del lado del Sol es de día y en la otra es de noche”. (Paula, 15 años)*

*“La radiación solar ilumina una mitad de la Tierra mientras que la otra, que no recibe radiación, está en oscuridad. Por eso en una parte es de día y en la otra de noche”. (Lucía, 26 años)*

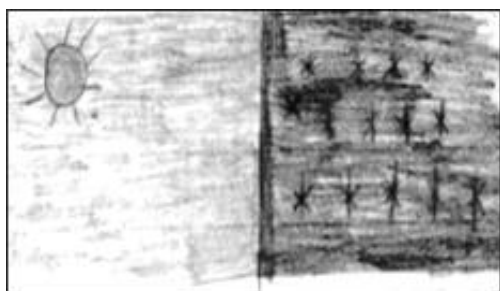
*“Es de día y de noche por el giro de 360° de la Tierra sobre su propio eje”. (Martín, 28 años)*

*“El fenómeno del día y la noche se debe al movimiento de rotación que describe la Tierra alrededor de su eje. Ese movimiento se realiza durante un período de 24 hs.” (Claudia, docente de nivel medio)*

#### *Representaciones topocéntricas científicamente apropiadas (RTCA)*

En la **Figura 5-23** se exponen dibujos realizados por dos estudiantes que explican adecuadamente el día y la noche desde el sistema de referencia topocéntrico. En esta explicación, la presencia del Sol caracteriza al día, y su ausencia a la noche (lo que implica la posibilidad de observar a las estrellas nocturnas). A su vez, el paso del día a la noche o viceversa puede explicarse como consecuencia del movimiento diario del Sol.

**Figura 5-23:** Representaciones topocéntricas científicamente apropiadas (RTCA) sobre el fenómeno del día y la noche dadas por dos alumnas, una de primaria y otra de universidad.



Diana – 11 años

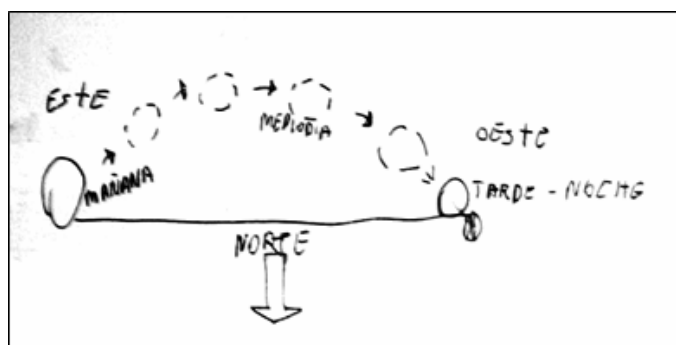


Morena – 20 años

Pese a la simplicidad de esta explicación, sólo fue utilizada adecuadamente en 14 de las 319 indagaciones realizadas (4,4%), y en ninguna correspondiente a docentes. Por ese motivo es muy escasa la presencia de frases y dibujos que identifican explicaciones topocéntricas científicamente apropiadas como la siguiente, la cual indica comprensión del modo en que se desplaza el Sol en el cielo durante el día, más allá de que dicho desplazamiento no se observa hacia el Sur en nuestra latitud (**Figura 5-24**):

*“Desde la Tierra parece que el sol se va corriendo y va dando vueltas. Ponele que acá está el [Cerro] Currumahuida y acá está el [Cerro] Motoco, cuando el Sol se va escondiendo atrás del Motoco se hace de noche y cuando está saliendo por encima del Currumahuida sería la mañana.” (Martín, 11 años)*

**Figura 5-24:** Dibujo del movimiento diario del Sol realizado por un alumno de nivel primario para explicar el día y la noche en forma topocéntrica.



Martín - 11 años

La explicación topocéntrica anterior cobra trascendencia en función de su relación con la observación cotidiana del cielo llevada a cabo por este alumno que toma dos cerros cercanos a su casa como referencias claras de los horizontes oriental y occidental. A su vez, el dibujo que acompaña a su explicación es totalmente sugerente de la representación mental que ha logrado construir en relación al movimiento diario del Sol y a su absoluta relación con el fenómeno del día y la noche.

#### *Representaciones heliocéntricas científicamente inapropiadas (RHCI)*

En la **Tabla 5-4** se puede observar la proporción de sujetos que utiliza el sistema de referencia heliocéntrico para construir su explicación, pero que no responde adecuadamente acerca del día y la noche. Este porcentaje es relativamente bajo en los niveles primario y secundario y en los docentes (7,7 %, 18,4% y 15 %, respectivamente), alcanzando un porcentaje relativamente alto (30 %) entre los alumnos universitarios.

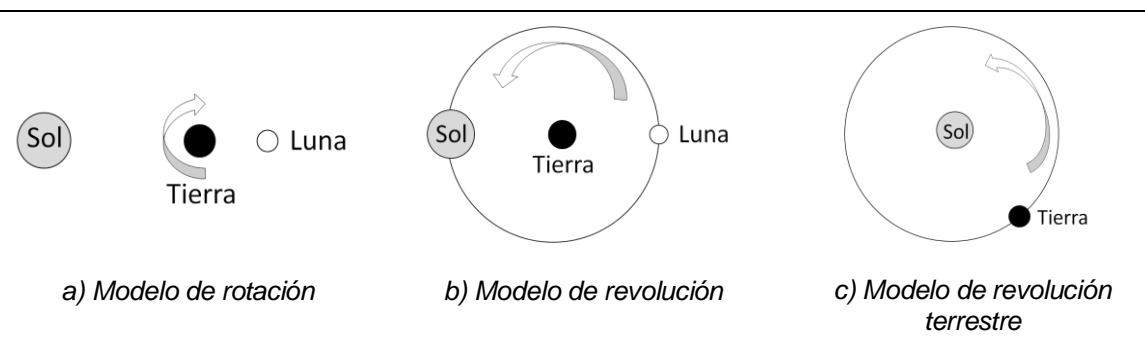
En función de los modelos mencionados previamente en la revisión bibliográfica, las representaciones heliocéntricas inapropiadas desde el punto de vista científico detectadas pueden clasificarse en las siguientes subcategorías (**Figura 5-25**):

- a) Modelo de rotación: la Tierra gira sobre su eje mientras el Sol y la Luna se encuentran en posiciones opuestas.
- b) Modelo de revolución: la Luna y el Sol se encuentran en posiciones opuestas y giran alrededor de la Tierra.

- c) Modelo de revolución terrestre: la traslación de la Tierra alrededor del Sol provoca el ciclo día/noche.

Dado que los dos últimos modelos "b" y "c" involucran a astros desplazándose en el espacio, se han unificado en una misma categoría llamada "Modelos de desplazamiento". En la **Tabla 5-5**, se detalla la proporción de personas que responde según cada uno de estos modelos.

**Figura 5-25:** Esquemas explicativos de los modelos heliocéntricos científicamente inapropiados detectados en distintas investigaciones para explicar el ciclo día/noche.



**Tabla 5-5:** Porcentaje de personas por nivel que presenta modelos heliocéntricos científicamente inapropiados respecto al ciclo día/noche. Se diferencian los modelos de rotación de los de desplazamiento.

Modelos heliocéntricos científicamente inapropiados	Nivel primario	Nivel medio	Nivel universitario	Docentes
Cantidad de participantes	183	76	20	40
Modelo de rotación	4,4 %	9,2 %	20,0 %	5%
Modelos de desplazamiento	3,3 %	9,2 %	10,0 %	10,0%

En función del análisis de la **Tabla 5-4** es posible notar que no hay diferencias significativas en el uso de uno u otro modelo científicamente inapropiado tanto en el nivel primario como en el nivel medio. En cambio, en el nivel universitario se ha detectado una mayor proporción de representaciones que se ajustan al "modelo de rotación". En contraposición, en los docentes en actividad aparece un porcentaje mayor de representaciones que pueden ser catalogadas dentro de los "modelos de desplazamiento".

A continuación se presentan dibujos (**Figura 5-26**) y frases correspondientes a estudiantes de todos los niveles y a docentes, los cuales son representativos de los modelos heliocéntricos científicamente inapropiados identificados para explicar el día y la noche: "de rotación" o "de desplazamiento". Como se ha visto, estos modelos inadecuados prevalecen aún en estudiantes de nivel universitario y en docentes:

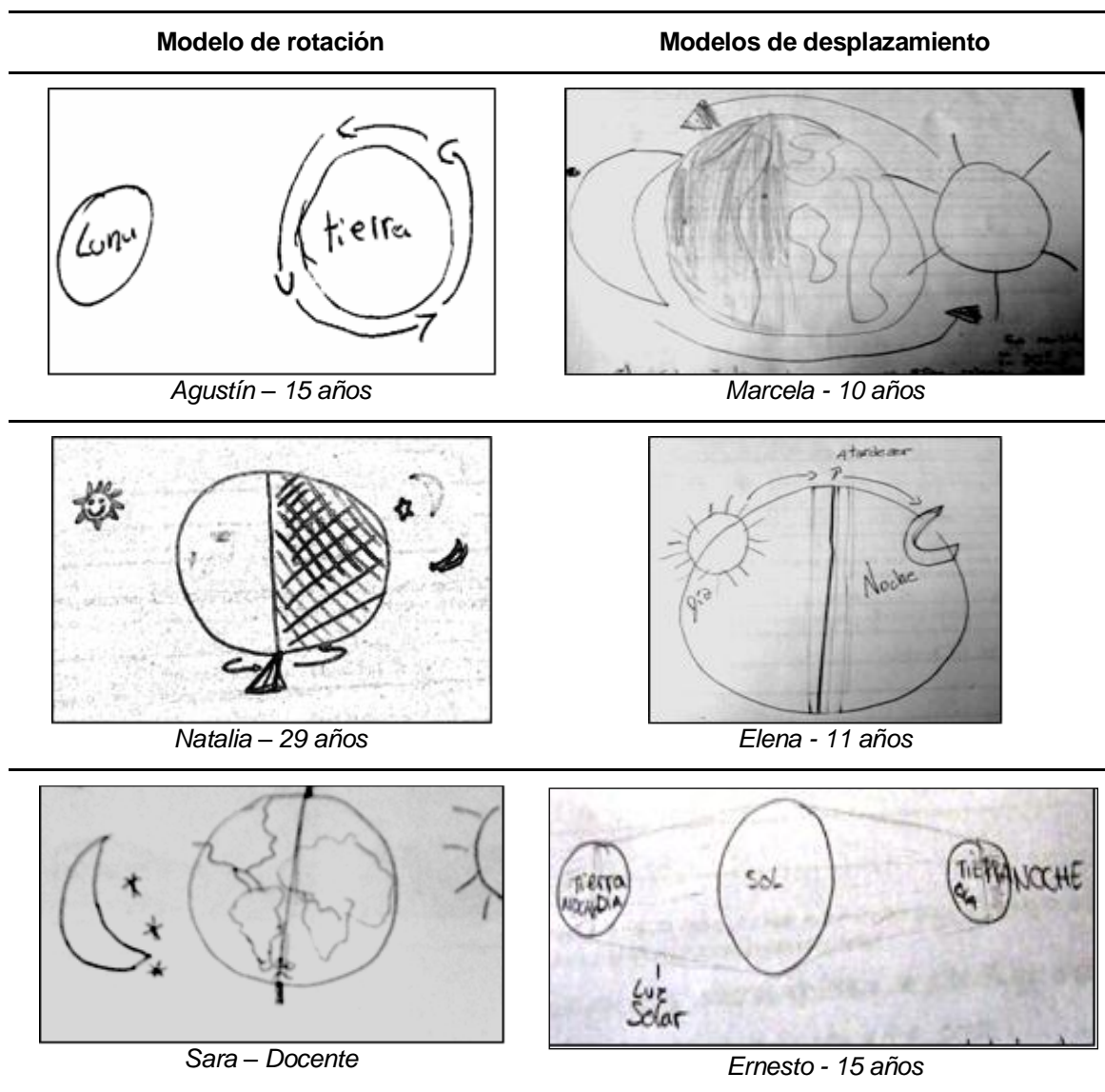


“El Sol va girando alrededor de la Tierra... y alumbra partes.” (Lautaro, 12 años)

“El lado iluminado por el Sol en la Tierra está de día, el oscuro de noche. A medida que la Tierra gira en su órbita distintas partes del mundo amanecen o anohecen.” (Adrián, 17 años)

“La Tierra gira alrededor del Sol. En este movimiento parte de ella está en penumbras, se produce así la noche. Cuando “se mueve”, la parte que estaba en la noche está alumbrada por el Sol, entonces es de día.” (Fátima, docente)

**Figura 5-26:** Representaciones heliocéntricas científicamente inapropiadas (RHC1) acerca del fenómeno del día y la noche presentes en todos los niveles educativos: "modelo de rotación" (a la izquierda) y "modelos de desplazamiento" (a la derecha).



Como ya se ha mencionado anteriormente, las explicaciones heliocéntricas son mayoría en estudiantes universitarios y en docentes en actividad, en donde las explicaciones científicamente apropiadas superan a las inapropiadas. Lo contrario sucede en alumnos de nivel medio y primario, quienes en su gran mayoría no utilizan representaciones

heliocéntricas. Sin embargo, cuando las utilizan, lo hacen en mayor proporción en forma inapropiada desde el punto de vista científico.

Como se ve, existe una mejora sustancial en la utilización de la explicación heliocéntrica del fenómeno del día y la noche en el nivel universitario y, sobre todo, en los docentes en actividad. En el caso de los maestros, es posible asociar esto con la necesidad de enseñar explícitamente este contenido a los alumnos. Sin embargo, muy pocos alumnos de nivel primario logran explicar adecuadamente este fenómeno cotidiano, lo que evidencia una gran distancia entre las representaciones de alumnos y de docentes.

#### *Representaciones topocéntricas científicamente inapropiadas (RTCI)*

El porcentaje de personas que explican el fenómeno del día y la noche en forma inadecuada, y que para hacerlo utilizan el sistema de referencia topocéntrico, se encuentra detallado en la **Tabla 5-3** presentada anteriormente. Se ha denominado “modelo de alternancia” a las explicaciones que plantean la presencia del Sol en el día y de la Luna de noche a partir de distintos mecanismos que generan la aparición y desaparición de alguno o de los dos astros. Todas las representaciones topocéntricas científicamente inapropiadas detectadas en este trabajo se basan en dicho modelo. Para simplificar el análisis, sólo se prestó atención a la presencia permanente de la Luna en el cielo nocturno, sin importar si estaba dibujada tal como realmente se la observa, con su lado derecho o izquierdo iluminado según corresponda.

Como se observa en la **Tabla 5-3**, el modelo de alternancia predomina ampliamente en las representaciones de los alumnos de nivel primario (69,4 %) y de nivel medio (48,7 %), donde el sistema de referencia topocéntrico es el más utilizado. En cambio, este modelo casi no aparece en las representaciones de docentes en actividad (5 %) y no se detectó en estudiantes de nivel universitario, donde predomina el sistema de referencia heliocéntrico. Es importante destacar que la no utilización del modelo de alternancia por parte de los alumnos universitarios no implica necesariamente que los mismos comprendan el fenómeno del día y la noche ya que, como se ha resaltado, un porcentaje importante de ellos explican el fenómeno desde un sistema de referencia heliocéntrico, pero recurriendo a modelos inapropiados desde el punto de vista científico.

A continuación se muestran frases y dibujos (**Figura 5-27**) que pueden ser asociados a la utilización del modelo de alternancia, en el cual se explica el ciclo día/noche en forma topocéntrica y relacionando inadecuadamente a la Luna con la noche:

*“El Sol se va corriendo cada vez más, hasta que llega la noche y ahí va saliendo la Luna.” (Rosa, 11 años)*

*“Decían que cuando se hacía de noche el Sol se iba alejando y se iba acercando la Luna, y cuando era de día se iba alejando la Luna y así.” (Sol, 12 años)*

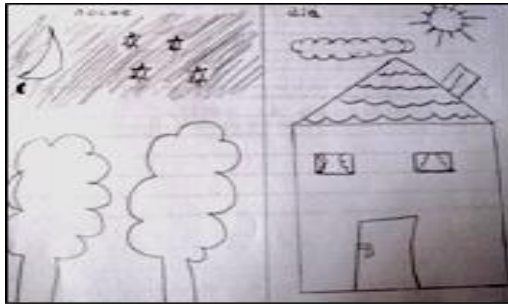
*“El Sol se va escondiendo y va apareciendo la Luna, y le da a la Luna y hace que brille.” (Alfredo, 13 años)*

*“Se oscurece porque el Sol se va, aparece la Luna que está del otro lado.” (Marcos, 14 años)*

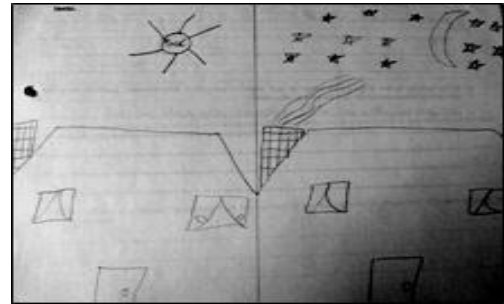
*“El Sol sale de este lado, en el día le da todo el Sol, después se esconde y viene la Luna que le da la luz así entre lugares nomás...” (Vanesa, 15 años)*

“El día es el momento donde el Sol alumbra la Tierra. Durante la noche, el Sol alumbra la otra parte del planeta; donde no hay Sol suele verse la Luna...” (Lidia, docente)

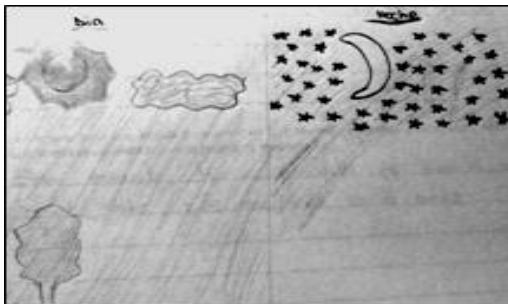
**Figura 5-27:** Representaciones topocéntricas científicamente inapropiadas (RTCI) del fenómeno del día y la noche: modelo de alternancia. La primera fila corresponde a dibujos de alumnos de nivel primario, la segunda a estudiantes de nivel medio y la tercera a docentes en actividad. No se analiza el lado iluminado de la Luna ya que sólo interesa notar su presencia o no durante las noches.



Karina - 11 años



Maira - 11 años



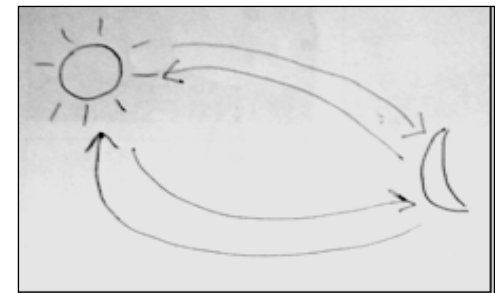
Dorys - 16 años



Solange - 13 años



Marcela - Docente



Lidia - Docente

#### 5.4.6. Discusión

La mayoría de las representaciones correspondientes a estudiantes de nivel primario y secundario muestran la utilización del sistema de referencia topocéntrico para describir la sucesión de días y noches. De este modo, los alumnos intentan explicar el fenómeno desde su posición de observadores terrestres indicando los cambios que ellos perciben (o creen percibir) al contemplar el cielo. Por su parte, los estudiantes universitarios y los docentes prefieren utilizar el sistema de referencia heliocéntrico, en el que explican el día y la noche describiendo el movimiento de los astros desde afuera de nuestro planeta.

Esta diferencia sustancial en la utilización del sistema de referencia heliocéntrico a partir de cierto nivel educativo (y muy especialmente en los docentes) podría tener su origen en la existencia de un proceso formal de enseñanza en el nivel superior. Sin embargo, un 47,5% de los docentes manifiesta haber aprendido acerca de la temática únicamente en el nivel primario. A su vez, sólo un 12,5% sostiene haber sido partícipe de un proceso de instrucción sistemático acerca de los fenómenos astronómicos en el nivel superior, aún cuando estos temas figuran en la mayoría de los materiales curriculares correspondientes a la escuela primaria. Por lo tanto, resulta llamativo el salto en el nivel de comprensión sobre el ciclo día/noche que se aprecia en los docentes, el cual a su vez viene acompañado de un cambio en el sistema de referencia que utilizan mayoritariamente para explicarlo (el heliocéntrico), a diferencia de los alumnos de nivel primario, que son mayoritariamente “topocéntricos”.

Por lo tanto, las dificultades presentes en los alumnos de nivel primario para la comprensión del día y la noche podrían tener relación con el uso del sistema de referencia heliocéntrico en dicho nivel educativo, período en que los estudiantes manifiestan una profunda descripción topocéntrica de los fenómenos astronómicos. Estas dificultades parecerían no ser subsanadas por los diversos dispositivos de enseñanza que suelen ponerse en práctica en las aulas, los cuales proponen como meta, en una gran proporción, que los alumnos comprendan la explicación científica heliocéntrica (García Barros et al., 1995, 1996; Stahly et al., 1999; Yang, Soprano y McAllister, 2012; Çelikten et al., 2012). En este sentido, es importante aclarar que utilizar explicaciones heliocéntricas con los alumnos no implica necesariamente que los mismos hayan logrado construir la explicación científica heliocéntrica sobre el día y la noche. Por el contrario, muchos alumnos y docentes proponen modelos heliocéntricos inadecuados, como el “de rotación” o el “de revolución”, en el que “observan” los movimientos del sistema Sol – Tierra – Luna desde una posición imaginaria externa a la Tierra, pero ubican a ésta en el centro de dicho sistema.

Del mismo modo, emplear explicaciones topocéntricas no necesariamente implica que el alumno o docente posea un modelo mental geocéntrico, donde la Tierra está quieta en el universo y todo se mueve a su alrededor. Por el contrario, este sistema de referencia funciona muy bien para describir y explicar lo que se ve cotidianamente en el cielo (Lanciano, 1989; Gellon et al., 1995), lo que no quiere decir que se esté negando el movimiento de la Tierra desde un punto de vista heliocéntrico.

#### **5.4.7. Conclusiones sobre las concepciones detectadas sobre el día y la noche**

El ciclo día-noche puede explicarse adecuadamente desde dos sistemas de referencia distintos: el topocéntrico (con el Sol moviéndose en el cielo y ubicándose por arriba o por debajo del horizonte local), o el heliocéntrico (con el planeta rotando sobre su eje y alternando los sectores que reciben en forma directa la luz solar). Pese a estas dos posibles explicaciones, los resultados de esta indagación muestran que la gran mayoría de los estudiantes de nivel primario y de nivel medio de la zona no posee una comprensión adecuada acerca del fenómeno. Algo similar se observa en una proporción importante de los alumnos universitarios. Es posible que esto guarde relación con la idea errónea que poseen muchos alumnos de primaria y secundaria respecto a que la Luna está presente en el cielo todas las noches.

A su vez, una gran proporción de estudiantes de nivel medio y primario proponen explicaciones del ciclo día/noche basadas en su posición topocéntrica, lo que trasluce cierta comodidad intelectual para describir el fenómeno desde donde ellos se

encuentran posicionados. En contraposición, en los textos escolares y en los materiales curriculares, las propuestas didácticas acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos suelen presentarse desde edades tempranas mediante explicaciones o dibujos basados en el sistema de referencia heliocéntrico, lo que implica cierta complejidad implícita (Martínez Peña y Gil Quílez, 2001; Chiras y Valanides, 2008).

A pesar de esta enseñanza del ciclo día/noche basada en el movimiento de rotación de la Tierra, queda claro que las percepciones cotidianas, amparadas o no en observaciones directas, muchas veces son más fuertes que las enseñanzas escolares. Esto provoca la aparición de modelos sintéticos, los cuales intentan asimilar las explicaciones científicas enseñadas a las estructuras conceptuales preexistentes en los estudiantes (Vosniadou y Brewer, 1992). Por ello es importante enseñar reiteradamente el día y la noche en los distintos niveles educativos, el cual suele ser considerado por los docentes como un contenido extremadamente sencillo y obvio y que, por lo tanto, no necesita un abordaje en profundidad.

Como ya se ha visto en la **Sección 5.3.**, el sistema de referencia heliocéntrico se encuentra sobrevalorizado en los libros de texto y en la mayoría de los materiales que se presentan a los niños, apreciándose una sobrecarga conceptual en detrimento de aspectos relacionados con la observación directa del cielo. Incluso algunos de estos materiales educativos presentan errores cuyos orígenes pueden remontarse a la dificultad de poder integrar ambos sistemas de referencia, el heliocéntrico y el topocéntrico, en los cuales los movimientos y las apariencias de los astros presentan aspectos diferentes, lo que implica la necesidad de poseer desarrolladas determinadas habilidades espaciales y competencias imaginativas por parte de los estudiantes.

#### **5.4.8. Conclusiones relacionadas con el tema de investigación**

Los resultados obtenidos indican la tendencia a utilizar mayoritariamente el sistema de referencia topocéntrico por parte de alumnos de primaria y secundaria. En alumnos universitarios y docentes la tendencia se invierte: utilizan mayoritariamente el sistema de referencia heliocéntrico. Esto parece indicar la necesidad de reorientar la enseñanza de la Astronomía para lograr una comprensión apropiada de los fenómenos celestes más cotidianos a partir de la utilización didáctica del sistema de referencia topocéntrico, sobre todo en alumnos de los primeros niveles educativos, tal como se ha planteado como objetivo principal en este trabajo de investigación.

En consecuencia, éste debería el sistema de referencia ineludible para la enseñanza y comprensión de los fenómenos astronómicos cotidianos, principalmente en el nivel primario. Un enfoque adecuado comenzaría por la descripción y explicación de los sucesos astronómicos utilizando el sistema de referencia topocéntrico para ir, paulatinamente, pasando al sistema de referencia heliocéntrico, el cual posee una mayor complejidad conceptual. Con esto se lograría hacer frente a las dificultades detectadas a partir de colocar al estudiante como centro de sus propias observaciones y de sus aprendizajes acerca de los fenómenos celestes.

Por lo tanto, se torna de relevancia lo planteado en este trabajo de investigación: el desarrollo de una propuesta de enseñanza fundamentada que ponga el acento en describir y explicar los fenómenos astronómicos cotidianos desde el sistema de referencia topocéntrico, así como en la utilización de sencillas imágenes, representaciones y modelos descriptos desde la posición de observación de los propios estudiantes.



# **CAPÍTULO 6: LA ESTRUCTURA**

## **CONCEPTUAL PROPUESTA PARA ENSEÑAR ACERCA DE LOS FENÓMENOS ASTRONÓMICOS COTIDIANOS EN LOS ÚLTIMOS AÑOS DE LA ESCUELA PRIMARIA**

---

### **6.1. Introducción**

En este capítulo se aborda la elaboración de la propuesta de enseñanza acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos (día y noche, estaciones del año y fases de la Luna) dirigida a estudiantes de los últimos años (6to. o 7mo. grado) de la escuela primaria. Para ello se reconstruye la Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar (ECPE) acerca de dichos fenómenos a partir de la Estructura Conceptual de Referencia (ECR), la cual posee como fundamento disciplinar la elaboración de un modelo cinemático celeste basado en el uso del sistema de referencia topocéntrico. A su vez, en esta etapa de diseño son tenidos en cuenta los fundamentos didácticos presentes en el **Capítulo 2** en relación a los componentes de toda ECPE (Otero, 2006; Fanaro, 2009), a los aspectos emocionales del aprendizaje (Maturana, 1990; Otero, 2006, 2007) y a la enseñanza basada en modelos (Clement, 2000).

En consecuencia, en esta etapa de la investigación se diseña la secuencia de situaciones didácticas a plantear a los estudiantes y se realizan anticipaciones respecto a cuáles serán las acciones de los estudiantes y del docente que tendrán lugar durante el proceso de implementación.

### **6.2. Propósitos**

Entre los propósitos de carácter general de la propuesta a diseñar pueden mencionarse los siguientes:

- Tomar conciencia de la importancia de los sistemas de referencia a la hora de analizar cualquier sistema físico.
- Comprender los fenómenos astronómicos cotidianos a partir de la utilización de un sistema de referencia distinto al que habitualmente se utiliza en las escuelas y en los materiales curriculares.
- Valorar la importancia del sistema de referencia topocéntrico para la interpretación y comprensión de los fenómenos astronómicos cotidianos.

Los propósitos de carácter específico de la propuesta son:

- Analizar la relación entre los movimientos de los astros en el cielo y los sucesos cotidianos ligados a ellos.
- Elaborar un "modelo cinemático celeste" que permita explicar los fenómenos del día y la noche, estaciones y fases a partir de una descripción adecuada del movimiento que realizan el Sol, la Luna y las estrellas nocturnas en el cielo.

- Elaborar descripciones y explicaciones astronómicas relacionadas con observaciones directas de los astros en el cielo.
- Valorizar la observación del cielo como competencia científica de relevancia y como práctica social que merece ser rescatada.

### 6.3. Contenidos

A continuación se detallan los contenidos que se desarrollarán durante la implementación de la propuesta, los cuales se encuentran secuenciados en el orden en que serán presentados a los estudiantes:

- Relatividad de los sistemas de referencia. Utilización del sistema de referencia topocéntrico para la descripción del movimiento de los astros.
- Cambios en la posición del Sol en el cielo. Movimiento diario: salida, puesta y altura en el mediodía solar. Cambios en la sombra de una estaca vertical. Mediodía solar. El fenómeno del día y la noche. Movimiento anual: variación de los horarios y lugares de salida y puesta del Sol a lo largo del año. Cambios en el recorrido del Sol en el cielo y en la altura del Sol en el mediodía solar. Las estaciones del año. Solsticios y equinoccios.
- Cambios en la posición de la Luna en el cielo. Movimiento diario: salida, puesta y culminación superior. Similitudes con el desplazamiento del Sol: rotación de la esfera celeste. Movimiento propio de la Luna: cambio de posición en el cielo de un día al otro en el mismo horario. Cambio de posición en relación al Sol. Las fases de la Luna: horario de observación y lado iluminado.

Dado que la propuesta se basa en la utilización didáctica del sistema de referencia topocéntrico, la secuencia comienza con los contenidos vinculados a la relatividad de los sistemas de referencia con el fin lograr que los alumnos tomen como natural y conveniente la descripción de los movimientos de los astros desde la posición de un observador posicionado en la superficie terrestre, sin necesidad de referirse a los movimientos que realiza la Tierra en el espacio. A continuación se desarrollan los contenidos relacionados con la observación del movimiento diario y anual del Sol en el cielo con el fin de explicar en forma topocéntrica los fenómenos del día y la noche y las estaciones del año. Por último, se desarrolla el movimiento diario de la Luna, relacionándolo con el movimiento diario del Sol y de todo el cielo, finalizando con el desplazamiento propio de la Luna de día al otro, lo que permite explicar sus fases.

### 6.4. Conceptos y principios clave

En esta etapa de reconstrucción de la ECPE se decidió que los conceptos (subrayados) y principios clave a ser enseñados serían:

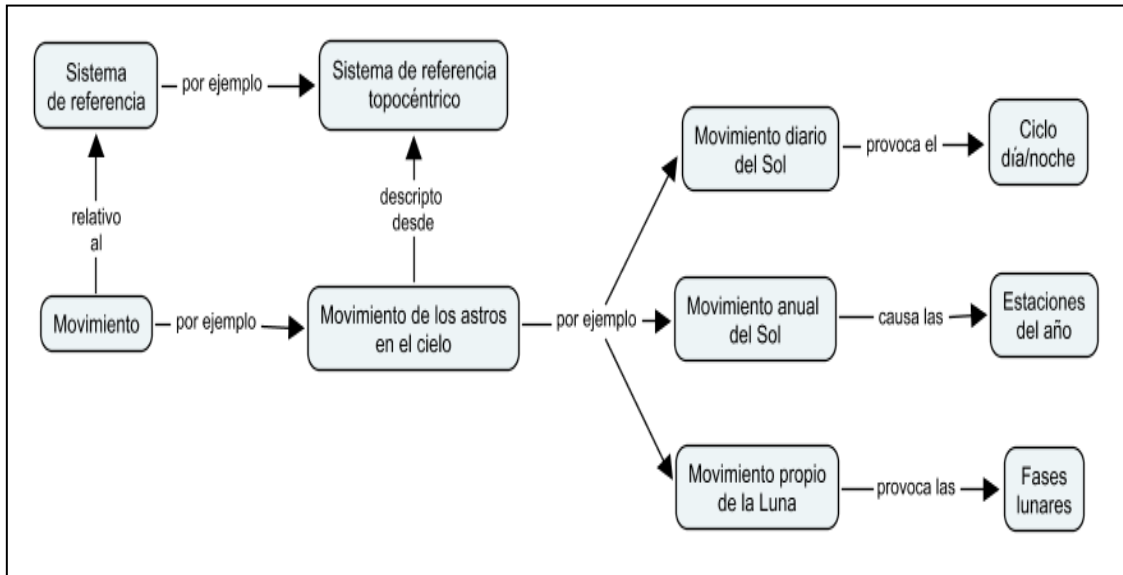
1. El movimiento es relativo al sistema de referencia elegido.
2. El movimiento de los astros en el cielo puede describirse adecuadamente a partir de la utilización del sistema de referencia topocéntrico.
3. El movimiento diario del Sol permite explicar el ciclo día/noche.



4. El movimiento anual del Sol provoca las estaciones del año.
5. El movimiento propio de la Luna determina la observación de las fases lunares.

La **Figura 6-1** presenta los conceptos clave más generales a ser enseñados a lo largo de la secuencia, y la relación entre ellos.

**Figura 6-1:** Red conceptual que relaciona los conceptos clave generales de la ECPE.

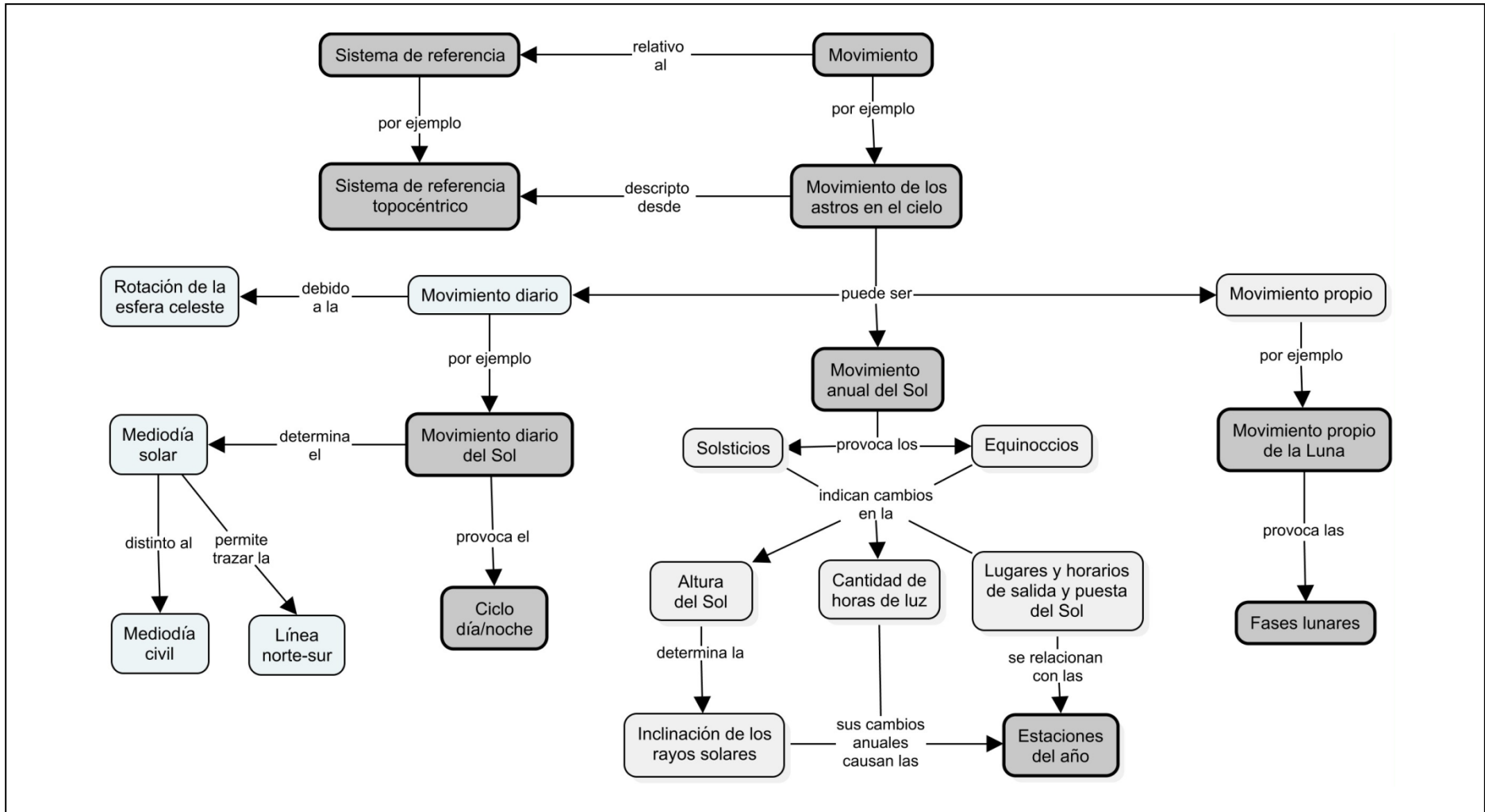


A continuación se detallan los conceptos clave (subrayados) y las explicaciones que se encuentran involucradas en la ECPE, las cuales hacen posible la construcción de un modelo descriptivo, explicativo y predictivo acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos por parte de los alumnos. Estas explicaciones se corresponden con una comprensión adecuada de los conceptos, de sus relaciones, de los fenómenos implicados y de sus características:

1. Todo movimiento es relativo al sistema de referencia que se utilice.
2. El sistema de referencia topocéntrico permite describir adecuadamente el movimiento de los astros en el cielo visto desde la superficie terrestre.
3. El movimiento diario de los astros en el cielo puede pensarse como una consecuencia de la rotación de la esfera celeste de Este a Oeste.
4. El movimiento diario del Sol determina el mediodía solar y permite trazar la línea norte-sur. El mediodía solar no coincide con el mediodía civil.
5. El movimiento diario del Sol hace que éste se ubique por encima o por debajo del horizonte local, lo que trae como consecuencia el ciclo día/noche.
6. El movimiento anual del Sol hace que se modifiquen los lugares y horarios de salida y puesta del Sol y su altura, determinando los solsticios y equinoccios. La variación anual de la cantidad de horas de luz y de la inclinación de los rayos solares provoca las estaciones del año.
7. El movimiento propio de la Luna de Oeste a Este implica su cambio de posición respecto al Sol, provocando la observación de las distintas fases lunares.

La **Figura 6-2** presenta todos los conceptos clave involucrados en las explicaciones a ser construidas por los estudiantes a lo largo del desarrollo de la secuencia didáctica.

**Figura 6-2:** Red conceptual ampliada con todos los conceptos clave de la ECPE y sus relaciones. En gris oscuro, los conceptos clave generales ya indicados en la **Figura 6.1**.



## 6.5. La secuencia

A continuación se presentan las distintas situaciones didácticas propuestas, las cuales aparecen numeradas y recuadradas con el fin de diferenciarlas del análisis didáctico que justifica su inclusión dentro de la Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos a estudiantes de los últimos años del nivel primario. Dicho análisis incluye la explicitación de los motivos que justifican la inclusión de la actividad, los propósitos didácticos de la misma, las posibles respuestas de los alumnos, las dificultades con las que podrían encontrarse los estudiantes al intentar resolverla, el modo de intervención del docente/investigador, etc.

### 6.5.1. Situación 1: "Pensando acerca de día/noche, estaciones y fases lunares"

Se le reparte una copia de esta actividad de indagación a cada integrante del grupo de clase con el fin de que la resuelva en forma individual. Cada una de las consignas (1, 2 y 3) se presenta en una página diferente con el título de la actividad, de modo tal que quede un amplio espacio en blanco para que el alumno pueda exponer sus ideas acerca de las causas de cada uno de estos fenómenos. Las consignas son las siguientes:

#### Poniendo en juego nuestras ideas sobre los fenómenos astronómicos

1. Día y noche. ¿Cómo podrías explicar el fenómeno del día y la noche a través de un dibujo? Agregar un texto que explique lo que has querido expresar en el dibujo.
2. Estaciones del año. ¿Cómo podrías explicar las estaciones del año a través de un dibujo? Agregar un texto que explique lo que has querido expresar en el dibujo.
3. Fases de la Luna. Es sabido que la Luna no se ve de la misma forma todos los días. ¿Cómo podrías explicar esto a través de un dibujo? Agregar un texto que explique lo que has querido expresar en el dibujo.

Esta indagación de carácter abierto tiene como propósito didáctico que cada estudiante puedan hacer explícitas sus propias concepciones acerca de estos fenómenos y que el docente/investigador pueda conocerlas de modo tal de poder medir el punto de partida del proceso de conceptualización a desarrollar a lo largo de la secuencia. A su vez, esta misma indagación será utilizada como una actividad de evaluación al finalizar el proceso de implementación con el fin de que los estudiantes puedan analizar si realizarían modificaciones en las respuestas que ellos mismos dieron al inicio de la secuencia.

Desde un punto de vista cognitivo, se busca que los propios estudiantes tomen conciencia de las dificultades que poseen para lograr explicar estos fenómenos tan cotidianos, que incluso han observado en numerosas oportunidades, incentivando en ellos el deseo por comprenderlos. De este modo se intenta que los alumnos acepten la invitación a ingresar en el campo de la astronomía observacional, que comiencen a reconocer la necesidad de prestar atención a los fenómenos que ocurren en el cielo y que se motiven por participar activamente en las distintas clases a desarrollar.

A partir del proceso de revisión bibliográfica llevado a cabo en el **Capítulo 4**, y de algunos de los resultados preliminares obtenidos en el **Capítulo 5** de esta investigación, es posible anticipar algunas de las posibles respuestas que podrían dar los estudiantes.

A continuación se enuncian algunas de ellas, considerando sólo aquellas que es posible que aparezcan en una proporción importante de estudiantes.

En relación a las causas del día y la noche:

- Modelo de alternancia: se hace de noche porque el Sol se va (o algo lo tapa) y aparece la Luna.
- Modelo de rotación: la Tierra rota sobre su eje con el Sol y la Luna fijos y opuestos en el espacio.
- Modelo de traslación: la Luna y el Sol, opuestos en el espacio, se trasladan alrededor de la Tierra.
- Modelo de revolución terrestre: la Tierra se traslada alrededor del Sol.
- Modelo científico heliocéntrico: la Tierra rota alrededor de su eje haciendo que el Sol incida alternadamente sobre distintas partes de su superficie.

En relación a las causas de las estaciones del año:

- Modelo de distancia variable por excentricidad de la órbita: a medida que la Tierra se traslada, la distancia al Sol cambia debido a que la órbita no es una circunferencia.
- Modelo de distancia variable por inclinación del eje: la inclinación del eje de la Tierra hace que una parte de su superficie se ubique más cerca del Sol que otra.
- Modelo de rotación: como la Tierra rota sobre su eje, en la cara que da al Sol es verano mientras en la opuesta es invierno.
- Modelo científico heliocéntrico: la inclinación del eje de la Tierra junto con su traslación alrededor del Sol provocan las estaciones del año.

En relación a las causas de las fases lunares:

- Modelo de eclipse: la sombra de la Tierra tapa parte de la Luna.
- Descripción de las distintas formas de la Luna sin ninguna explicación.

A partir de lo desarrollado en el **Capítulo 4**, es esperable que en alumnos de 6to. grado del nivel primario no aparezcan, o lo hagan en muy baja proporción, los modelos científicos que permiten explicar adecuadamente el día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna. A su vez, es factible que algunos de los estudiantes no tomen conciencia de sus propias limitaciones para explicar dichos fenómenos. Por lo tanto, esta primera actividad servirá de indicador, tanto para alumnos como para el docente/investigador, acerca de la necesidad de llevar a cabo esta propuesta didáctica de enseñanza acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos en forma topocéntrica.

### **6.5.2. Situación 2: "Reflexionando sobre la relatividad del movimiento"**

Se forman grupos de trabajo de cuatro o cinco integrantes, los cuales serán de funcionamiento continuo a lo largo de la secuencia de clases. A cada grupo se le reparte una hoja con dos "escenarios" ficticios con el fin de que discutan si están de acuerdo o no con lo planteado en la situación en relación a cuál de las apreciaciones les parece correcta y que lo justifiquen. A continuación se brinda el detalle de la actividad.

### Poniendo en juego nuestras ideas sobre el movimiento

Discutan las siguientes situaciones. Indiquen si están de acuerdo o no con todo o con una parte de lo expresado. Justifiquen por qué. Anoten si hay distintas opiniones dentro del grupo.

1. Dos hermanos pequeños están subidos a una calesita que se encuentra girando. En un momento, registran el siguiente diálogo (ver el dibujo):



- Niño A: Mirá... ¡la abuela está girando alrededor de la calesita! ¡Y la planta también! Y, para colmo, ¡los dos giran para atrás!
- Niño B: No... ¡cómo se va a mover la abuela con la edad que tiene! ¡Y ni hablar de la planta!
- Niño A: Está bien. ¿Pero vos no los ves moverse para atrás?
- Niño B: Sí, claro. Pero eso no está bien. Como el suelo está quieto, lo correcto es que la calesita se mueve y la abuela no.

**Estamos:** De acuerdo / En desacuerdo / De acuerdo parcialmente.

**¿Por qué?** .....

2. Dos chicos ven en la televisión una escena de una película en la que un joven se aleja de una ciudad en su auto. La escena se filma desde el auto, por lo cual la ciudad se ve cada vez más lejos. Entonces, los chicos comienzan a dialogar:

- Niño A: Mirá... ¡la ciudad se está alejando del auto! ¡Es como si todos los edificios fuesen para atrás!
- Niño B: ¡Es cierto, pero es el auto el que se mueve! ¡No van a estar moviéndose los edificios!
- Niño A: Pero si yo no supiese que estoy en el auto, podría pensar que se está alejando la ciudad.
- Niño B: Sí, pero no es así. Lo correcto es que el auto se mueve y que los edificios no.

**Estamos:** De acuerdo / En desacuerdo / De acuerdo parcialmente.

**¿Por qué?** .....

Dado que investigaciones anteriores han mostrado que los alumnos tienden a tomar como sistema de referencia absoluto y sin movimiento a la superficie terrestre, se espera que, en ambos casos, los estudiantes estén de acuerdo con lo planteado por el Niño B. Al respecto, el planteo de dos "escenarios" tiene como fin que los estudiantes visualicen que el mismo razonamiento puede realizarse en situaciones distintas y que las conclusiones que ellos elaboraron para la primera situación deberían ser coherentes con las planteadas para la segunda. Esto permitirá que, posteriormente, las conclusiones de esta actividad puedan ser transferidas a una nueva situación similar: la de describir los movimientos de los astros tal como se los observa desde la superficie terrestre.

Luego de discutir en forma grupal la actividad, y de anotar sus conclusiones en las hojas, se realiza una sistematización de las respuestas de los distintos grupos. En ese momento se busca generar la discusión de si es correcto o no decir que "la abuela va para el otro lado" o que "la ciudad va para atrás", si es lo que realmente están

observando los niños desde donde están ubicados. Durante esta sistematización, el docente aprovecha la discusión para definir el concepto de sistema de referencia y para indicar que su elección es totalmente arbitraria, por lo que siempre el movimiento será relativo al sistema de referencia que se decida utilizar. Por último, el docente aporta información adicional a partir de definir el sistema de referencia topocéntrico y de explicar su utilidad práctica para comprender en forma sencilla los fenómenos astronómicos visibles cotidianamente en el cielo. Por ese motivo, se establece que dicho sistema será el elegido para describir el movimiento de los astros en el cielo a lo largo de todas las clases a desarrollar.

Para finalizar el trabajo sobre sistemas de referencia, se le entrega a cada uno de los estudiantes una hoja para colocar en la carpeta con una síntesis de lo discutido y acordado en la sistematización. Dicha síntesis incluye una actividad sencilla de resolución individual en la que los alumnos deben elegir una de las palabras dadas como opción, o escribir la palabra faltante, de modo tal que la frase sea coherente con lo desarrollado. Este tipo de actividad, que incluye "preguntas de completamiento" dentro de la información a colocar en la carpeta, será utilizada en diferentes oportunidades dentro de la secuencia didáctica ya que permite su corrección sencilla por parte del docente recorriendo los distintos bancos, lo que permite acceder a cierto conocimiento sobre cuál ha sido el nivel de comprensión individual de un tema discutido en forma grupal durante la clase. A continuación se presenta la actividad junto con las opciones (subrayadas) que deberían ser elegidas para que la proposición sea coherente con lo enseñado.

**Resolver a partir de lo aprendido en clase**

Cuando deseamos indicar el movimiento de un objeto, **PODEMOS / NO PODEMOS** elegir cualquier referencia. Por eso, **SIEMPRE / NO SIEMPRE** hay que elegir al suelo como referencia. Por ejemplo, nosotros ahora estamos quietos si tomamos como referencia al ..... (**SUELO**), pero estamos en movimiento si tomamos como referencia al ..... (**SOL**). Por eso, para aprender acerca de cómo se mueven los astros en el cielo conviene **PENSAR EN EL MOVIMIENTO DE LA TIERRA / SUPONERNOS A NOSOTROS QUIETOS JUNTO CON LA TIERRA**. A este sistema de referencia se lo conoce como **TOPOCÉNTRICO / HELIOCÉNTRICO**.

El análisis didáctico de la **Situación 2** a partir de los componentes básicos de la ECPE (Otero, 2006; Fanaro, 2009) se encuentra sintetizado en la **Tabla 6-1**.

**Tabla 6-1:** Análisis didáctico de la **Situación 2**.

<b>Preguntas clave</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ¿El movimiento es absoluto o relativo? ¿Existe un sistema de referencia privilegiado respecto a otro?</li> <li>– ¿Qué sistema de referencia astronómico es conveniente para describir el movimiento de los astros en el cielo?</li> </ul>
<b>Acciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Debatir si algo se mueve o no. Poner en juego ideas propias.</li> <li>– Discutir la relatividad de los sistemas de referencia. Acordar el uso del sistema de referencia topocéntrico.</li> <li>– Realizar una consigna sobre sistemas de referencia.</li> </ul>

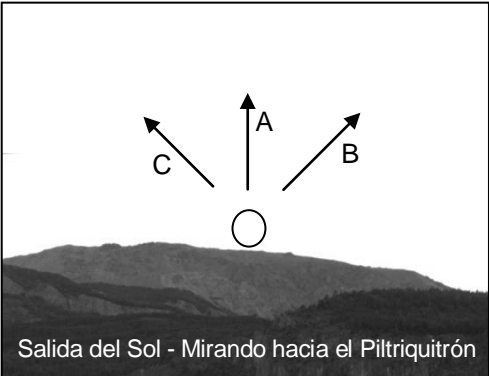
<b>Conceptos clave</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sistema de referencia.</li> <li>– Movimiento relativo.</li> <li>– Sistema de referencia topocéntrico.</li> </ul>
<b>Explicaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– El movimiento siempre es relativo a un sistema de referencia.</li> <li>– La elección del sistema de referencia topocéntrico permite describir el movimiento de los astros en el cielo.</li> </ul>
<b>Mecanismo explicativo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Posicionarse imaginariamente en distintos sistemas de referencia y describir qué se observa desde cada uno de ellos.</li> <li>– Utilizar el sistema de referencia topocéntrico para describir el movimiento de los astros en el cielo desde la superficie terrestre.</li> </ul>
<b>Principios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– No existe un sistema de referencia absoluto. La descripción del movimiento puede realizarse desde cualquier sistema de referencia.</li> </ul>

### 6.5.3. Situación 3: "Simulando el movimiento diario del Sol mediante Stellarium"

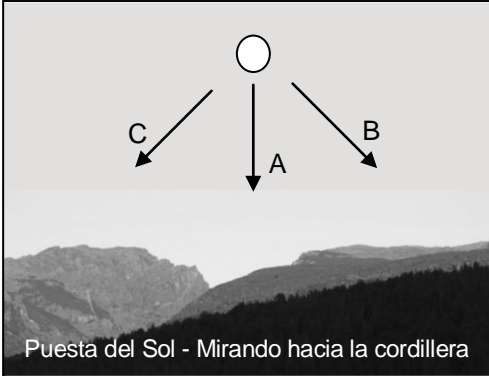
Se reparte una hoja con la actividad a cada integrante del curso, la cual será resuelta en clase con la coordinación del docente.

**¿Cómo es el recorrido diario del Sol?**

1. Un compañero de tu escuela ha observado atentamente las salidas y las puestas del Sol muchos días, por lo que ha podido dibujar cómo se mueve este astro en el cielo cuando sale por la mañana y cuando se pone por la tarde. ¿Qué flecha (A, B o C) te parece que representa lo que observó en cada caso?



Salida del Sol - Mirando hacia el Piltriquitrón



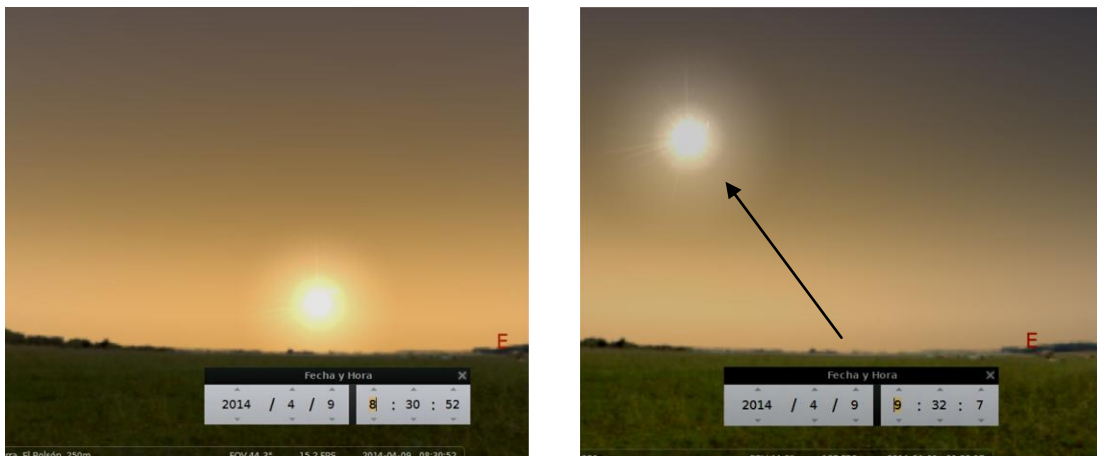
Puesta del Sol - Mirando hacia la cordillera

2. Observando a simple vista o utilizando el programa Stellarium ([www.stellarium.org](http://www.stellarium.org)), visualizar cómo es el movimiento del Sol en el cielo en los momentos de salida y puesta. Comparar con lo que has indicado en el punto 1. Determinar en qué dirección se observa el Sol cuando se encuentra en la mitad de su recorrido diario (el mediodía solar).

La consigna 1 de la actividad se realiza en forma previa para conocer cuáles son las ideas que poseen los estudiantes respecto al movimiento del Sol en el cielo. Probablemente, muchos alumnos sugerirán que el Sol asciende y desciende en forma vertical, pasando por encima de sus cabezas en el mediodía solar (la mitad del recorrido diario). A su vez, muy probablemente sostengan que el mediodía solar ocurre a las 12 hs, valor muy diferente del valor real, que en la zona de El Bolsón corresponde a las 13.45 hs. Estas ideas serán anotadas en el pizarrón, de modo tal de poder contrastarlas posteriormente con lo que se observa en el cielo a simple vista, lo cual puede ser obtenido de dos modos distintos: a partir de la observación directa de la salida y puesta del Sol, o a partir de la simulación del fenómeno utilizando un programa informático de descarga gratuita llamado "Stellarium" ([www.stellarium.org](http://www.stellarium.org)). Esta última opción será la elegida al momento de implementar esta propuesta ya que la época del año en que se llevará a cabo esta secuencia está caracterizada por tener muchos días nublados.

El programa Stellarium es un simulador del movimiento de los astros en el cielo con recursos gráficos que aparentan el cielo real tal como puede observarse a simple vista. Para comenzar a usarlo en forma adecuada hay que seleccionar de una lista la localidad correspondiente en la que la persona se encuentra o introducir sus coordenadas geográficas. En este caso, El Bolsón no se encuentra en el listado, por lo que fueron ingresadas sus coordenadas: 41° 58' Sur y 71° 31' Oeste. A su vez, la computadora debe estar configurada con la hora local y tener seleccionada la zona horaria correspondiente (UTC -3 para toda la Argentina). Una vez realizadas estas calibraciones del programa, la pantalla muestra el cielo local tal como se lo observa a una cierta hora mirando en una determinada dirección geográfica. Por otro lado, el software permite modificar el horario y día de observación, la dirección en la que se mira el cielo, agregar los dibujos de las constelaciones y muchas otras funciones más. En esta ECPE básicamente se utilizará el Stellarium para observar los cambios diarios y anuales del Sol y la Luna en el cielo, lo que permitirá comprender desde un punto de vista local por qué se producen el día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares. A su vez, el programa podrá ser utilizado para visualizar otros fenómenos astronómicos que tengan lugar durante el desarrollo de la secuencia, como la observación de algún astro de gran brillo en el cielo, el reconocimiento de constelaciones o de planetas a simple vista, la observación de un eclipse, etc. La **Figura 6-3** muestra un ejemplo de cómo puede observarse el desplazamiento diario del Sol utilizando el programa Stellarium.

**Figura 6-3:** Imágenes del programa Stellarium mostrando el cielo mirando hacia el Este en el momento de salida del Sol (izquierda) y una hora después (derecha) en la localidad de El Bolsón. Puede visualizarse que el movimiento diario del Sol se produce inclinado hacia el norte (se agregó flecha indicativa).





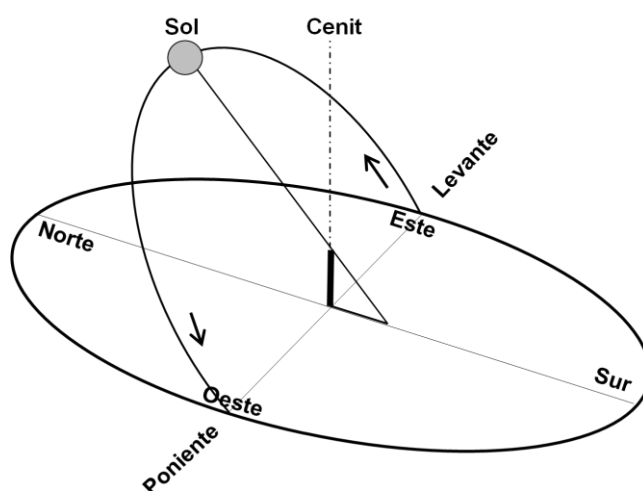
La utilización del programa Stellarium en las clases tiene como propósito independizar el desarrollo de la ECPE de la necesidad de tener días despejados para poder implementar la propuesta didáctica a partir de observaciones directas del cielo. Pese a esto, la secuencia propone desarrollar en forma paralela dichas observaciones desde la escuela, o desde las casas de los alumnos, con el fin de que aquello que se visualiza en el software quede íntimamente relacionado con lo que se observa en el cielo. En la **sección 10.7** del **Anexo** se presenta la **Guía de actividades de observación del cielo**, la cual fue elaborada y distribuida a los alumnos para ser realizada a lo largo de las clases en la medida en que el estado del tiempo lo permita.

Para simplificar el desarrollo de la clase, se utiliza el programa Stellarium colocando la fecha correspondiente a un equinoccio, de modo tal de no introducir todavía el tema de los cambios en los lugares de salida y puesta del Sol que ocurren a lo largo del año. Una vez visualizado que el desplazamiento del Sol se produce en forma inclinada, tal como indican las opciones C del punto 1, y que el mediodía solar ocurre cerca de las 13.45 hs (en El Bolsón), momento en que el Sol se ubica justo hacia el norte, los estudiantes formarán nuevamente los grupos de la clase anterior para trabajar en el armado de una representación concreta de lo observado.

#### 6.5.4. Situación 4: "Representación del movimiento diario del Sol en una maqueta y explicación del día y la noche"

Luego de haber simulado el movimiento diario del Sol con el Stellarium, los estudiantes deben mostrar dicho movimiento en una sencilla maqueta en la cual se representará el horizonte del lugar mediante un telgopor plano que posea indicados los puntos cardinales, el Sol con una pelota de telgopor y su recorrido con un alambre (**Figura 6-4**).

**Figura 6-4:** Representación del movimiento diario del Sol en el cielo tal como debería ser mostrado en la maqueta (corresponde a la fecha de equinoccios).



Posteriormente, los alumnos deben utilizar lo descrito en la maqueta para explicar el fenómeno del día y la noche y para indicar si la Luna posee alguna relación con este fenómeno. A continuación se presentan las consignas a plantear a los alumnos.

### ¿Cómo podemos explicar el día y la noche a partir del movimiento diario del Sol?

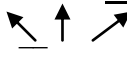

1. Representar en forma de maqueta el recorrido del Sol observado con el Stellarium.
2. A partir de lo representado en la maqueta, ¿cómo podrían explicar cuándo es de día y cuándo es de noche? ¿La Luna tiene relación con la alternancia de días y noches?
3. Realizar en una hoja aparte: "*Explico el día y la noche mediante un dibujo y una frase*".

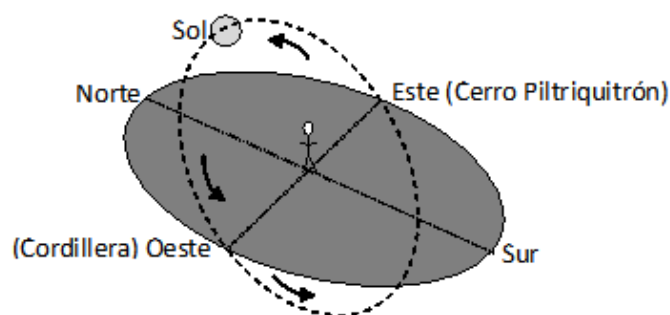
Para resolver las consignas 1 y 2, el docente recorre los distintos grupos ayudando a los estudiantes a pensar el modo en que pueden relacionar el recorrido del Sol con la observación del fenómeno del día y la noche. En ese momento, se promueve que los estudiantes construyan la idea de que el día y la noche quedan determinados, simplemente, por la presencia o ausencia del Sol por arriba del horizonte local. Posteriormente, cada grupo resolverá la consigna 3 sin ayuda del docente ya que las distintas respuestas serán leídas en el frente a todo el grupo de clase, al mismo tiempo que se muestran las distintas maquetas, de forma tal que los estudiantes de otros grupos aprueben o propongan modificaciones o agregados a la explicación dada. A su vez, el docente intervendrá clarificando las dudas o confusiones que aparezcan y sistematizando la información en el pizarrón.

El trabajo grupal anterior, junto con la siguiente actividad individual "de completamiento", permitirá analizar si se han producido cambios en los teoremas en acto que ponen en juego los estudiantes para explicar el ciclo día/noche. El trabajo individual será retirado por el docente, corregido y devuelto a cada alumno en la clase siguiente, donde se realizará una breve explicación de los errores más comunes detectados durante la corrección. A continuación se presenta la actividad junto con las opciones (subrayadas) que deberían ser elegidas para que las frases sean coherentes con lo enseñado.

#### Movimiento diario del Sol. El día y la noche

*Elegir o completar la opción que consideres correcta a partir de lo desarrollado en clase*

El Sol sale por algún lugar del horizonte hacia el ESTE / OESTE y, a medida que van pasando las horas, asciende en el cielo así  y las sombras de los objetos se van haciendo cada vez más cortas. Cuando el Sol llega a su altura máxima se ubica justo hacia el NORTE / SUR y su sombra es la más CORTA / LARGA de todo el día, apuntando justo hacia el NORTE / SUR. A este instante se lo llama .....  
(MEDIODÍA SOLAR) Luego, el Sol comienza a descender así  y las sombras se hacen cada vez más largas hasta que el Sol se pone por algún lugar del horizonte hacia el ESTE / OESTE. De este modo, el recorrido diario del Sol se puede representar así:



Es de día cuando el Sol está ..... (**ARRIBA**) de nuestro horizonte local y es de noche cuando se encuentra ..... (**DEBAJO**). En la noche, el cielo se vuelve oscuro y eso permite ver estrellas, planetas y, a veces, a la Luna. De día, el cielo se ve celeste y, por ese motivo, sólo es posible ver el Sol y, a veces, a la Luna. Por lo tanto, la Luna no tiene relación con el día y la noche. Día = **PRESENCIA / AUSENCIA** de ..... (**SOL**). Noche = **PRESENCIA / AUSENCIA** de ..... (**SOL**).

El análisis didáctico de las **Situaciones 3 y 4** se encuentra sintetizado en la **Tabla 6-2**.

**Tabla 6-2:** Análisis didáctico de las **Situaciones 3 y 4**.

<b>Preguntas clave</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Cómo es el movimiento diario del Sol en el cielo?</li> <li>- ¿Cómo es posible explicar el fenómeno del día y la noche a partir del movimiento diario del Sol?</li> <li>- ¿El día y la noche tiene alguna relación con la Luna?</li> </ul>
<b>Acciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Imaginar el desplazamiento del Sol en la salida y en la puesta.</li> <li>- Visualizar el movimiento diario del Sol utilizando un simulador o a partir de observaciones a simple vista.</li> <li>- Contrastar las anticipaciones con lo observado.</li> <li>- Representar el movimiento diario en una maqueta.</li> <li>- Explicar el día y la noche a partir del movimiento diario del Sol.</li> </ul>
<b>Conceptos clave</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimiento diario del Sol.</li> <li>- Mediodía solar.</li> <li>- Línea norte-sur.</li> <li>- Mediodía civil.</li> <li>- Ciclo día/noche.</li> </ul>
<b>Explicaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El movimiento diario del Sol se produce desde el horizonte oriental al occidental, observándose inclinado hacia el norte debido a nuestra ubicación geográfica.</li> <li>- El Sol se ubica justo hacia el norte en el mediodía solar. Por lo tanto, en ese instante, la sombra de una estaca vertical apunta justo hacia el sur. Esto permite trazar la línea norte-sur.</li> <li>- El movimiento diario del Sol es parte de la rotación de toda la esfera celeste de este a oeste.</li> </ul>

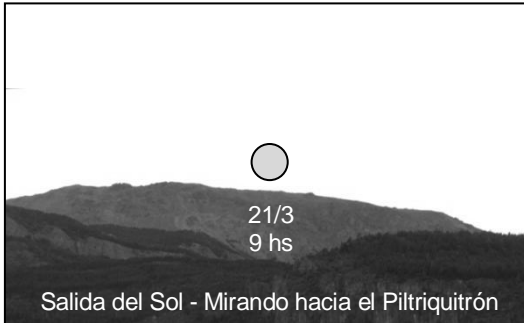
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– El movimiento diario del Sol provoca el día y la noche: es de día cuando el Sol está encima del horizonte y de noche cuando se ubica por debajo. La Luna no tiene relación con este fenómeno.</li> </ul>
<b>Observaciones y registros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Registro del movimiento diario del Sol a partir de observaciones directas o de una simulación mediante un programa informático.</li> <li>– Visualizar que la Luna se observa tanto de día como de noche.</li> </ul>
<b>Principios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– El sistema de referencia topocéntrico es adecuado para describir el movimiento del Sol tal como se lo observa en el cielo y, en consecuencia, para explicar el ciclo día/noche.</li> </ul>

### 6.5.5. Situación 5: "Simulando el movimiento anual del Sol mediante Stellarium"


Al igual que con el movimiento diario del Sol, a cada estudiante se le reparte una hoja con la actividad a resolver, la cual consiste en un cuadro que será completado utilizando el programa Stellarium con el fin de simular cómo cambia el recorrido que sigue el Sol en el cielo a lo largo del año. Previo a esto, los estudiantes deben poner en juego sus teoremas en acto en la consigna 1, donde deben indicar si les parece que se producen cambios en los lugares y horarios de salida y puesta del Sol durante el año.

**¿Cómo se desplaza el Sol en el cielo a lo largo del año?**

1. A partir de tus propias ideas y de lo que has podido observar en el cielo, ¿te parece que cambian los horarios de salida y puesta del Sol a lo largo del año? ¿Y los lugares por los que sale y se pone el Sol? Si hay cambios, indicarlos en el dibujo.



Salida del Sol - Mirando hacia el Piltriquitrón



Puesta del Sol - Mirando hacia la Cordillera

2. Completar la tabla sobre el movimiento anual del Sol observando los cambios utilizando el programa Stellarium:

Comienzo de	Fecha	Lugar de salida y horario	Lugar de puesta y horario	Altura del Sol al mediodía
Hoy	.....	.Al ..... del este. A las ..... hs	Al ..... del oeste. A las ..... hs	Bajo / Medio / Alto
.....	.....	Lo más al norte del este de todo el año. A las ..... hs	Lo más al norte del oeste de todo el año. A las ..... hs	Bajo / Medio / Alto

.....	.....	Justo por el este A las ..... hs	Justo por el oeste. A las ..... hs	Bajo / Medio / Alto
.....	.....	Lo más al sur del este de todo el año. A las ..... hs	Lo más al sur del oeste de todo el año. A las ..... hs	Bajo / Medio / Alto
.....	.....	Justo por el este A las ..... hs	Justo por el oeste. A las ..... hs	Bajo / Medio / Alto

Seguramente, la mayoría de los estudiantes responderán la consigna 1 diciendo que el Sol sale todos los días por el mismo lugar, el este, y que se oculta siempre por el oeste, como sugieren muchas investigaciones llevadas a cabo y como se encuentra erróneamente explicado en distintos materiales de enseñanza y divulgación de la temática. Por otro lado, es posible que muchos alumnos indiquen que los horarios de salida y puesta del Sol cambian a lo largo del año, algo que resulta sencillo de percibir en la vida cotidiana. Sin embargo, esto resulta una contradicción dado que un cambio temporal debe ir asociado a una variación espacial. O sea, no es posible que se produzca una modificación en los horarios de salida y puesta del Sol si no existe un cambio en la posición del Sol. Si el Sol saliese siempre por el mismo lugar, saldría a la misma hora. Estas ideas serán anotadas en el pizarrón, de modo tal de poder contrastarlas posteriormente con lo que se observa en el cielo a simple vista, lo cual será obtenido, nuevamente, a partir de la simulación del fenómeno utilizando el software libre "Stellarium".

Para realizar la consigna 2, se comenzará colocando el programa en la fecha correspondiente al dictado de la clase y se observarán los lugares y horarios de salida y puesta del Sol para ese día, registrándose la altura del Sol en el mediodía solar (bajo, medio o alto), tomando como referencia la ubicación del cenit, el cual puede ser señalado en el programa mediante la opción "*Cuadrícula azimutal*". Posteriormente, se registrará lo mismo para la fecha del año en que la salida del Sol ocurre lo más al norte del este de todo el año (21/6), día que se buscará cambiando la fecha en el programa. Lo mismo se realizará para los días en que el Sol sale justo por el este (21/9 y 21/3) y para el día en que el Sol sale lo más al sur de todo el año (21/12). Con el fin de simplificar la actividad, y dado que no marca diferencias relevantes, se utilizarán las fechas convencionales de cambio de estación mencionadas anteriormente sin tener en cuenta que las mismas son aproximadas. Por último, se completará en el cuadro el nombre de la estación del año que comienza en cada una de las fechas.

Al finalizar la consigna 2, el docente realiza una sistematización del modo en que se desplaza anualmente el Sol en el cielo y de su relación con los cambios visibles en cuanto a los lugares y horarios de salida y puesta, a la altura del Sol, a la inclinación de los rayos solares, a la cantidad de horas de luz y, finalmente, al inicio y finalización de cada estación del año. Durante toda esta explicación, el docente realiza movimientos con sus brazos para representar las distintas trayectorias del Sol y explica los nombres de los correspondientes instantes en que ocurren los cambios estacionales: "solsticio de junio o de invierno", "equinoccio de septiembre o de primavera", "solsticio de diciembre o de verano" y "equinoccio de marzo o de otoño", aclarando que estas estaciones corresponden al hemisferio sur, siendo contrarias en el hemisferio norte. Al mismo tiempo, interroga a los estudiantes sobre en qué parte del cielo debe estar el Sol si sale temprano, si se pone temprano, si se lo observa bien bajo, si sale justo por el este y se pone justo por el oeste, etc. El paso siguiente será volcar todo en un modelo concreto, la maqueta, representando en ella las trayectorias diarias del Sol correspondientes a los solsticios y equinoccios con el fin de explicar los cambios estacionales.

### 6.5.6. Situación 6: "Representación del movimiento anual del Sol en una maqueta y explicación de las estaciones del año"

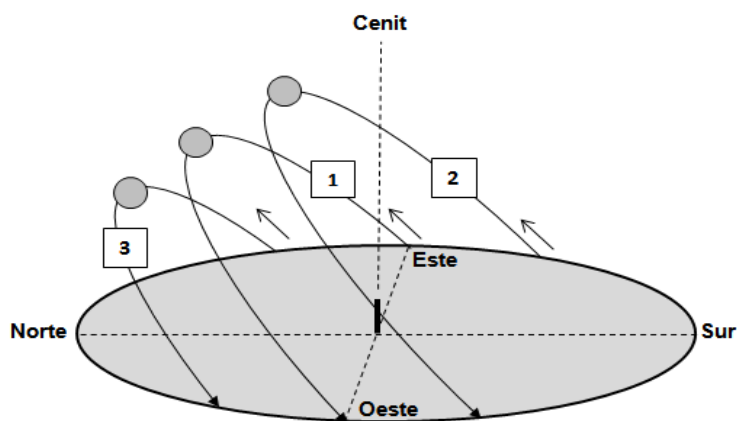
A partir de haber observado los cambios anuales en el recorrido que realiza el Sol utilizando el programa Stellarium, los estudiantes deben mostrar dichos cambios en la misma maqueta en la que habían representado el desplazamiento diario del Sol en una fecha determinada del año. A continuación se presentan las consignas a plantear a los alumnos.

#### ¿Cómo explicar las estaciones del año a partir del movimiento anual del Sol?

1. En la misma maqueta utilizada para mostrar el movimiento diario del Sol en una determinada fecha, representen cómo cambia ese movimiento a lo largo del año a partir de lo observado con el programa Stellarium. Representen las trayectorias correspondientes a solsticios y equinoccios y coloquen carteles que indiquen los nombres de estos eventos (solsticio de verano, equinoccio de primavera, etc), en qué fecha del año ocurre cada uno de ellos, por qué lugar sale y se pone el Sol en esos días del año y cuál es la estación del año que está dando inicio en esa fecha.
2. A partir de lo representado en la maqueta, ¿cómo podrían explicar las estaciones del año? Piensen qué sucede con la altura del Sol, con la inclinación de los rayos solares y con la cantidad de horas de luz en cada uno de los cuatro recorridos.

En la consigna 1, se espera que los estudiantes armen un modelo similar al presente en la **Figura 6-5**.

**Figura 6-5:** Representación del movimiento anual del Sol en el cielo tal como debería ser mostrado en la maqueta. La trayectoria 1 corresponde a los equinoccios, la 2 al solsticio de diciembre y la 3 al solsticio de junio.



En este modelo, los carteles a colocar por los alumnos deben indicar que la trayectoria 1 corresponde al recorrido que realiza el Sol en el cielo en los equinoccios, días en que el Sol sale justo por el este y se pone justo por el oeste, lo cual ocurre el 21 de marzo, fecha de comienzo del otoño, y el 21 de septiembre, día de comienzo de la primavera. La trayectoria 2 corresponde al día 21 de diciembre, fecha en que el Sol sale bien al sur del este y se pone lo más al sur del oeste de todo el año, dando comienzo al verano y ocurriendo el llamado solsticio de diciembre. Por su parte, la trayectoria 3 corresponde al

día 21 de junio, día en que el Sol sale y se pone lo más al norte del este y del oeste, respectivamente, de todo el año, fecha en que ocurre el solsticio de junio, el cual da comienzo al invierno. Como ya se ha indicado, se simplificará la explicación utilizando el día 21 como fecha aproximada de cambio de estación.

Dado que el modelo concreto a construir por los estudiantes representa una construcción conceptual basada en el sistema de referencia topocéntrico, y en observaciones o simulaciones del movimiento del Sol en el cielo realizadas desde el ámbito local, no resulta necesario indicar que las estaciones estarán invertidas respecto a lo que sucede en el otro hemisferio terrestre. Por el contrario, el modelo representa adecuadamente el cambio paulatino del movimiento del Sol en el cielo visto desde El Bolsón, y cómo esto provoca una modificación en la altura del Sol y en la cantidad de horas de luz, haciendo posible explicar con esto las estaciones del año.

Para resolver la consigna 2, el docente reparte individualmente un material informativo sobre estaciones del año (ver **sección 10.8** del **Capítulo 10**) y recorre los distintos grupos ayudando a los estudiantes a pensar el modo en que pueden relacionar los distintos recorridos del Sol con la observación del fenómeno de las estaciones del año. En ese momento se promueve que los estudiantes construyan la idea de que los cambios estacionales quedan determinados por la presencia del Sol más al norte o más al sur del cielo, lo que hace que siga trayectorias más altas o más bajas, por lo cual se producen cambios en la inclinación de los rayos solares y en la cantidad de horas de luz.

Posteriormente, el docente mostrará distintas maquetas con el fin de analizar si las tres trayectorias (dos de solsticios y una de equinoccios) están bien representadas. En este sentido, las mismas deben estar inclinadas hacia el norte, no deben pasar nunca por el cénit y deben llegar a distintas alturas máximas (más alta la del sur y mucho más baja la del norte). A su vez, el docente intervendrá clarificando las dudas o confusiones que aparezcan y sistematizando la información en el pizarrón.

A continuación se plantea una actividad individual "de completamiento" con el fin de que los alumnos pongan en juego los conocimientos adquiridos y que el docente pueda tener una aproximación al grado de comprensión conceptual logrado por cada estudiante. La consigna 1 tiene como propósito que los estudiantes reconstruyan los cambios anuales en los lugares y horarios de salida y puesta del Sol observados directamente o simulados mediante Stellarium. La consigna 2 apunta a analizar si los alumnos logran relacionar dichos cambios anuales en la posición del Sol con los cambios estacionales que ellos mismos observan a diario. En esta consigna, las opciones subrayadas son las que deberían elegir los alumnos para que las frases sean coherentes con lo enseñado.

**Cambios en el recorrido del Sol. Las estaciones del año**

1. Completar el dibujo sobre cómo cambia la posición del Sol en la salida y la puesta para los otros días de cambio de estación (comienzo del invierno y del verano):

<p>21 de marzo ..... hs</p>  <p>Salidas del Sol Mirando hacia el este (el Piltri)</p>	<p>21 de marzo ..... hs</p>  <p>Puestas del Sol Mirando hacia el oeste (la cordillera)</p>
--	--

2. Completar las siguientes frases:

Las estaciones del año se deben a que el Sol se desplaza en el cielo de norte a sur haciendo que su recorrido se ubique hacia el **SUR / NORTE** en otoño e invierno y hacia el **SUR / NORTE** en primavera y verano. Sólo dos días al año, el 21 de marzo y el 21 de ..... (**SEPTIEMBRE**), el Sol realiza una trayectoria justo de este a oeste. A esos días se los llama equinoccios y marcan el inicio del ..... (**OTOÑO**) y de la ..... (**PRIMAVERA**) en el hemisferio sur.

Del 21 de diciembre al 21 de junio el Sol sale cada día más al **SUR / NORTE** y, al desplazarse, realiza trayectorias cada vez más bajas. El 21 de junio el Sol realiza la trayectoria más al **SUR / NORTE** y más **BAJA / ALTA** de todo el año, por lo que las horas de luz son pocas y los rayos del Sol nos llegan muy inclinados. Ese día, llamado solsticio de junio, comienza el ..... (**INVIERNO**) en el hemisferio sur.

Del 21 de junio al 21 de diciembre el Sol sale cada día más al **SUR / NORTE** y, al desplazarse, realiza trayectorias cada vez más altas. El 21 de diciembre el Sol realiza la trayectoria más al **SUR / NORTE** y más **BAJA / ALTA** de todo el año, por lo que las horas de luz son muchas y los rayos del Sol nos llegan muy poco inclinados. Ese día, llamado solsticio de diciembre, comienza el ..... (**VERANO**) en el hemisferio sur.

El Sol **SALE / NO SALE** todos los días por el mismo lugar y **TAMBIÉN / TAMPOCO** a la misma hora. Como nosotros vivimos al sur de la Tierra, es verano cuando el Sol sale al **SUR / NORTE** del este y se pone al **SUR / NORTE** del oeste. En esa época, el Sol sigue un recorrido **BAJO / ALTO** en el cielo, por lo que sus rayos nos llegan **MUY / POCO** inclinados. Además, está **POCAS / MUCHAS** horas por encima de nuestro horizonte (días más largos). En invierno, en cambio, el Sol sale al **SUR / NORTE** del Este y se pone al **SUR / NORTE** del oeste, época en que realiza un recorrido **BAJO / ALTO**, por lo que sus rayos nos llegan **MUY / POCO** inclinados y, además, el Sol sale más tarde y se pone más temprano (días más cortos).

La altura del Sol en el mediodía solar tiene relación con la estación del año en que nos encontramos. En los equinoccios, la altura del Sol es **BAJA / MEDIA / ALTA**, mientras que en el solsticio de invierno (21 de junio) el Sol al mediodía se encuentra **BAJO / ALTO**. En el solsticio de verano (21 de diciembre), en cambio, el Sol se ubica **BAJO / ALTO**. En nuestra zona, el Sol **A VECES / NUNCA** se ubica justo arriba de nuestras cabezas (el cénit).

El análisis didáctico de las **Situaciones 5 y 6** planteadas en relación al movimiento anual del Sol y a las estaciones del año se encuentra sintetizado en la **Tabla 6-3**.



**Tabla 6-3:** Análisis didáctico de las **Situaciones 5 y 6.**

<p><b>Preguntas clave</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ¿Cómo cambian durante el año los lugares y horarios de salida y puesta del Sol?</li> <li>– ¿Qué relación existe entre la posición del Sol en el cielo (al norte o al sur) con su altura en el mediodía solar y con la cantidad de horas de luz?</li> <li>– ¿Cómo se pueden explicar las estaciones del año a partir de los cambios anuales en la posición del Sol?</li> </ul>
<p><b>Acciones</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Imaginar los cambios anuales en los lugares y horarios de salida y puesta del Sol.</li> <li>– Visualizar los cambios anuales en la trayectoria del Sol utilizando un simulador o a partir de observaciones a simple vista.</li> <li>– Contrastar las anticipaciones con lo observado.</li> <li>– Representar en una maqueta las trayectorias del Sol correspondientes a solsticios y equinoccios.</li> <li>– Explicar las estaciones del año a partir del movimiento anual del Sol.</li> </ul>
<p><b>Conceptos clave</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Movimiento anual del Sol.</li> <li>– Levante y poniente.</li> <li>– Altura del Sol en el mediodía solar.</li> <li>– Inclinación de los rayos solares.</li> <li>– Solsticios y equinoccios.</li> <li>– Estaciones del año.</li> </ul>
<p><b>Explicaciones</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– El movimiento anual del Sol provoca que éste no salga ni se ponga todos los días por el mismo lugar ni a la misma hora.</li> <li>– Desde diciembre a junio, el Sol se ubica cada vez más hacia el norte, por lo cual las personas que viven al sur (como nosotros) ven que éste realiza recorridos sucesivamente más bajos, lo que provoca que sus rayos incidan cada vez con mayor inclinación y, en consecuencia, que éstos se perciban con menor intensidad.</li> <li>– De junio a diciembre, el Sol se ubica cada día más hacia el sur, por lo que las personas que viven al sur observan recorridos cada vez más altos. Por lo tanto, los rayos solares inciden con menor inclinación, provocando que se perciban con mayor intensidad.</li> <li>– El Sol sale por el este y se pone por el oeste sólo dos días al año, llamados equinoccios, los cuales ocurren cerca del 21/3 y 21/9. Esos días comienzan el otoño y la primavera en el hemisferio sur, respectivamente, y hay 12 hs de luz y 12 hs de oscuridad.</li> <li>– Los días que el Sol se ubica lo más al norte y lo más al sur de todo el año se llaman solsticios, los cuales ocurren cerca del 21/6 y del 21/12. En el hemisferio sur comienzan el invierno y el verano, respectivamente, mientras que en el hemisferio norte comienzan las estaciones contrarias.</li> </ul>
<p><b>Observaciones y registros</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Registro de los lugares y horarios de levante y poniente a partir de observaciones directas o de la simulación mediante Stellarium.</li> <li>– Registro de la altura del Sol al mediodía a lo largo del año mediante observaciones directas o con Stellarium.</li> </ul>

<b>Principios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El sistema de referencia topocéntrico es adecuado para describir el movimiento del Sol tal como se lo observa en el cielo y, en consecuencia, para explicar las estaciones del año.</li> <li>- La utilización de un sistema de referencia local permite construir explicaciones adecuadas a cada nivel de escolaridad y colocar a los estudiantes como centro de su propio proceso de aprendizaje.</li> </ul>
-------------------	--

**6.5.7. Situación 7: "Simulando el movimiento diario de la Luna mediante Stellarium"**

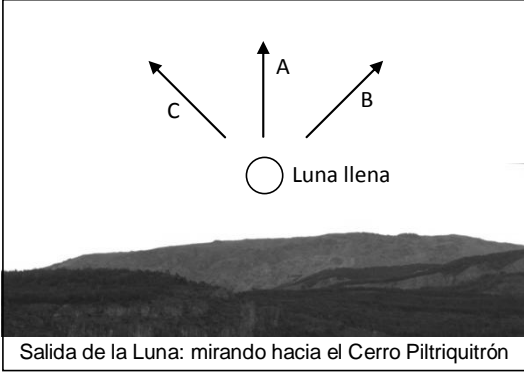
Al igual que con el movimiento diario del Sol, a cada estudiante se le reparte una hoja con la actividad a resolver, la cual consiste en poner en juego sus concepciones respecto a cómo creen ellos que ocurre la salida y puesta de la Luna y su movimiento diario (consigna a). Posteriormente se contrastan estas predicciones con lo que ocurre en el cielo, lo cual se simula mediante el programa Stellarium (consignas b, c y d). Finalmente, los alumnos completan la conclusión respecto a que el movimiento diario de la Luna en el cielo es igual al movimiento diario del Sol dado que ese desplazamiento es parte del giro de toda la esfera celeste.

**Movimiento diario de la Luna en el cielo**

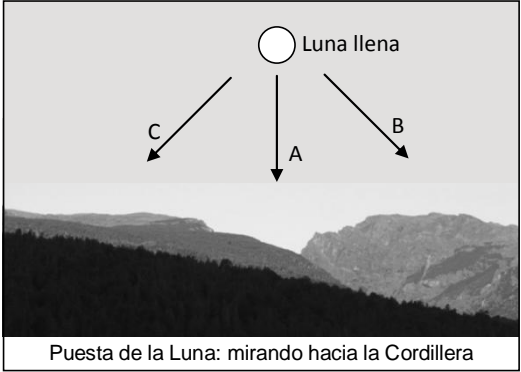
**Cambios en la posición de la Luna durante la misma noche: fecha de la próxima Luna llena a las 20 hs y día siguiente a las 8 hs.**

a) Mirando las imágenes de aquí abajo, me parece que la Luna asciende como **A - B - C**. Y me parece que la Luna desciende como **A - B - C**.

b) Mirando el programa Stellarium, marcar cuál es la opción que se observa en el cielo:



Salida de la Luna: mirando hacia el Cerro Piltriquitrón



Puesta de la Luna: mirando hacia la Cordillera

c) Vean si ocurre lo mismo otro día. ¿Sale y se pone de la misma forma? **SI / NO**.

d) En la mitad de su recorrido diario, la Luna está justo hacia el **SUR / NORTE**.

**Conclusión:** durante el mismo día, la Luna se mueve en el cielo desde algún lugar del ..... a algún lugar del ..... y en la mitad de su recorrido se ubica hacia el ..... O sea, ¡hace lo mismo que el ..... !

Antes de comenzar a resolver las consignas, el docente explica a los alumnos que en esta actividad sólo se buscará observar el desplazamiento diario de la Luna, sin importar cuál es la fase en la que se encuentra, tema que será desarrollado en la siguiente clase.

A diferencia de lo sucedido anteriormente, es esperable que a esta altura de la secuencia didáctica algunos alumnos relacionen el movimiento diario de la Luna con lo que ya han visto respecto a cómo se desplaza diariamente el Sol. En consecuencia, se espera que en la consigna a) una proporción importante de alumnos elija la opción C, que fue el modo en que observaron que se desplaza el Sol cuando sale y se pone.

Posteriormente, para verificar la validez de las predicciones realizadas por los alumnos, se proyectará el programa Stellarium en el frente del aula y se lo colocará en la fecha correspondiente a la próxima Luna llena a las 20 hs aproximadamente. Luego se posicionará el programa mirando hacia el horizonte oriental para poder observar cómo la Luna cambia su posición en el cielo de una hora a la otra. Después se avanzará el horario hasta las 7 hs del día siguiente para poder observar cómo ocurre la puesta de la Luna llena por el horizonte occidental y se indicará en la figura cuál es el recorrido observado (A, B o C).

A continuación, se avanzará la fecha unos 5 días con el fin de verificar que la Luna se desplaza del mismo modo sin importar la fase en que se encuentre, desde el horizonte oriental al occidental, y que en la mitad de su recorrido la Luna se ubica justo hacia el norte. Por lo tanto, será sencillo que los alumnos completen la frase final de la actividad, en la que deben concluir que el movimiento diario de la Luna es análogo al del Sol.

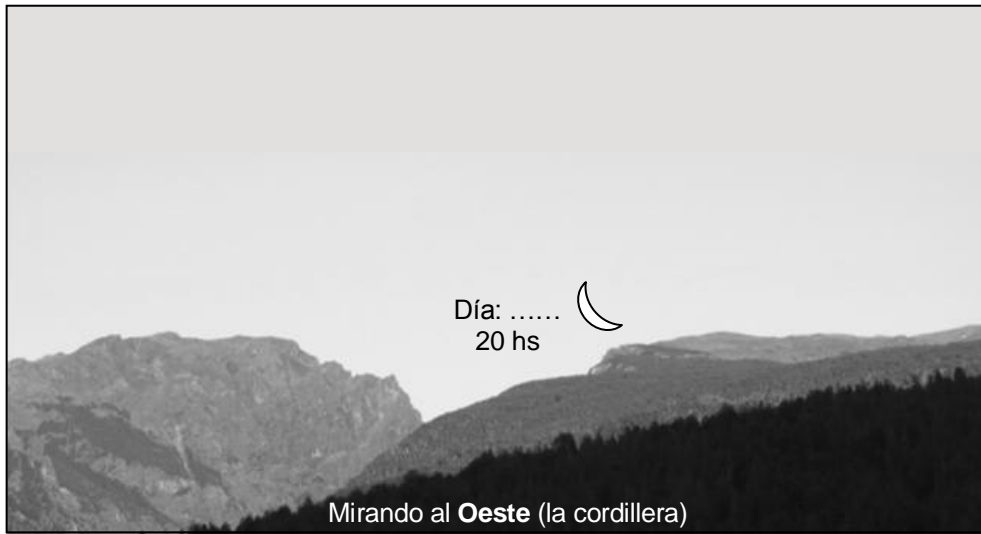
#### **6.5.8. Situación 8: "Simulando el movimiento propio de la Luna mediante Stellarium"**

Una vez estudiado el movimiento diario de la Luna, el cual no guarda relación con el fenómeno de las fases lunares, el docente procede a plantear la siguiente situación, en la cual se pretende observar cómo se desplaza la Luna en el cielo cuando se compara su posición varios días seguidos a la misma hora. Para ello, a cada estudiante se le reparte una hoja con la actividad a realizar, la cual consiste en dibujar cómo cambia la posición y la forma de la Luna cuando se la observa a la misma hora durante varios días seguidos. Dadas las dificultades meteorológicas para poder realizar observaciones directas con los alumnos, se decidió nuevamente utilizar el programa Stellarium, comenzando en la fecha correspondiente a la Luna creciente, dos o tres días después de la Luna nueva, y adelantando luego la fecha día a día. Con el fin de conocer las ideas de los estudiantes, antes de realizar el cambio de fecha se les solicitará que predigan cómo y dónde será observada la Luna al día siguiente. De este modo se espera que los alumnos comiencen a realizar predicciones propias respecto a cómo se desplazan los astros en el cielo, lo que permitirá incentivar en ellos la construcción de modelos descriptivos y explicativos acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos.

Una vez finalizada la consigna 1, que muestra el cambio de posición de la Luna cuando ésta es observada en el horario cercano a la puesta del Sol, los estudiantes deben completar una frase a modo de conclusión. A continuación se utiliza el programa Stellarium para registrar cómo cambia la posición y la forma de la Luna si se la observa varios días seguidos a la misma hora cuando ésta puede ser vista por la mañana, en los días siguientes a la Luna llena.

## Movimiento propio de la Luna en el cielo. Las fases lunares

### 1. Cambios en la posición de la Luna de una noche a otra a la misma hora (20 hs).



**Conclusión:** de una noche a la otra a la misma hora, la Luna se mueve hacia **ARRIBA / ABAJO** (se va corriendo hacia el **OESTE / ESTE**). Eso hace que se vea cada día más **CHICA / GRANDE** con su lado **DERECHO / IZQUIERDO** iluminado. Unos días después, la Luna se movió tanto que se ve así: ..... (cuarto creciente). Y una semana después del cuarto creciente, la Luna se ve así: ..... (Luna llena). Este movimiento propio de oeste a este hace que la Luna salga cada día más **TEMPRANO / TARDE**.

### 2. Cambios en la posición de la Luna de una mañana a otra a la misma hora (9 hs).



**Conclusión:** de una mañana a la otra a la misma hora, la Luna se mueve hacia **ARRIBA / ABAJO** (se va corriendo hacia el **OESTE / ESTE**). Eso hace que se vea cada día más **CHICA / GRANDE** con su lado **DERECHO / IZQUIERDO** iluminado. Unos días después, la Luna se movió tanto que se ve así: ..... (cuarto menguante). Y una semana después del cuarto menguante, la Luna está en Luna ..... (no se ve). Este movimiento propio de oeste a este hace que la Luna salga cada día más **TEMPRANO / TARDE**.

De este modo será posible que los alumnos concluyan que la Luna se va desplazando hacia el este, y que dicho desplazamiento provoca el cambio de fase, viéndose cada día más grande cuando se la observa en horario nocturno temprano y más pequeña cuando se encuentra visible por la mañana. Por lo tanto, se espera lograr que los estudiantes logren asociar el fenómeno de las fases lunares con el movimiento propio de este astro hacia el este.

En la **Sección 10.9.** se presentan registros de observaciones del cielo realizadas por alumnos de instituciones educativas de la zona en el marco de este trabajo de investigación. Los mismos permiten visualizar el modo en que pueden registrarse los cambios anuales en la posición de salida o puesta del Sol y el desplazamiento propio de la Luna de un día al otro. Como ya se ha dicho, estos movimientos permiten explicar las estaciones del año y las fases lunares utilizando el sistema de referencia topocéntrico.

### **6.5.9. Situación 9: "Representación del movimiento propio de la Luna y explicación de las fases lunares"**

A partir del desarrollo de la situación anterior, en la cual quedó asociado el movimiento propio de la Luna con la observación de sus fases, resta que los estudiantes puedan construir una explicación de por qué la Luna se ve distinta cada día. Para ello se plantea la siguiente situación, en la que la Luna quedará simbolizada por una esfera de telgopor mitad blanca y mitad pintada de negro, lo que representará su parte iluminada por el Sol y su parte no iluminada, respectivamente. El planteo de la situación apunta a la comprensión de que las fases guardan relación con el cómo se ve desde distintos ángulos un objeto iluminado por la mitad, en contraposición a la concepción alternativa más común, que apunta a pensar las fases como un fenómeno de sombras.

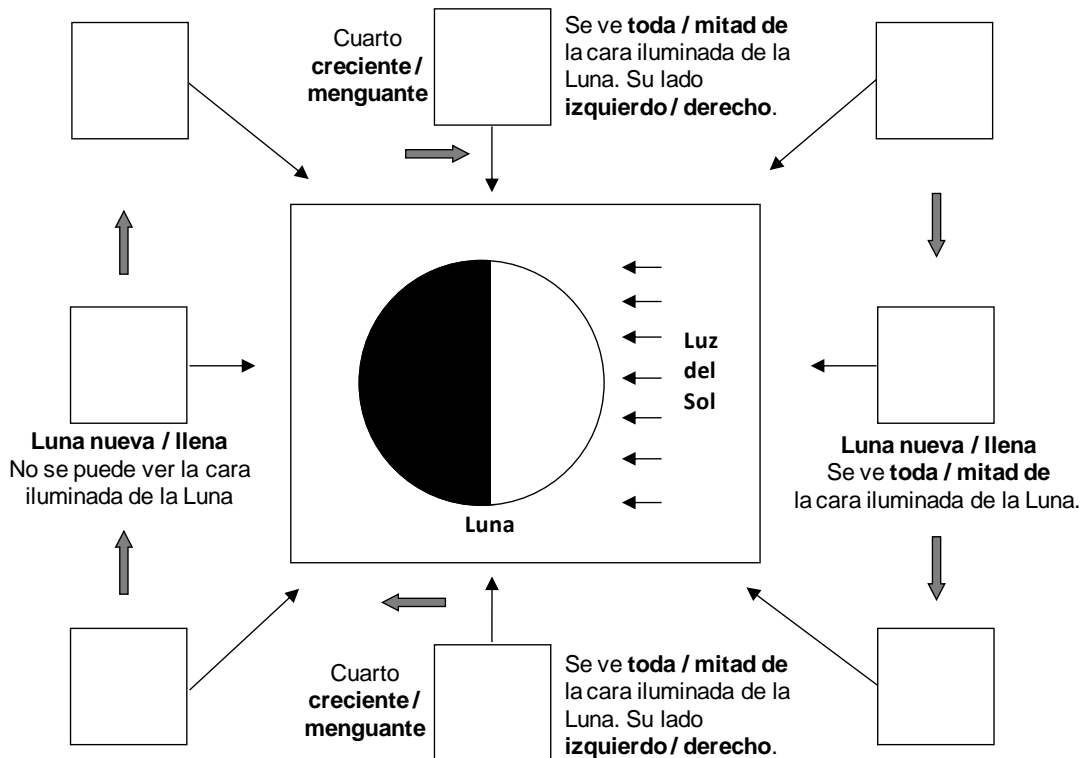
En la consigna 1 se propone que los estudiantes vayan girando alrededor de la esfera, fija en una determinada posición, y que dibujen cómo la observan a medida que cambian su ángulo respecto a la parte "iluminada". De este modo, cuando se encuentran de frente a la superficie blanca, los alumnos observan un círculo blanco (posición de Luna llena), cuando se ubican "de costado" observan media esfera blanca y media negra (posición de cuarto creciente o menguante), cuando miran en diagonal ven sólo una parte de la mitad blanca de la esfera, etc. De este modo es posible explicar en forma sencilla a qué se deben las distintas fases: a la posición desde la que se está observando un cuerpo como la Luna, que se encuentra siempre iluminado por la mitad. La consigna incluye algunas frases para elegir entre las opciones allí presentes con el fin de identificar los nombres de las distintas fases y el lado que se observa iluminado en cada una de ellas (lado izquierdo en creciente y lado derecho en menguante).

Posteriormente, la consigna 2 consiste en una actividad "de completamiento" para que los estudiantes puedan construir conceptualmente la explicación de las fases, la cual guarda absoluta relación con el esquema presente en la consigna anterior. En esta explicación se hace referencia a la relación entre las fases y la posición relativa de la Luna respecto al Sol, incluyendo el lado que se ve iluminado en creciente o menguante.

Por último, la consigna 3 propone representar en la maqueta la posición correspondiente a la Luna en algunas de sus fases (nueva, creciente y llena). Para llevarla a cabo, el docente irá recorriendo los grupos, de modo tal de ayudarlos a pensar las posiciones de la Luna en función de lo respondido en la consigna anterior.

## Movimiento propio de la Luna en el cielo. Las fases lunares

- Utilizando una esfera pintada mitad de negro y mitad de blanco (que representa a la Luna iluminada por el Sol), dibujar en los recuadros cómo se ve la esfera cuando se la mira desde distintas direcciones. Para ello, adhieran esta hoja de consignas a la mesa, peguen la esfera sobre la hoja (justo arriba de la que está dibujada) y giren alrededor de la mesa para ver cómo se ve la esfera desde los distintos puntos de vista indicados con flecha en la hoja. A medida que van girando, dibujar en la hoja propia cómo ven la Luna desde cada posición. Completen las frases sobre cómo se llama cada Luna y sus características.



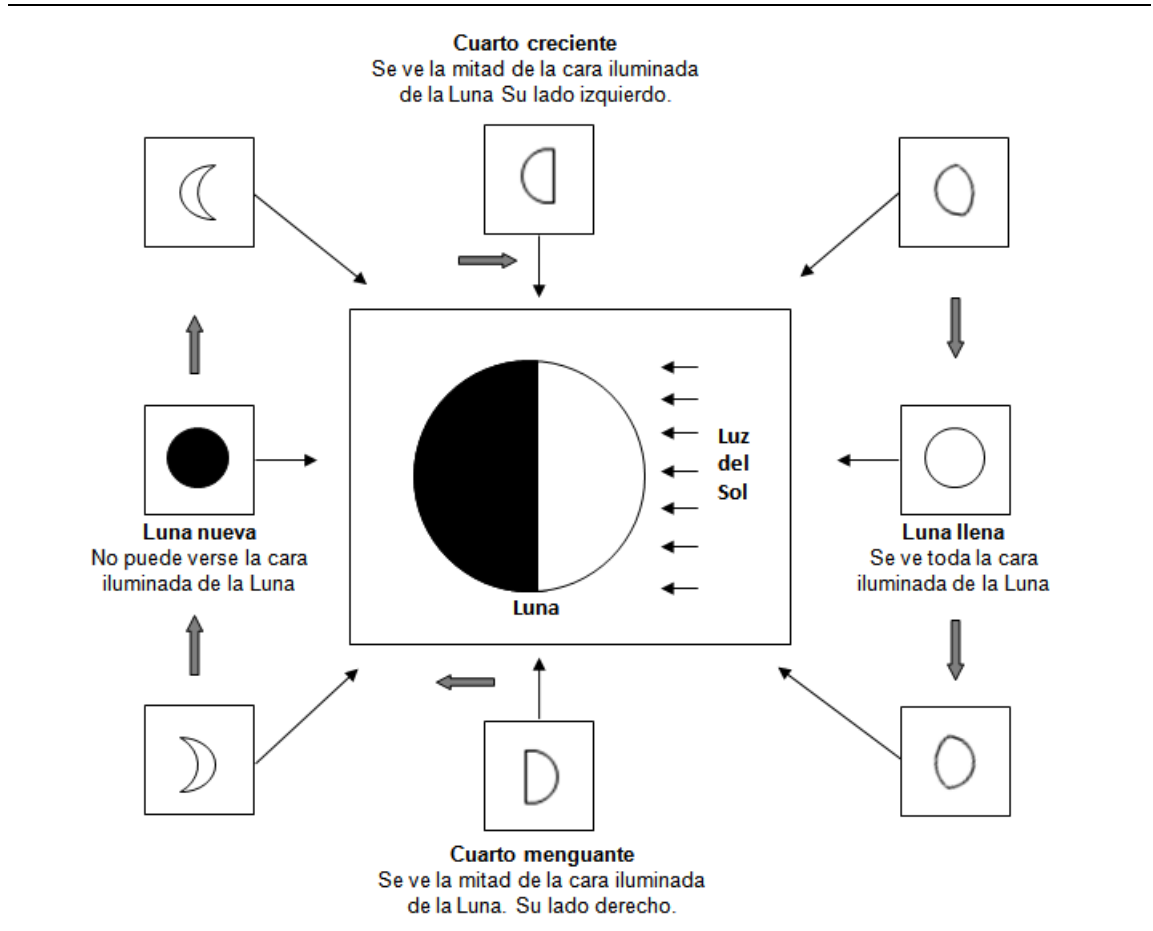
- Completar la siguiente frase:

A medida que pasan los días, la Luna **CAMBIA / NO CAMBIA** su posición en el cielo. A la misma hora, cada día que pasa la vemos más corrida hacia el **ESTE / OESTE**. Pese a que el Sol siempre ilumina **TODA / UNA MITAD DE** la Luna, **SIEMPRE / CASI SIEMPRE / CASI NUNCA** podemos ver toda la mitad iluminada por el Sol. Si la Luna se ubica en dirección hacia el Sol, **PODEMOS / NO PODEMOS** ver la cara iluminada por el Sol y, en consecuencia, estamos en Luna **NUEVA / LLENA**. En cambio, si la Luna se ubica en la dirección opuesta al Sol, **PODEMOS / NO PODEMOS** ver toda la cara iluminada por el Sol y, en consecuencia, estamos en Luna **NUEVA / LLENA**. Si la Luna se encuentra hacia el norte justo cuando el Sol se está poniendo, vemos iluminado su lado **DERECHO / IZQUIERDO** y, por lo tanto, la Luna está en cuarto **CRECIENTE / MENGUANTE**. Cuando la Luna crece, siempre tiene iluminado su lado **DERECHO / IZQUIERDO**. En cambio, cuando está menguando se ve iluminado su lado **DERECHO / IZQUIERDO**.

- Colocar en la maqueta 3 esferas pintadas por la mitad que representen la posición de la Luna durante el horario de puesta del Sol en: a) Luna nueva, b) Cuarto creciente y c) Luna llena. Suponer el Sol poniéndose el día 21 de diciembre y ubicar la Luna nueva en esa misma trayectoria, la Luna en cuarto en la de equinoccio y la Luna llena en la de solsticio de invierno.

Con la revisión y sistematización posterior de las consignas correspondientes a la **Situación 9** por parte del docente se buscará la construcción de una explicación topocéntrica adecuada desde el punto de vista científico y didáctico de las fases lunares. Como parte de la misma se mencionará la frase "La Luna no miente", utilizada en el hemisferio sur para recordar que la Luna con forma de letra C, con su lado izquierdo iluminado, corresponde a la fase creciente. A su vez, se reflexionará acerca de la existencia de la misma fase lunar en todo el mundo, aunque con la correspondiente inversión de los lados iluminados de la Luna cuando se la observa desde el hemisferio norte. El modo de resolución de la consigna 1 por parte de los alumnos se muestra en la **Figura 6-6**.

**Figura 6-6:** Resolución de la consigna 1 de la **Situación 9**: cómo se ve la "Luna" a medida que un observador cambia de posición en torno a ella. Este cambio de posición es consecuencia del movimiento propio de la Luna en el cielo.



Para finalizar con el desarrollo de la secuencia de actividades en relación a las fases lunares, el docente discute la explicación topocéntrica del fenómeno, la cual relaciona el cambio de posición de la Luna en el cielo con la forma en que la ve un observador ubicado en la superficie terrestre. Para ello, a cada alumno se le brinda una hoja conteniendo los esquemas explicativos de las fases creciente y menguante (ver **Figura 6-7**), los cuales serán proyectados en el frente y utilizados por el docente durante la explicación. Al mismo tiempo, el docente irá mostrando la coherencia entre los esquemas explicativos y lo representado por los alumnos en sus maquetas.





Los esquemas explicativos presentes en la **Figura 6-7** superponen dos puntos de vista distintos del fenómeno, los cuales no suelen estar indicados en la mayoría de las representaciones visuales presentes en los libros escolares o en los materiales audiovisuales sobre el tema. Por un lado, las "Lunas" superiores, que se encuentran numeradas, muestran el desplazamiento de nuestro satélite en el cielo, con una mitad siempre iluminada (la parte blanca), la cual apunta en dirección al Sol. Al mismo tiempo, las "Lunas" inferiores, indicadas con letras, muestran cómo ve la Luna un observador terrestre situado en una latitud media del hemisferio sur. Esta persona, que observa hacia el norte varios días seguidos a la misma hora, ve cómo la Luna se va desplazando hacia su derecha cada día que pasa, y al mismo tiempo va cambiando su forma.

El esquema correspondiente a la fase creciente se desarrolla durante unas dos semanas en el horario de puesta del Sol, con los rayos de luz solar provenientes del oeste, comenzando el día de Luna nueva con nuestro satélite ubicado en la misma dirección que el Sol (Luna 1). Por ese motivo, la persona no puede ver la parte iluminada de la Luna, que apunta hacia el Sol, mientras que su parte no iluminada apunta hacia la persona (Luna A). Sin embargo, a medida que pasan los días, la Luna se observa cada día más alta, más separada angularmente de la dirección hacia el Sol, lo que permite que la persona pueda ver una porción cada vez mayor de su parte iluminada. Unos 7 días después a la misma hora, la Luna se ubica hacia el norte (Luna 5), a  $90^\circ$  respecto al Sol, por lo cual la persona ve iluminada la parte izquierda de la Luna, ya que de esa dirección provienen los rayos de Sol, mientras que la parte derecha no (Luna C). Esta es la posición correspondiente al cuarto creciente. Luego de transcurridos otros 7 días aproximadamente, la Luna queda ubicada en posición opuesta al Sol (Luna 9), lo que hace que el observador logre ver toda la mitad de la Luna iluminada por el Sol (Luna E). Esta posición es la correspondiente a la Luna llena. Como puede notarse, durante las dos semanas ya descritas, la Luna se fue alejando angularmente del Sol, lo que hizo que se vea con su lado izquierdo iluminado y cada día más grande (fase creciente).

Dado que el desplazamiento de la Luna hacia el este provoca que ésta salga cada día más tarde, nuestro satélite ya no será visible los días siguientes en el horario de puesta del Sol. En consecuencia, para explicar la fase menguante será conveniente cambiar radicalmente la hora de observación, pasando a observar la Luna en el horario de salida del Sol, con sus rayos provenientes del este (ver esquema de abajo de la **Figura 6-7**). Para ello será conveniente comenzar el día de Luna llena, con el Sol saliendo por el horizonte oriental (la derecha del esquema), y la Luna ubicada en posición opuesta, hacia el oeste (Luna 9). Como ya se ha visto, en esa posición se puede ver toda la parte de la Luna iluminada por el Sol (Luna E). A medida que transcurren los días, la Luna se desplaza hacia el este hasta llegar a ubicarse hacia el norte, unos 7 días después, a  $90^\circ$  respecto al Sol (Luna 13). En esa posición, la persona ve iluminada la parte derecha de la Luna, de donde provienen los rayos del Sol, mientras que la izquierda no (Luna G). Esa posición corresponde al cuarto menguante. Luego de aproximadamente otros 7 días, la Luna vuelve a ubicarse en dirección al Sol (Luna 17), por lo que la persona no puede ver su parte iluminada ya que el sector no iluminado es el que apunta hacia ella (Luna A). Por lo tanto, en estas últimas dos semanas, la Luna se fue acercando angularmente hacia el Sol, lo que hizo que se vea con su lado derecho iluminado y cada día más pequeña (fase menguante).

En la **Sección 10.10** del **Anexo** se encuentra el material con los esquemas y textos explicativos sobre las fases lunares para entregar a los alumnos.

El análisis didáctico de las **Situaciones 7, 8 y 9** planteadas en relación a los movimientos de la Luna y a las fases lunares se encuentra sintetizado en la **Tabla 6-4**.

**Tabla 6-4:** Análisis didáctico de las **Situaciones 7, 8 y 9**.

<p><b>Preguntas clave</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Cómo cambia la posición de la Luna de una hora a otra?</li> <li>- ¿Cómo cambia la posición de la Luna en el cielo de un día al otro a la misma hora?</li> <li>- ¿Qué relación existe entre la posición angular de la Luna respecto al Sol y la forma en que se la ve?</li> <li>- ¿Cómo se pueden explicar las fases de la Luna a partir del movimiento propio de la Luna en el cielo?</li> </ul>
<p><b>Acciones</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Imaginar el desplazamiento de la Luna en la salida y la puesta.</li> <li>- Visualizar y registrar el movimiento diario de la Luna utilizando un simulador o a partir de observaciones a simple vista.</li> <li>- Imaginar cómo cambia la posición de la Luna en el cielo si se la observa dos noches (y dos mañanas) seguidas a la misma hora.</li> <li>- Visualizar y registrar el movimiento propio de la Luna utilizando un simulador o a partir de observaciones a simple vista.</li> <li>- Contrastar las anticipaciones con lo observado.</li> <li>- Relacionar los cambios en la apariencia de la Luna con la observación de una esfera iluminada por la mitad desde distintos ángulos.</li> <li>- Representar en una maqueta la posición de la Luna respecto al Sol en algunas de las fases.</li> <li>- Explicar las fases lunares a partir del movimiento propio de la Luna.</li> </ul>
<p><b>Conceptos clave</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimiento diario de la Luna.</li> <li>- Movimiento propio de la Luna.</li> <li>- Fases de la Luna.</li> <li>- Fase creciente.</li> <li>- Fase menguante.</li> <li>- Luna nueva, llena, cuarto creciente y cuarto menguante.</li> </ul>
<p><b>Explicaciones</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El movimiento diario de la Luna es igual al del Sol: sale por algún lugar del horizonte oriental y se pone por algún lugar del horizonte occidental, ubicándose hacia el norte en la mitad de su recorrido.</li> <li>- El movimiento propio de la Luna ocurre de oeste a este, haciendo que ésta salga más tarde cada día.</li> <li>- Las fases de la Luna se deben a la distancia angular entre la Luna y el Sol. Si se encuentran en la misma dirección es Luna nueva, mientras si se ubican en posiciones opuestas es Luna llena. Los cuartos se observan cuando la Luna se ubica a 90° respecto al Sol.</li> <li>- En la fase creciente, la Luna se aleja angularmente del Sol a medida que pasan los días, observándose de tarde o noche, con su lado izquierdo iluminado y cada vez más grande. Dura unos 15 días.</li> <li>- En la fase menguante, la Luna se acerca angularmente al Sol a medida que pasan los días, observándose de mañana o de madrugada, con su lado derecho iluminado y cada vez más chica. Dura unos 15 días.</li> </ul>

<b>Observaciones y registros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Registro del movimiento diario de la Luna hacia el oeste mediante observaciones directas o con Stellarium.</li> <li>– Registro del movimiento propio de la Luna hacia el este mediante observaciones directas o con Stellarium.</li> <li>– Registro de cómo se ve desde distintos ángulos una esfera pintada (o iluminada) por la mitad.</li> </ul>
<b>Principios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– El sistema de referencia topocéntrico es adecuado para describir el movimiento de la Luna tal como se la observa en el cielo y, en consecuencia, para explicar las fases de la Luna.</li> <li>– La utilización de un sistema de referencia local permite construir explicaciones adecuadas a cada nivel de escolaridad y colocar a los estudiantes como centro de su propio proceso de aprendizaje.</li> </ul>

#### **6.5.10. Situación 10: "Poniendo en acción los conocimientos adquiridos sobre el día y la noche, las estaciones y las fases lunares"**

Como forma de evaluar el nivel de comprensión conceptual de los estudiantes a partir de una actividad abierta, y reflexionar junto con el docente sobre la coherencia entre sus concepciones actuales y lo desarrollado en las clases, se solicita que, en forma grupal, los alumnos elaboren una explicación del día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares. Para ello se les pedirá que realicen un dibujo para cada uno de estos fenómenos y que lo acompañen de una frase explicativa.

En la clase siguiente, el docente proyectará las distintas representaciones en el frente y discutirá con todos los alumnos la pertinencia y coherencia entre cada dibujo y lo enseñado en las clases. Esto permitirá identificar ideas alternativas persistentes y la posible necesidad de modificaciones en varias de las explicaciones.

A continuación, como forma de evaluar individualmente los conocimientos adquiridos a lo largo de la secuencia, cada estudiante resolverá dos actividades finales. La primera de ellas propone realizar nuevamente la primera propuesta individual de indagación con el fin de que la respondan en función de los conocimientos adquiridos a lo largo de la secuencia. En esta instancia, también se les solicitará que revisen sus propias respuestas dadas en la primera clase y que identifiquen algunas cuestiones que ahora, a la luz de sus nuevos conocimientos, pueden afirmar que no estaban bien.

Por último, se tomará un trabajo escrito individual en el que los estudiantes deberán completar frases a partir de agregar palabras o de elegir entre opciones y, a su vez, responder a determinadas consignas mediante la realización de dibujos. Estas consignas a resolver serán similares a las que fueron llevadas a cabo al finalizar el desarrollo de las clases dedicadas a cada fenómeno astronómico. Este trabajo final permitirá que el docente posteriormente realice una devolución individual a cada estudiante en relación a los aprendizajes adquiridos y a la posible necesidad de continuar reflexionando y aprendiendo acerca de estos fenómenos.

Las consignas de estas actividades finales se presentan a continuación.

### Actividad final individual 1

#### **Poniendo en juego TUS CONOCIMIENTOS sobre los fenómenos astronómicos**

Al inicio de esta secuencia de actividades, utilizaste tus ideas y conocimientos anteriores para responder a qué se deben el día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares. La idea ahora es poner en juego lo que aprendiste en estas clases. Para ello, volvé a explicar cada fenómeno utilizando lo aprendido. A la vez, mirando lo que respondiste anteriormente, indicá si hay cosas que habías puesto al comienzo que ahora sabés que no estaban bien.

- Día y noche.** a) ¿Cómo explicarías el fenómeno del día y la noche a través de un dibujo? Agregá un texto que explique lo que has querido expresar en el dibujo:  
b) Ahora sé que estas cosas de mi explicación inicial no estaban bien:
- Estaciones del año.** a) ¿Cómo podrías explicar las estaciones del año a través de un dibujo? Agregá un texto que explique lo que has querido expresar en el dibujo:  
b) Ahora sé que estas cosas de mi explicación inicial no estaban bien:
- Fases de la Luna.** a) Es sabido que la Luna no se ve de la misma forma todos los días. ¿Cómo podrías explicar esto a través de un dibujo? Agregá un texto que explique lo que has querido expresar en el dibujo:  
b) Ahora sé que estas cosas de mi explicación inicial no estaban bien:

### Actividad final individual 2

#### **Los fenómenos astronómicos cotidianos**

##### **1. Día y noche. Completar las frases:**

El Sol sale por algún lugar mirando hacia el ..... y, luego de varias horas, se esconde por algún lugar mirando hacia el ..... . Ese recorrido, el Sol lo realiza en forma inclinada, lo que provoca que ascienda así (dibujar flecha) ..... y descienda así (dibujar flecha) ..... . Al instante en que el Sol llega a su posición más alta se lo conoce como ..... y, en ese momento, el Sol se observa justo hacia el ..... . En ese instante, una estaca vertical posee la sombra más ..... de todo el día, la cual apunta hacia el ..... . En El Bolsón, esto ocurre cerca de las ..... hs. En nuestra zona, el Sol ..... se ubica justo arriba de nuestras cabezas.

El **día y la noche** se deben al movimiento del ..... en el cielo, desde algún lugar del ..... a algún lugar del ....., provocando que de día el Sol se encuentre ..... de nuestro horizonte y que por la noche se encuentre ..... del horizonte. Así, es de día cuando el Sol ..... y de noche cuando .....

**2. Estaciones del año. Señalar con un círculo la opción correcta:**

El Sol **SÍ / NO** sale todos los días por el mismo lugar y **TAMBIÉN / TAMPOCO** a la misma hora. Como nosotros vivimos al sur de la Tierra, es invierno cuando el Sol sale al **SUR / NORTE** del este y se pone al **SUR / NORTE** del oeste y es verano cuando el Sol sale al **SUR / NORTE** del este y se pone al **SUR / NORTE** del oeste. Por ese motivo, en invierno el Sol hace un recorrido más **BAJO / ALTO** en el cielo, los días son más **CORTOS / LARGOS** y sus rayos nos llegan **POCO / MUY** inclinados. En cambio, el recorrido del Sol en verano es más **BAJO / ALTO**, los días son más **CORTOS / LARGOS** y sus rayos nos llegan **POCO / MUY INCLINADOS**. Por lo tanto, el movimiento del Sol en el cielo de norte a sur y de sur a norte provoca el siguiente fenómeno: **DÍA Y NOCHE / ESTACIONES DEL AÑO / FASES DE LA LUNA**.

**3. Estaciones del año. Completar el dibujo de la salida del Sol para los días de comienzo del invierno y del verano:**



El invierno comienza el 21 de:

La primavera comienza el 21 de:

El verano comienza el 21 de:

El otoño comienza el 21 de:

**4. Fases de la Luna. Completar la frase:**

La Luna es alumbrada por el Sol y por eso **NUNCA / SIEMPRE / A VECES** está iluminada por la mitad. Nosotros la vemos distinta cada día porque la Luna se mueve hacia el **NORTE / ESTE / OESTE** cada día que pasa. En la fase creciente, la Luna se observa de **MAÑANA / NOCHE** con su lado **DERECHO / IZQUIERDO** iluminado, mientras que en la fase menguante se la observa de **MAÑANA / NOCHE** con su lado **DERECHO / IZQUIERDO** iluminado.

**Dibujar las posiciones de la Luna si esta persona está viendo: a) Luna llena o b) Luna en cuarto creciente.**



El análisis didáctico de la **Situación 10** se encuentra sintetizado en la **Tabla 6-5**.

**Tabla 6-5:** Análisis didáctico de la **Situación 10**.

<p><b>Preguntas clave</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Cómo es el recorrido que realiza diariamente el Sol en el cielo? ¿Qué relación tiene con el fenómeno del día y la noche?</li> <li>- ¿Cómo es el recorrido anual del Sol en el cielo? ¿Qué relación tiene con el fenómeno de las estaciones del año?</li> <li>- ¿Cómo es el movimiento diario de la Luna en el cielo? ¿Es similar al que realiza el Sol?</li> <li>- ¿Cómo es el movimiento propio de la Luna en el cielo? ¿Qué relación tiene con el fenómeno de las fases lunares?</li> </ul>
<p><b>Acciones</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizar los conocimientos adquiridos para explicar el día y la noche, las estaciones y las fases mediante un dibujo y una frase.</li> <li>- Revisar y corregir las respuestas dadas inicialmente a la luz de los nuevos conocimientos.</li> <li>- Expresar los conocimientos adquiridos en relación al ciclo día/noche, las estaciones y las fases.</li> <li>- Resolver actividades "de completamiento" en relación a dichos fenómenos y a su relación con los movimientos que realizan el Sol y la Luna en el cielo.</li> </ul>
<p><b>Conceptos clave</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimiento diario del Sol. El día y la noche.</li> <li>- Movimiento anual del Sol. Las estaciones del año.</li> <li>- Movimiento propio de la Luna. Fases lunares.</li> </ul>
<p><b>Explicaciones</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El movimiento diario del Sol, desde el horizonte oriental al occidental, provoca el fenómeno del día y la noche. Cuando el Sol está arriba del horizonte es de día, cuando está debajo es de noche.</li> <li>- El movimiento anual del Sol, de norte a sur, provoca el fenómeno de las estaciones del año. Cuando el Sol se ubica al norte del cielo, los habitantes del hemisferio sur lo ven más bajo y, por lo tanto, se lo observa menos horas arriba del horizonte y sus rayos llegan más inclinados, provocando las estaciones más frías del año. En cambio, cuando se ubica al sur del cielo, el Sol sigue trayectorias más altas, estando más horas arriba del horizonte y haciendo que sus rayos lleguen menos inclinados. En El Bolsón, y en casi toda la Argentina, el Sol nunca se posiciona justo arriba de nuestras cabezas.</li> <li>- El movimiento propio de la Luna de oeste a este provoca las fases lunares. Como la Luna cambia de posición respecto al Sol cada día que pasa, no siempre es visible toda la mitad de la Luna iluminada por el Sol. Si el Sol y la Luna se encuentran en la misma dirección es Luna nueva, mientras que si se encuentran opuestos es Luna llena. Los cuartos se observan cuando la Luna y el Sol están a 90°.</li> </ul>
<p><b>Principios</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El sistema de referencia topocéntrico permite describir el movimiento del Sol y la Luna en el cielo y, a partir de ellos, explicar los fenómenos astronómicos cotidianos. Esto hace posible diseñar explicaciones y actividades adecuadas que coloquen a los estudiantes como centro de su propio proceso de aprendizaje.</li> </ul>

## 6.6. Reflexiones finales acerca de la ECPE

El diseño de las situaciones detalladas en este capítulo ha sido un proceso complejo en el que se tomaron gran cantidad de decisiones relativas a los conceptos a desarrollar, las preguntas y problemas a plantear, las acciones a realizar, los mecanismos explicativos a utilizar y los principios fundamentales a tener en cuenta para propiciar el proceso de conceptualización en relación a los fenómenos astronómicos cotidianos. Para ello, se buscó anticipar el desempeño de los estudiantes ante cada actividad planteada, las posibles respuestas que sería esperable obtener y las distintas intervenciones del docente a lo largo de las clases.

Un obstáculo importante del diseño de la secuencia fue anticipar lo que podría suceder durante el proceso de implementación en caso de tener muchos días nublados que imposibiliten la realización de observaciones a simple vista del cielo, algo fundamental dentro de una propuesta topocéntrica. En función de esto, y de que el docente-investigador tendría un tiempo limitado de clases para llevar a cabo las distintas actividades, se resolvió reemplazar las observaciones directas del cielo por simulaciones realizadas mediante el programa Stellarium. De este modo, la utilización de este programa informático hizo posible que las observaciones dejaran de ser indispensables dentro de la secuencia, para pasar a ocupar un lugar relevante, pero complementario. Esta modificación hace posible que la ECPE diseñada pueda ser implementada incluso en lugares en los que la observación del cielo se torna compleja, como sucede en las grandes ciudades.

Finalmente, la secuencia de situaciones propuesta no constituye en modo alguno un producto acabado y cerrado a utilizar sin ningún tipo de modificación. Por el contrario, la secuencia se constituye como un punto de partida a partir del cual los docentes e investigadores en enseñanza de la astronomía puedan discutir, proponer modificaciones, realizar sugerencias y, sobre todo, poner de algún modo en práctica. En este sentido, en el capítulo siguiente se detalla el proceso de implementación llevado a cabo con un grupo de alumnos de los últimos años de la escuela primaria. Se espera, entonces, que esto pueda ser reiterado y evaluado con otros grupos de alumnos.





# **CAPÍTULO 7: LA ESTRUCTURA CONCEPTUAL EFECTIVAMENTE RECONSTRUIDA**

---

## **7.1. Introducción**

Esta etapa de la investigación corresponde al análisis de la implementación de la Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos en un curso de los últimos años de la escuela primaria. Para ello, el investigador actuó como docente del curso en las horas de desarrollo de la propuesta en el aula, concurriendo dos veces por semana durante un período de dos meses de clases. Durante la implementación, el docente/investigador y el grupo de clase reconstruyeron una nueva estructura, la Estructura Conceptual Efectivamente Reconstruida (ECER), que guarda relación con las ECR y ECPE anteriores, pero que posee características propias que dependen fundamentalmente del grupo de clase (docente y estudiantes) y del entorno escolar (Fanaro, 2009). En este capítulo se aborda el análisis de la ECER a partir de identificar el grado y tipo de conceptualización lograda en los estudiantes durante el proceso de enseñanza.

## **7.2. El ámbito de implementación de la propuesta**

La secuencia de enseñanza fue desarrollada en un curso de 6to. año de una escuela primaria de carácter público ubicada en un barrio cercano al centro de la localidad de El Bolsón, ciudad situada en la zona cordillerana del sur de la Argentina que posee un poco más de 25.000 habitantes (censo 2010). La escuela posee un edificio inaugurado hace pocos años y la mayoría de los estudiantes que allí concurren pueden caracterizarse como de clase media.

Durante la implementación, el curso contaba con 26 alumnos de entre 9 y 11 años (promedio 10,6 años), de los cuales 16 son varones (61,5%) y 10 son mujeres (38,5%). El curso no cuenta con alumnos que hayan repetido algún año de escolaridad y la mayoría de los padres de los estudiantes desarrollan trabajos no profesionales (47,8%), como ser empleados de comercio o constructores, o poseen un empleo público (39,1%), como ser docentes o policías.

## **7.3. Análisis de la propuesta y del proceso de conceptualización**

Con el fin de realizar el análisis del proceso de implementación de la propuesta diseñada, se registraron las clases en formato de audio y video. Debido a cuestiones técnicas o de organización, en algún caso puntual la clase fue registrada solamente en uno de los dos formatos. A su vez, se tomaron fotografías y se recogieron la totalidad de los trabajos escritos llevados a cabo por los estudiantes, tanto en forma individual como grupal, lo que permitió el análisis posterior del proceso de aprendizaje de cada alumno.

Para realizar el análisis de los datos se transcribieron textualmente las grabaciones de las conversaciones del aula y se las organizó por clase o encuentro, asignándole un número a cada una de las intervenciones o turno de habla. Esto permitió que el docente/investigador analice su desempeño y el de los estudiantes a partir de una nueva mirada distanciada de la labor en el salón de clases.

A su vez, cada encuentro fue subdividido en "episodios", cada uno de los cuales se caracteriza por una pregunta o tema que nuclea a la actividad que se desarrolla en el aula en ese momento. En la **Tabla 7-1** se ha estructurado la secuencia didáctica llevada a cabo presentando cada situación didáctica junto con el número de clase en que fue desarrollada, la fecha de la misma, el tipo de registro obtenido, los episodios en que se ha subdividido la clase, los turnos de habla de cada episodio y la pregunta, el tema y/o la actividad que caracteriza a cada uno de los episodios.

Posteriormente, se llevó a cabo un análisis del proceso de representación interna de los estudiantes y de su evolución a lo largo de las clases. Un primer nivel de análisis permitió identificar los modelos mentales (Johnson-Laird, 1983; Greca y Moreira, 2002) que utilizaron los estudiantes para explicar los fenómenos astronómicos cotidianos, hallando coincidencias con los detectados en investigaciones anteriores. Como ya se ha indicado, estos modelos se caracterizan por ser estructuras dinámicas y provisionales formadas en la memoria de trabajo, las cuales tienen como fin comprender, explicar o predecir una situación o proceso, de la cual el modelo actúa como análogo estructural.

El segundo nivel de análisis puso el centro en el proceso de conceptualización seguido por los alumnos durante la implementación de la secuencia. Para ello se utilizó la Teoría de los Campos Conceptuales (Vergnaud, 1990) con el fin de identificar los invariantes operatorios puestos en juego por los estudiantes para resolver las distintas situaciones planteadas a lo largo de las clases. Esto permitió analizar si ha habido cambios en los esquemas de pensamiento de los estudiantes en relación a este campo conceptual.

**Tabla 7-1:** Organización y registro de las distintas situaciones planteadas a lo largo de las clases.

Situación y clases	Fecha	Duración	Registro	Episodio	Turno habla	Pregunta/Tema/Actividad
<b>Situación 1</b> Clases 1 y 2 (C <sub>1,2</sub> )	1 y 3 de abril	100 minutos	Dibujos, textos y audios individuales.	C <sub>1,2</sub> E <sub>1</sub>	1 - 314	Explicación del día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares mediante un dibujo y un texto. Concepciones de los estudiantes.
<b>Situación 2</b> Clase 3 (C <sub>3</sub> )	8 de abril	60 minutos	Audio y video de clase. Textos y audios grupales.	C <sub>3</sub> E <sub>1</sub>	1 - 28	¿Qué se mueve y qué está quieto? Concepciones de los estudiantes.
				C <sub>3</sub> E <sub>2</sub>	29 - 75	¿Se mueve el auto o los postes de luz? Relatividad del movimiento. Sistemas de referencia.
				C <sub>3</sub> E <sub>3</sub>	76 - 107	¿Se mueve la Tierra o se mueve el Sol en el cielo? Sistema de referencia topocéntrico.

<b>Situación 3</b> Clase 4 (C <sub>4</sub> )	9 de abril	60 minutos	Audio y video	C <sub>4</sub> E <sub>1</sub>	1 - 93	¿Cómo se mueve el Sol en el cielo cuando sale y se pone? ¿Dónde se ubica al mediodía? Uso del programa Stellarium.
<b>Situación 4</b> Clases 5 y 6 (C <sub>5</sub> y C <sub>6</sub> )	14 y 16 de abril	100 minutos	Audio y video. Maquetas. Textos individuales y grupales.	C <sub>5</sub> E <sub>1</sub>	1 - 26	¿Cómo se puede explicar el día y la noche a partir del movimiento diario del Sol? Realización de maqueta.
				C <sub>5</sub> E <sub>2</sub>	27 - 73	Movimiento diario del Sol y explicación del día y la noche. Actividad escrita individual.
				C <sub>6</sub> E <sub>1</sub>	1 - 57 Clase agregada	Movimiento diario del Sol y explicación del ciclo día/noche. Nueva sistematización. Repetición de la actividad anterior en forma grupal.
<b>Situación 5</b> Clase 7 (C <sub>7</sub> )	22 de abril	45 minutos	Audio y video	C <sub>7</sub> E <sub>1</sub>	1 - 95	¿Cómo cambia el recorrido del Sol en el cielo a lo largo del año? Relación con estaciones. Uso del programa Stellarium.
<b>Situación 6</b> Clases 8 y 9 (C <sub>8</sub> y C <sub>9</sub> )	23 y 29 de abril	100 minutos	Audio y video. Maquetas. Textos individuales	C <sub>8</sub> E <sub>1</sub>	1 - 26	¿Cómo se pueden explicar las estaciones a partir del movimiento anual del Sol? Realización de maqueta.
				C <sub>9</sub>	Actividad individual. Sin audio.	Movimiento anual del Sol y explicación de las estaciones. Actividad escrita individual.
<b>Situación 7</b> Clase 10 (C <sub>10</sub> )	7 de mayo	30 minutos	Video	C <sub>10</sub> E <sub>1</sub>	1 - 78	¿Cómo se mueve la Luna en el cielo cuando sale y se pone? ¿Dónde se ubica al mediodía? Uso del programa Stellarium.
<b>Situación 8</b> Clases 10 a 12 (C <sub>10</sub> , C <sub>11</sub> y C <sub>12</sub> )	7 de mayo	30 minutos	Video	C <sub>10</sub> E <sub>2</sub>	79 - 147	¿Cómo cambia la posición de la Luna y su forma de una noche a otra a la misma hora? Uso del programa Stellarium.
	13 de mayo	60 minutos	Audio y video	C <sub>11</sub> E <sub>1</sub>	1 - 97	¿Cómo cambia la posición de la Luna y su forma de una mañana a otra a la misma hora? Uso del programa Stellarium.

	14 de mayo	30 minutos	Audio y video	C <sub>12</sub> E <sub>1</sub>	1 - 107	¿Cómo es el movimiento propio de la Luna? ¿Cómo reconocer si la Luna está creciendo o menguando? Ejercitación en el frente.
<b>Situación 9</b> Clases 12 a 14 (C <sub>12</sub> , C <sub>13</sub> y C <sub>14</sub> )	14, 20 y 21 de mayo	120 minutos	Audio y video. Maquetas. Textos individuales.	C <sub>12</sub> E <sub>2</sub>	108 - 141	¿Por qué la Luna cambia de forma? Actividad de cambio de punto de vista.
				C <sub>13</sub>	Explicación en frente. Sin audio.	¿Cómo explicar las fases de la Luna a partir de su movimiento propio?
				C <sub>14</sub> E <sub>1</sub>	1 - 56	Corrección de actividad. Análisis de la Luna visible en el cielo ese día.
<b>Situación 10</b> Clases 15 a 17 (C <sub>15</sub> , C <sub>16</sub> y C <sub>17</sub> )	27 de mayo	60 minutos	Audio y video. Trabajos grupales.	C <sub>15</sub> E <sub>1</sub>	1 - 49	Explicación grupal de día y noche. Revisión en el frente.
				C <sub>15</sub> E <sub>2</sub>	50 - 104	Explicación grupal de estaciones del año. Revisión en el frente.
				C <sub>15</sub> E <sub>3</sub>	105 - 178	Explicación grupal de fases lunares. Revisión en el frente.
	28 de mayo	60 minutos	Audio y video. Trabajos.	C <sub>16</sub> E <sub>1</sub>	1 - 8	Explicación de día y noche, estaciones y fases en forma individual
	3 de junio	60 minutos	Trabajos alumnos.	C <sub>17</sub>	Actividad individual. Sin audio.	Evaluación final individual. Cierre de la secuencia.

### 7.3.1. Situación 1: "Pensando acerca de día/noche, estaciones y fases lunares"

Esta situación implicaba que los estudiantes debían poner en juego sus ideas respecto a la causa de los fenómenos del día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna. Para ponerlas en evidencia, se decidió optar por una actividad de carácter abierto, de forma tal de dirigir lo menos posible la respuesta de los estudiantes ya que una de los propósitos de la misma consistía en identificar qué sistema de referencia (heliocéntrico o topocéntrico) elegían los estudiantes para explicar los fenómenos.

A partir de las respuestas, es posible identificar diferentes modelos mentales utilizados por los estudiantes para explicar cada uno de los fenómenos. A continuación se detallan aquellos que han sido detectados en una proporción importante de alumnos o que han sido considerados de relevancia para el desarrollo de la secuencia. Para cada uno de ellos se transcriben partes del protocolo de las clases y se presentan dibujos y textos elaborados por los estudiantes en donde cada uno de los modelos ha sido identificado.

Para preservar la identidad de los alumnos, cada uno será identificado con la letra A seguida de un subíndice ( $A_n$ ), el cual será mantenido durante todo el proceso de reconstrucción de la ECER presente en este capítulo. A su vez, los registros obtenidos en las entrevistas serán identificados por un par ordenado que indica el número de clase (primer término) seguido por el turno de habla (segundo término). Por ejemplo, el par (CLA 3; 70) indica que la transcripción corresponde a la clase 3 y que se desarrolla a partir del turno de habla 70. En el caso de transcripciones de trabajos o representaciones realizadas por los estudiantes, los mismos se identificarán por un par ordenado que indica cuál es la situación didáctica a partir de cuya resolución se ha obtenido el registro y, en segundo lugar, cuál ha sido el alumno que la ha realizado. Por ejemplo, el par ( $S_1$ ;  $A_{23}$ ) implica que el trabajo presentado lo ha llevado a cabo el alumno número 23 al resolver la Situación 1 planteada en el **Capítulo 6** como parte de la ECPE.

### 7.3.1.1. Las causas del día y la noche

Los modelos mentales que pueden ser inferidos a partir de las respuestas dadas por los alumnos para explicar el ciclo día/noche ( $M_{D/N}$ ) son:

$M_{D/N-1}$	<i>"La presencia del Sol en el cielo identifica al día y la de la Luna a la noche".</i>
$M_{D/N-2}$	<i>"La rotación de la Tierra provoca el día y la noche".</i>
$M_{D/N-3}$	<i>"La Luna y el Sol, opuestos en el espacio, giran alrededor de la Tierra".</i>

En sintonía con el trabajo preliminar expuesto en la **Sección 5.4.** de esta investigación, el modelo  $M_{D/N-1}$  es el que aparece en mayor proporción para explicar el ciclo día/noche. En este sentido,  $M_{D/N-1}$  ha sido identificado en un 65,4% de los alumnos del curso, siendo registrado tanto en los dibujos y textos realizados por los estudiantes como en las entrevistas individuales llevadas a cabo durante las mismas clases. A continuación se transcriben partes de las entrevistas de las clases y de los textos elaborados por los estudiantes que utilizan dicho modelo.

$M_{D/N-1}$ : <i>"La presencia del Sol en el cielo identifica al día, y la de la Luna a la noche".</i>	
( $S_1$ ; $A_1$ )	<i>Yo pienso que cuando es de día está el Sol... y cuando es de noche se esconde el Sol, sale la Luna y empieza a oscurecer...</i>
( $C_{1,2}$ ; 65)	$A_8$ : <i>El Sol se está yendo y la Luna está viniendo y ahí se hace de noche.</i>
( $C_{1,2}$ ; 147)	D: <i>¿Qué quisiste hacer acá?</i> $A_{13}$ : <i>Que el Sol se está yendo y que la Luna salió.</i> D: <i>¿Eso sería el inicio de la noche?</i> $A_{13}$ : <i>Sí.</i>
( $C_{1,2}$ ; 181)	D: <i>¿Por qué es de noche acá?</i> $A_{16}$ : <i>Porque salió la Luna... y es de día porque salió el Sol.</i>
( $C_{1,2}$ ; 218)	$A_{18}$ : <i>Bueno, acá el Sol sale por el Este, que sería el medio del cerro Piltriquitrón... como el Sol es lo único que ilumina toda la Tierra, recién cuando se va queda todo de noche y puede haber estrellas si el cielo está despejado. Entonces el Sol se va y, si está despejado, sale la Luna y el Sol del otro lado está alumbrando y la Luna también gira, se va la Luna y vuelve el Sol y así sucesivamente.</i>

---

(C<sub>1,2</sub>; 257) A<sub>20</sub>: *Para mí es de día porque el Sol está alumbrando todo el cielo y de noche porque el Sol se fue y pega la Luna en el valle.*

---

(S<sub>1</sub>; A<sub>21</sub>) *Ahora es de día porque la Luna se fue y el Sol salió... Ahora es de noche porque el Sol se fue y la Luna salió.*

---

Como puede observarse, este modelo posee un carácter netamente topocéntrico ya que el mismo está centrado en los estudiantes y en su entorno cotidiano, lo cual puede identificarse a partir de frases tales como "el Sol se está yendo y la Luna está viniendo", "el Sol sale por el Este, que sería el medio del cerro Piltriquitrón", "porque el Sol se fue y pega la Luna en el valle", etc. Por lo tanto, se evidencia la utilización mayoritaria del sistema de referencia topocéntrico por parte de los estudiantes.

El modelo M<sub>D/N-2</sub>, que asocia el día y la noche con la rotación de la Tierra, fue identificado en el 23,1% de los estudiantes ya que sólo 6 de los alumnos relaciona el ciclo día/noche con este movimiento de la Tierra. Sin embargo, si se compara lo que los estudiantes manifiestan en las entrevistas con los dibujos realizados por ellos mismos para explicar día/noche, existen contradicciones que parecen indicar una inadecuada comprensión del fenómeno. Por ejemplo, en la mayoría de ellos aparece representada la Luna en el espacio, pareciendo indicar alguna relación entre este astro y el ciclo del día y la noche. A continuación se transcriben algunas partes de las entrevistas y de los textos elaborados por los estudiantes que utilizan M<sub>D/N-2</sub>.

M<sub>D/N-2</sub>: *"La rotación de la Tierra provoca el día y la noche".*

(S<sub>1</sub>; A<sub>2</sub>) *Se hace de noche porque rota la Tierra.*

---

(S<sub>1</sub>; A<sub>7</sub>) *Es de día cuando el Sol está enfrente de nosotros y es de noche cuando damos una media vuelta.*

---

(C<sub>1,2</sub>; 79) A<sub>10</sub>: *Esto es como un eje que hace girar la Tierra, es de día o de noche por la rotación de la Tierra sobre sí misma.*

---

(C<sub>1,2</sub>; 275) A<sub>22</sub>: *Por la rotación de la Tierra es de día o de noche.*

---

(C<sub>1,2</sub>; 284) A<sub>23</sub>: *Hice un dibujo y puse que la luz del Sol sólo alumbraba un lado de la Tierra y el otro está en oscuridad, haciendo una sombra en el espacio.*

---

Por último, 2 alumnos (7,7%) utilizaron el modelo M<sub>D/N-3</sub>, el cual se relaciona con el M<sub>D/N-1</sub> ya que sostiene la idea de la alternancia de la presencia del Sol durante el día y de la Luna durante la noche. Sin embargo, a diferencia de M<sub>D/N-1</sub>, M<sub>D/N-3</sub> se basa en el sistema de referencia heliocéntrico ya que explica dicha alternancia a partir de proponer que la Luna y el Sol, opuestos entre sí respecto a la Tierra, giran en torno a ella. Aparentemente, los estudiantes que optan por esta explicación intentan conciliar las imágenes heliocéntricas presentes en los materiales educativos con sus propias percepciones cotidianas, de carácter real o imaginario.

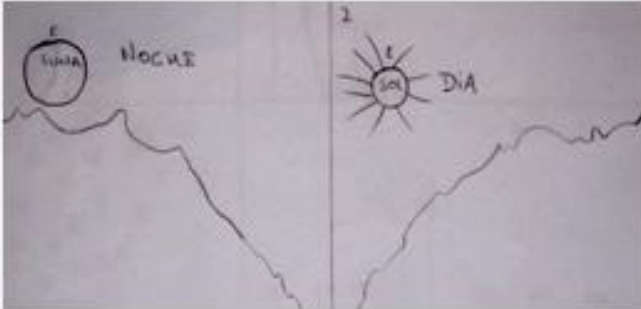
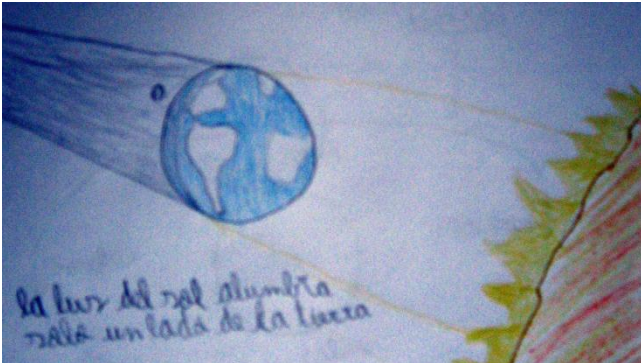
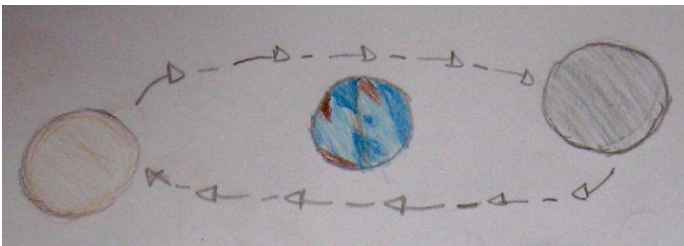
M<sub>D/N-3</sub>: *"La Luna y el Sol, opuestos en el espacio, giran alrededor de la Tierra".*

(C<sub>1,2</sub>; 100) A<sub>12</sub>: *Acá está la Tierra y acá está el Sol... El Sol está de un lado y la Luna del otro... Es lo mismo que el Sol, van rotando y cuando uno está acá, el Sol está acá, la Luna va a estar acá y al revés.*

---

En la **Tabla 7-2** se presentan dibujos realizados por los alumnos que ejemplifican los distintos modelos utilizados para explicar el ciclo día/noche.

**Tabla 7-2:** Dibujos representativos de cada modelo acerca de la causa del día y la noche. Se incluye la transcripción de la explicación asociada con el dibujo.

<p>M<sub>D/N-1</sub> (S<sub>1</sub>; A<sub>16</sub>)</p>	<p>"Es de noche porque salió la Luna y es de día porque salió el Sol"</p>	
<p>M<sub>D/N-2</sub> (S<sub>1</sub>; A<sub>23</sub>)</p>	<p>"Hice un dibujo y puse que la luz del Sol sólo ilumina un lado de la Tierra y el otro está en oscuridad, haciendo una sombra en el espacio"</p>	
<p>M<sub>D/N-3</sub> (S<sub>1</sub>; A<sub>17</sub>)</p>	<p>"El Sol está de un lado y la Luna del otro... van rotando y cuando el Sol está acá, la Luna va a estar acá y al revés" (C<sub>12</sub>; A<sub>12</sub>; 112)</p>	

### 7.3.1.2. Las causas de las estaciones

A partir del análisis de la Situación 1 se ha detectado que la mayoría de los estudiantes utilizan tres modelos para explicar las estaciones del año (M<sub>EA</sub>):

<p>M<sub>EA-1</sub></p>	<p>"Las estaciones se deben a cambios en el ambiente (temperatura, nubes, lluvias, vientos, calentamiento distinto del Sol, caída de las hojas, etc)".</p>
<p>M<sub>EA-2</sub></p>	<p>"Las estaciones se deben a cambios en la distancia al Sol. El Sol se acerca en verano y se aleja en invierno".</p>
<p>M<sub>EA-3</sub></p>	<p>"Las estaciones se deben a cambios en la velocidad del Sol. El Sol marcha más lento y se queda más tiempo en otro lugar, poniéndose más frío acá y más caliente allá".</p>

El modelo  $M_{EA-1}$  ha sido identificado en las respuestas de 11 alumnos (42,3%), mientras que  $M_{EA-2}$  se encuentra presente en las respuestas de 10 alumnos (38,5%), siendo el modelo  $M_{EA-3}$  utilizado por uno solo de los estudiantes (3,8%). Los restantes alumnos presentaron respuestas confusas y de difícil clasificación (2 estudiantes) o no pudieron dar ninguna respuesta (2 alumnos).

A continuación se transcriben partes de las entrevistas de las clases y de los textos elaborados por algunos de los estudiantes que utilizaron el modelo  $M_{EA-1}$ , el cual reviste un carácter meramente descriptivo.

$M_{EA-1}$ : "Las estaciones se deben a cambios en el ambiente (temperatura, nubes, lluvias, vientos, calentamiento distinto del Sol, caída de las hojas, etc)".

- $A_2$ : *En otoño, las estaciones no son cálidas, sino son frías.*  
 $D$ : *¿Se te ocurre por qué?*  
 $(C_{1,2}; 9)$   $A_2$ : *Porque hace mucho frío. Después del otoño viene el invierno, hace muchísimo más frío y casi no tenés días soleados, son la mayoría nublados.*
- 
- $(S_1; A_{11})$  *Para mí en el otoño hay mucho viento y de tanto viento se caen las ramitas y las hojas.*
- 
- $(S_1; A_{15})$  *Es verano porque hay mucho Sol. Es invierno porque en invierno nieva.*
- 
- $(S_1; A_{18})$  *Cambia porque las nubes en invierno tapan el Sol y también en otoño. En verano y primavera el Sol da a los árboles.*

Como puede verse, los estudiantes que utilizan  $M_{EA-1}$  tienden a brindar explicaciones en las cuales confunden las consecuencias observables de las estaciones del año con sus correspondientes causas, que son de carácter netamente astronómico. En este sentido, utilizando el sistema de referencia topocéntrico, las estaciones pueden explicarse a partir de la modificación de la posición que ocupa el Sol en la esfera celeste a lo largo del año. A su vez, desde el sistema de referencia heliocéntrico las estaciones pueden pensarse como una consecuencia de la inclinación constante del eje terrestre a medida que la Tierra se desplaza en su órbita alrededor del Sol. Estos cambios astronómicos son los que provocan modificaciones en el estado del tiempo meteorológico durante el año (temperatura media, cantidad de lluvias y días nublados, vientos, etc), lo que provoca diferencias sustanciales en el ambiente cotidiano.

Esta confusión entre causas y consecuencias presente en una proporción importante de estudiantes queda reflejada en algunas de las respuestas brindadas por ellos, como las que sostienen que es invierno "porque en invierno nieva" o "porque no tenés días soleados, son la mayoría nublados", o que "es verano porque hay mucho Sol".

Más allá de que algunas de estas afirmaciones resultan ser descriptivamente ciertas para la zona donde se realizó esta investigación, donde se viven inviernos muy fríos y con muchos días nublados, su generalización evidencia la imposibilidad conceptual de poder relacionar estas vivencias con cambios que acontecen en el cielo; más particularmente, en la posición que ocupa el Sol y, en consecuencia, en sus cambios de trayectoria a lo largo del año.

En contraposición a lo anterior, el modelo  $M_{EA-2}$  propone una causa astronómica para los cambios que se perciben en el ambiente: la distancia variable al Sol provoca los cambios estacionales. Algunas de las frases transcriptas de las entrevistas y de los trabajos de los estudiantes son las siguientes.



$M_{EA-2}$ : "Las estaciones se deben a cambios en la distancia al Sol".

(C<sub>1,2</sub>; 39) D: Antes... dijiste que el Sol en verano, ¿qué pasaba?  
A<sub>7</sub>: Se acercaba.  
D: En verano se acerca ¿a qué?  
A<sub>7</sub>: A la Tierra.

(C<sub>1,2</sub>; 83) A<sub>10</sub>: ... se producen por la distancia entre el Sol y la Tierra.  
D: ¿Acá cuando sería verano?  
A<sub>10</sub>: Cuando la Tierra está lo más posible aproximada al Sol. Una vez mi mamá me contó que en el Sistema Solar los planetas giran alrededor del Sol y cuando giran hay ciertas zonas que están más cerca del Sol.

(C<sub>1,2</sub>; 142) A<sub>13</sub>: No lo tuve que escribir porque ya sé, porque el Sol en verano está más cerca de la Tierra, en otoño está un poco más lejos que en verano, en primavera porque creo que está un poco más lejos y más cerca y en invierno porque está alejado.

(C<sub>1,2</sub>; 257) A<sub>20</sub>: Las estaciones son porque el Sol está cada vez más lejos, en invierno está del otro lado del mundo, en otoño se va acercando más, en primavera más y en verano ya está cerca.

(C<sub>1,2</sub>; 284) A<sub>23</sub>: ...puse que la Tierra giraba alrededor del Sol no como un círculo, sino como un óvalo, como si fuese alargado... Acá hice esta línea que es el movimiento de la Tierra y acá, en estas zonas, como está más cerca hace más calor, y acá hace más frío.

Dentro de las explicaciones anteriores, 8 alumnos indican que la distancia al Sol cambia debido a que "el Sol se aleja o se acerca" ( $M_{EA-2A}$ ), mientras que 2 alumnos manifiestan que este cambio en la distancia se debe al movimiento de la Tierra alrededor del Sol ( $M_{EA-2B}$ ). El alumno A<sub>23</sub> es el único que llega a dibujar la órbita de la Tierra, aunque para ser coherente con sus ideas debe indicar que hay dos momentos del año de "más calor", cuando la Tierra se encuentra cercana al Sol, y dos momentos de "más frío", cuando la Tierra se ubica más lejos. Este dibujo puede visualizarse en la **Tabla 7-3**.

Una variante del modelo  $M_{EA-2}$ , no mencionada en investigaciones precedentes, fue detectada en este trabajo. Los estudiantes que sostienen esta variante ( $M_{EA-2C}$ ) indican como causa de las estaciones del año a la distancia variable al Sol, pero incorporan al mismo tiempo a la distancia variable de la Luna en su explicación, sosteniendo que cuando el Sol se aleja, la Luna se acerca, y viceversa. A continuación se transcriben partes de las entrevistas realizadas en las clases en donde aparece mencionada esta variante, que fue detectada en 4 de los 10 alumnos que utilizaron  $M_{EA-2}$ .

$M_{EA-2C}$ : "Las estaciones se deben a cambios en la distancia al Sol y en la distancia a la Luna. Cuando uno se acerca, el otro se aleja".

(C<sub>1,2</sub>; 131) A<sub>12</sub>: En verano el Sol está más cerca de la Tierra y en otoño se aleja un poco y la Luna se va acercando y en invierno la Luna va a estar bastante cerca de la Tierra y en primavera se va alejando la Luna y se va acercando el Sol de a poco.  
D: Entonces, ¿en invierno está la Luna cerca y el Sol lejos?  
A<sub>12</sub>: Sí.

(C<sub>1,2</sub>; 205) A<sub>17</sub>: Cuando el Sol se acerca se hace verano, cuando la Luna se acerca se hace invierno. Supongo que primavera es cuando el Sol se está acercando y después va a verano, no sé...

---

(C<sub>1,2</sub>; 231) A<sub>19</sub>: *En verano: Sol más cerca, Luna más lejos. En otoño: Sol algo más lejos, Luna más cerca. Invierno: Sol más lejos y Luna muy cerca. Ahora pongo la primavera.*

---

(C<sub>1,2</sub>; 280) A<sub>22</sub>: *El Sol cuando está más cerca es en el verano, por eso hace más calor y la Luna está en invierno por eso se hace de noche más rápido.*

---

La explicación de A<sub>22</sub> permite inferir de dónde puede proceder este modelo. Parecería ser que estos estudiantes intentan reconciliar la explicación de las estaciones con sus percepciones cotidianas, las cuales asocian el invierno con bajas temperaturas, pero al mismo tiempo con noches muy largas, ocurriendo lo contrario en verano. Estos cambios son notorios dado que en la localidad en que se realizó esta investigación, ubicada a 42° de latitud sur, las diferencias estacionales son muy importantes y, en consecuencia, la cantidad de horas de luz y oscuridad varía radicalmente a lo largo del año. Por lo tanto, este modelo referido a las estaciones del año parecería incluir, al mismo tiempo, el modelo propio del alumno acerca del día y la noche.

Una posible inferencia lógica para justificar la variante M<sub>EA-2C</sub> podría ser la siguiente:

- La presencia del Sol caracteriza al día, y la de la Luna a la noche.
- Cuando el Sol se oculta, aparece la Luna y se hace de noche. Cuando la Luna se oculta, aparece el Sol y se hace de día. Por lo tanto, la Luna y el Sol deben estar opuestos en el cielo o en el espacio exterior (dependiendo si los alumnos lo piensan en forma topocéntrica o heliocéntrica).
- Como el día está asociado con la presencia del Sol, en verano, cuando las temperaturas son mayores, éste debe encontrarse más cerca. Lo contrario debe ocurrir en invierno.
- Como la noche está regida por la Luna, si las noches en invierno se hacen mucho más largas, la Luna debe estar mucho más cerca. Lo contrario ocurre en verano.
- Como la Luna y el Sol están opuestos, y como hace más frío (asociado con el Sol más lejos) cuando las noches son más largas (asociado con la Luna más cerca), el Sol debe alejarse cuando la Luna se acerca.

El último modelo detectado, M<sub>EA-3</sub>, es ampliamente minoritario ya que lo manifiesta un único estudiante (3,8%). El alumno A<sub>8</sub> sostiene un cambio en la velocidad de movimiento del Sol, lo que produce que esté más tiempo en un lado de la Tierra que en otro, provocando las diferencias estacionales.

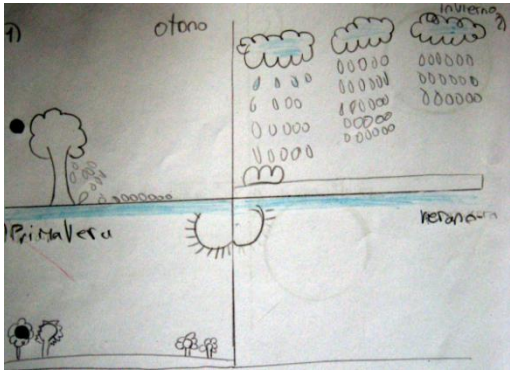

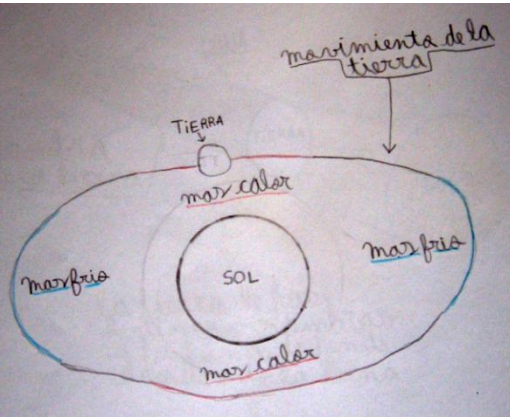
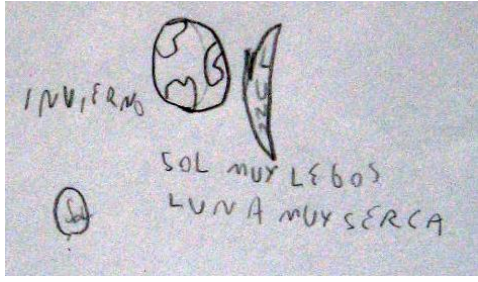
M<sub>EA-3</sub>: *"Las estaciones se deben a cambios en la velocidad del Sol. Al cambiar su velocidad, el Sol está más tiempo en otro lugar, poniéndose más frío acá y más caliente allá".*

(S<sub>1</sub>; A<sub>8</sub>) *Me parece que pasa porque el Sol se pone lento y se queda más tiempo en un [otro] lugar y por eso se pone frío [acá].*

---

En la **Tabla 7-3** se presentan dibujos realizados por los alumnos que ejemplifican los distintos modelos utilizados para explicar las estaciones del año.

**Tabla 7-3:** Dibujos representativos de cada modelo acerca de la causa de las estaciones del año. Se incluye la transcripción de explicaciones asociadas con el dibujo.

<p>M<sub>EA-1</sub> (S<sub>1</sub>; A<sub>3</sub>)</p>	<p>"En 1) están cayendo las hojas. En 2) está lloviendo mucho y hace frío. En 3) hace mucho calor"</p>	
<p>M<sub>EA-2A</sub> (S<sub>1</sub>; A<sub>13</sub>)</p>	<p>"[Es verano] Porque el Sol está más cerca"</p>	
<p>M<sub>EA-2B</sub> (S<sub>1</sub>; A<sub>23</sub>)</p>	<p>"...puse que la Tierra giraba alrededor del Sol no como un círculo, sino como un óvalo... Acá, en estas zonas, como está más cerca hace más calor y acá hace más frío" (C<sub>12</sub>; A<sub>23</sub>; 284)</p>	
<p>M<sub>EA-2C</sub> (S<sub>1</sub>; A<sub>19</sub>)</p>	<p>"Invierno: Sol muy lejos, Luna muy cerca. Primavera: Sol cerca, Luna cerca. Verano: Sol más cerca, Luna más lejos. Otoño: Sol algo lejos, Luna más cerca"</p>	
<p>M<sub>EA-3</sub> (S<sub>1</sub>; A<sub>8</sub>)</p>	<p>" Porque el Sol se va, se queda más tiempo en unos lugares que en otros" (C<sub>12</sub>; A<sub>8</sub>; 71)</p>	<p>Sin dibujo explicativo</p>

En la **Tabla 7-4** se sintetizan los distintos modelos mentales en relación a las estaciones del año y su presencia porcentual dentro del grupo de clase.

**Tabla 7-4:** Porcentaje de alumnos del curso en los que se ha identificado cada uno de los modelos acerca de la causa de las estaciones del año.

Modelo explicativo (porcentaje de alumnos)		
<i>M<sub>EA-1</sub>: Las estaciones se deben a cambios en el ambiente (42,3%)</i>		
<i>M<sub>EA-2</sub>: Las estaciones se deben a cambios en la distancia al Sol (38,5%)</i>		
<i>M<sub>EA-2A</sub></i>	<i>El Sol se acerca o se aleja</i>	15,4%
<i>M<sub>EA-2B</sub></i>	<i>La Tierra se acerca o se aleja del Sol</i>	7,7%
<i>M<sub>EA-2C</sub></i>	<i>Cuando el Sol se aleja, se acerca la Luna, y viceversa</i>	15,4%
<i>M<sub>EA-3</sub>: Las estaciones se deben a cambios en la velocidad del Sol (3,8%)</i>		

Como puede apreciarse en la **Tabla 7-2**, ninguno de los modelos utilizados por los estudiantes es adecuado desde el punto de vista científico, ni desde el sistema de referencia topocéntrico ni desde el heliocéntrico. A su vez, predominan dos tipos de ideas que aglutinan a la misma proporción de alumnos (42,3%): aquellas en las que no se hace referencia a ningún fenómeno celeste y aquellas en las que sí. Entre estas últimas, la gran mayoría sostiene la variación de la distancia al Sol como causa de las estaciones del año, concepción que ya ha sido detectada en gran cantidad de trabajos de investigación anteriores. Sin embargo, llama la atención que en dichos trabajos de investigación no aparezcan mencionadas explicaciones como las del modelo *M<sub>EA-1</sub>*, donde los estudiantes no relacionan los fenómenos estacionales que cotidianamente observan a su alrededor con cambios que ocurren en el cielo.

### 7.3.1.3. Las causas de las fases lunares

A partir del análisis de la **Situación 1**, se ha detectado que 22 estudiantes del curso (84,6%) tienen cierto conocimiento de las fases lunares dado que logran dibujar algunas de las formas que la Luna va adquiriendo a lo largo del mes lunar. Esto puede deberse a que los alumnos han manifestado haber tenido clases referidas a este tema unos dos años atrás, cuando se encontraban cursando el 4to. año de la escuela primaria. Esto puede explicar que 7 de los alumnos (26,9%) hayan dibujado adecuadamente las lunas crecientes y menguantes con sus lados opuestos, izquierdo o derecho, correspondientemente iluminados. Dado que este tipo de conocimiento no es sencillo de adquirir en forma espontánea, es factible pensar que puede ser el resultado de un proceso sistemático de instrucción relacionado con la observación del cielo.

Sin embargo, pese a que 22 alumnos dibujaron adecuadamente algunas de las fases lunares, 10 de estos estudiantes (38,5%) no lograron esbozar ninguna explicación acerca de las causas del fenómeno que dibujaron. A su vez, 4 estudiantes (15,4%) no pudieron esbozar ni un dibujo ni una explicación. Por último, 12 alumnos (46,2%) esbozaron dibujos junto con distintas explicaciones, mostrando una gran dispersión en sus respuestas. Dicha dispersión se pone de manifiesto en la diversidad de modelos utilizados para explicar las fases lunares, de los cuales se detallan a continuación los que son esbozados por más de un estudiante (*M<sub>FL</sub>*):

M <sub>FL-1</sub>	"Las fases de la Luna se deben a la posición del Sol respecto a la Luna".
M <sub>FL-2</sub>	"Las fases lunares se deben a la sombra de la Tierra sobre la Luna".
M <sub>FL-3</sub>	"Las fases de la Luna se deben a que el Sol cambia de lugar".
M <sub>FL-4</sub>	"La Luna cambia de forma según las estaciones del año o según cómo esté el tiempo (despejado o nublado)".

El modelo M<sub>FL-1</sub> ha sido identificado en las respuestas de 3 alumnos (11,5%), mientras que M<sub>FL-2</sub>, M<sub>FL-3</sub> y M<sub>FL-4</sub> se encuentran presentes, cada uno de ellos, en las respuestas de 2 alumnos (7,7%). Por otro lado, existen otros modelos que han sido utilizados por solamente un alumno, los cuales sostienen que las fases de la Luna se producen "porque el Sol está más cerca o más lejos de la Luna" (S<sub>1</sub>; A<sub>12</sub>), "porque el mundo gira" (S<sub>1</sub>; A<sub>15</sub>) o "porque la Luna cambia de formas" (S<sub>1</sub>; A<sub>15</sub>). Como queda en evidencia, a la mayoría de los alumnos les resulta dificultoso pensar explicaciones acordes para este fenómeno.

A continuación se transcriben partes de las entrevistas realizadas en clase a los 3 estudiantes que utilizaron el modelo M<sub>FL-1</sub>.

M <sub>FL-1</sub> : "Las fases de la Luna se deben a la posición del Sol respecto a la Luna".	
	D: <i>Acá la pregunta es por qué la Luna no se ve siempre igual.</i>
	A <sub>7</sub> : <i>Porque depende de la posición en la que esté el Sol.</i>
	D: <i>¿Cómo sería eso?</i>
(C <sub>1,2</sub> ; 46)	A <sub>7</sub> : <i>El Sol en Luna llena debe estar...no, no entiendo...</i>
	D: <i>A ver, pensemos, una idea tenés, ¿cómo se ve la Luna llena?</i>
	A <sub>7</sub> : <i>El Sol casi en frente para que alumbré toda la Luna. La media Luna el Sol está al costado. Cuando no se ve la Luna...no sé...</i>
<hr/>	
	D: <i>¿Se te ocurre alguna explicación de por qué a veces se ve llena, o creciente, o menguante?</i>
(C <sub>1,2</sub> ; 87)	A <sub>10</sub> : <i>Por el punto en el que estamos, el Sol ilumina distintos costados y cuando hay Luna llena siempre es de noche porque el Sol sería como si estuviese más atrás, como del otro lado del planeta alumbrando a la Luna...o algo así...</i>
	D: <i>¿Y por qué verías una Luna creciente?</i>
	A <sub>10</sub> : <i>La Luna creciente es porque el Sol ilumina de costado, ya es de día y el Sol ilumina a la Luna desde otra posición.</i>
<hr/>	
(C <sub>1,2</sub> ; 221)	D: <i>¿Y por qué cambia de forma todos los días?</i>
	A <sub>18</sub> : <i>Porque el Sol le da en diferentes partes.</i>

Aunque no tienen una explicación acabada acerca del fenómeno, estos alumnos parecen explicar adecuadamente las fases lunares a partir de pensar cómo debe incidir el Sol sobre la Luna para que un observador terrestre la perciba tal como se la ve en el cielo. En este sentido, manifiestan que en Luna llena el Sol debe alumbrarla "de frente", mientras que en Luna creciente debe alumbrarla "de costado", o que la forma cambia al darle el Sol "en diferentes partes". Este enfoque topocéntrico resulta adecuado y se encuentra en sintonía con la ECPE sobre fases lunares planteada en el **Capítulo 6** de esta investigación, la cual será implementada en clases posteriores.

En contraposición, el modelo  $M_{FL-2}$  presenta un enfoque heliocéntrico ya que implica "pararse" imaginariamente en el espacio exterior para observar cómo la Tierra genera una sombra en dirección opuesta al Sol, lo que provoca el oscurecimiento de la Luna cuando dicho astro pasa por allí. Algunas de las frases transcritas de las entrevistas a los 2 estudiantes que sostienen este modelo son las siguientes.

$M_{FL-2}$ : "Las fases lunares se deben a la sombra de la Tierra sobre la Luna".

(C<sub>1,2</sub>; 253) *A<sub>19</sub>: ...está la Luna, el Sol y la Tierra entre medio y la Tierra va tapando las partes de la Luna y entonces el Sol no puede pegarle a la Luna y entonces le tapa algunas partes.*

*D: ¿Es como una sombra?*

*A<sub>19</sub>: Claro.*

(C<sub>1,2</sub>; 284) *A<sub>23</sub>: El Sol le da la luz a la Tierra y la Tierra hace una sombra, que depende en donde esté la Luna, le hace distinta sombra, haciendo que la veamos de alguna forma.*

El modelo  $M_{FL-2}$  se corresponde con la concepción alternativa más común detectada en alumnos y docentes para explicar las fases lunares (ver **Capítulo 4**). Pese a que es inapropiada para comprender por qué ocurren las fases, esta explicación es adecuada para explicar, desde el sistema de referencia heliocéntrico, por qué ocurre un eclipse lunar. Por lo tanto, la utilización de este modelo implica la confusión entre un eclipse, que es un fenómeno debido a sombras, y un astro en fase, que es un fenómeno debido a la posición desde la que se observa un objeto iluminado por la mitad.

Por su parte, los 4 alumnos que utilizan los modelos  $M_{FL-3}$  y  $M_{FL-4}$  esbozan alguna explicación para el fenómeno de las fases, aunque la misma se encuentra expresada en forma amplia o ambigua, por lo cual no se logra establecer una relación causa - efecto entre lo que ellos mencionan y los cambios de fases. Las explicaciones dadas por los estudiantes en las entrevistas se transcriben a continuación.

$M_{FL-3}$ : "Las fases de la Luna se deben a que el Sol cambia de lugar".

$M_{FL-4}$ : "La Luna cambia de forma según las estaciones del año o según cómo esté el tiempo (despejado o nublado)".

(C<sub>1,2</sub>; 144) *A<sub>13</sub>: Puse una explicación para todo. Está la Luna nueva, la llena, la creciente y la menguante. Por la rotación del Sol es que la Luna se pone así. [Aclaración: el alumno llama "rotación" al movimiento alrededor de la Tierra] ( $M_{FL-3}$ )*

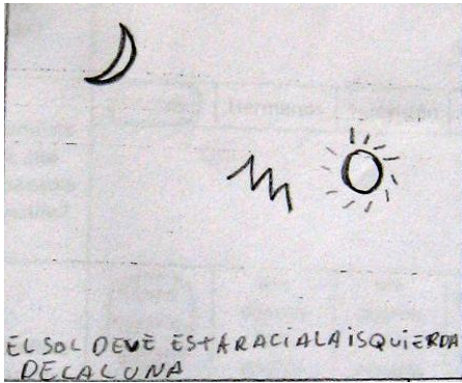
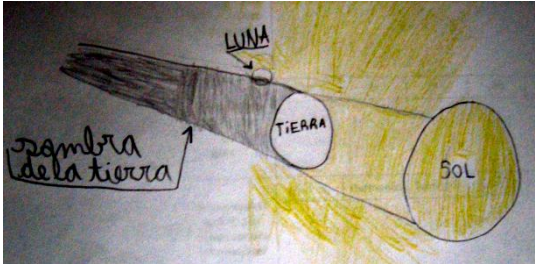
(C<sub>1,2</sub>; 257) *A<sub>20</sub>: Y las fases de la Luna van cambiando porque el Sol se va moviendo de lugar, va alumbrando diferentes lados. ( $M_{FL-3}$ )*

(S<sub>1</sub>; A<sub>1</sub>) *La Luna nueva sale cuando el clima está tibio, cuando no hay un hermoso cielo y estrellas. ( $M_{FL-4}$ )*

(C<sub>1,2</sub>; 215) *A<sub>17</sub>: Si, a veces es llena, a veces media o en cuartos. Tiene que ver con las estaciones. ( $M_{FL-4}$ )*

En la **Tabla 7-5** se presentan dibujos realizados por los alumnos que ejemplifican los distintos modelos utilizados para explicar las fases lunares.

**Tabla 7-5:** Dibujos representativos de modelos acerca de la causa de las fases de la Luna. Se incluye la transcripción de explicaciones asociadas con el dibujo.

<p>M<sub>FL-1</sub> (S<sub>1</sub>; A<sub>7</sub>)</p>	<p>"Depende de la posición del Sol va a dar Luna llena, media Luna, etc"  "El Sol debe estar a la izquierda [derecha] de la Luna"</p>	
<p>M<sub>FL-2</sub> (S<sub>1</sub>; A<sub>23</sub>)</p>	<p>"La Tierra le hace distintas sombras a la Luna, depende dónde está la Luna"</p>	
<p>M<sub>FL-3</sub> (S<sub>1</sub>; A<sub>20</sub>)</p>	<p>"Las fases de la Luna van cambiando porque el Sol se va moviendo de lugar"</p>	<p>Sin dibujo explicativo</p>
<p>M<sub>FL-4</sub> (S<sub>1</sub>; A<sub>17</sub>)</p>	<p>"Con las estaciones la Luna va teniendo fases"</p>	<p>Sin dibujo explicativo</p>

En la **Tabla 7-6** se sintetizan las distintas respuestas obtenidas en relación a las fases de la Luna y su presencia porcentual dentro del total de alumnos del curso (26).

**Tabla 7-6:** Porcentaje de alumnos del curso que brinda cada una de las respuestas o en los que se han identificado los distintos modelos sobre las fases de la Luna.

<p><b>Respuestas (porcentaje de alumnos)</b></p>
<p>No dibujan la Luna ni explican las fases (15,4%)</p>
<p>Dibujan la Luna en distintas fases pero no explican (38,5%)</p>
<p>M<sub>FL-1</sub>: Las fases de la Luna se deben a la posición del Sol respecto a la Luna (11,5%)</p>
<p>M<sub>FL-2</sub>: Las fases lunares se deben a la sombra de la Tierra sobre la Luna (7,7%)</p>
<p>M<sub>FL-3</sub>: Las fases de la Luna se deben a que el Sol cambia de lugar (7,7%)</p>
<p>M<sub>FL-4</sub>: La Luna cambia de forma según las estaciones del año o según el tiempo (7,7%)</p>
<p>Otros modelos (11,5%)</p>

Como puede observarse en la **Tabla 7-3**, el modelo  $M_{FL-1}$  es el único que puede considerarse adecuado para explicar las fases de la Luna desde un enfoque topocéntrico ya que los cambios de posición de la Luna en el cielo de un día al otro provocan, como consecuencia, que la posición del Sol respecto a la Luna también se modifique.

Por otro lado, ninguno de los otros modelos utilizados por los estudiantes resulta adecuado desde el punto de vista científico para explicar las fases lunares ni desde el sistema de referencia topocéntrico ni desde el heliocéntrico. A su vez, existe poco acuerdo en cuanto a las causas del fenómeno, lo cual queda evidenciado por una gran cantidad de alumnos que no logran elaborar un modelo acerca del fenómeno y por la presencia de una dispersión importante en las explicaciones dadas. Por lo tanto, de los tres fenómenos abordados, las fases lunares parece ser el más complejo de conceptualizar para los estudiantes.

### 7.3.2. Situación 2: "Reflexionando sobre la relatividad del movimiento"

A partir del análisis del trabajo grupal escrito realizado por los alumnos al resolver la Situación 2 detallada en la **Sección 6.5.2.**, y de la sistematización y conceptualización posterior del mismo coordinada por el docente mediante un diálogo continuo con los estudiantes, se han podido identificar los siguientes modelos acerca del movimiento y de su condición absoluta o relativa ( $M_{MOV}$ ):

$M_{MOV-1}$	<i>"Un objeto se mueve si cambia su posición respecto a la superficie terrestre".</i>
$M_{MOV-2}$	<i>"Cuando algo se observa desde un cuerpo en movimiento, el movimiento de los objetos que uno ve no es real, es lo que parece desde ese cuerpo".</i>

Los modelos anteriores asumen la idea implícita de la existencia de un sistema de referencia absoluto respecto al cual podría indicarse si un objeto está o no en movimiento. En este sentido, el modelo  $M_{MOV-1}$  fue identificado en todos los grupos y sostiene la idea de que algo se mueve cuando se detecta un cambio de posición respecto al suelo. Esto no llama la atención ya que, a partir de la experiencia cotidiana, el sistema de referencia elegido como absoluto suele ser uno que se encuentra posicionado sobre la superficie terrestre, que es el lugar donde habitualmente las personas se encuentran paradas la mayor parte de su tiempo. Por lo tanto, no es llamativo que los estudiantes también sostengan el modelo  $M_{MOV-2}$ , en el cual consideran que el desplazamiento de un cuerpo es "real" cuando se lo ve desde el suelo, e imaginario si se lo observa desde arriba de un cuerpo que se encuentra desplazándose respecto a la superficie terrestre. Por su parte, algunos alumnos sostienen que este "engaño" sobre qué es lo que se encuentra en movimiento proviene de un problema de percepción sensorial, y no de una condición característica de la situación en sí misma.

Es posible que estos modelos sobre el movimiento sean una consecuencia de las percepciones y vivencias cotidianas de los alumnos, en las cuales se encuentran acostumbrados a "medir" la velocidad de los cuerpos desde su propio punto de vista, el cual suele ser coincidente con una posición estática respecto al suelo. Sin embargo, los mismos se contraponen con el principio de relatividad de Galileo, el cual postula la equivalencia entre todos los sistemas de referencia inerciales, dando por sentado que cualquier sistema de referencia es válido y que sólo es una cuestión de conveniencia elegir el más apropiado para describir un determinado fenómeno físico.



A continuación se transcriben algunas de las frases esbozadas por los alumnos, las cuales han permitido identificar los modelos anteriores durante el trabajo grupal llevado a cabo o durante la sistematización del mismo por parte del docente. En las transcripciones se indica entre paréntesis la fuente de la cual ha sido extraída la cita: el trabajo escrito (número de situación, grupo al que corresponde la respuesta) o la conversación docente - alumnos durante el proceso de sistematización y conceptualización (número de clase, turno de habla).

$M_{MOV-1}$ : *"Un objeto se mueve si cambia su posición respecto a la superficie terrestre".*

(S<sub>2</sub>; G<sub>1</sub>) *La abuela está quieta y el chico gira. Estamos en desacuerdo con que los edificios se mueven.*

(S<sub>2</sub>; G<sub>3</sub>) *Pensamos que la ciudad no se mueve, pero el auto sí.*

(S<sub>2</sub>; G<sub>5</sub>) *Estamos de acuerdo con el niño B. En la parte 1 porque la planta no se puede mover y en la parte 2 porque una ciudad entera no se puede mover.*

(S<sub>2</sub>; G<sub>6</sub>) *La abuela no gira, gira el niño. El que se mueve es el auto, no la ciudad.*

Pese a que es muy probable que la mayoría de los estudiantes tengan conocimiento acerca de los movimientos de la Tierra, el modelo  $M_{MOV-1}$  muestra que los alumnos mantienen la idea tajante de que nada tiene movimiento si está fijo a la superficie terrestre, como es el caso de la planta o los edificios. En cambio, le asocian movimiento a las cosas que, como el auto o la calesita, se desplazan o rotan respecto al suelo. De este modo, toman como sistema de referencia implícito a su propio entorno cercano, caracterizado por el suelo y todos los objetos "adheridos" a él como principal referencia.

$M_{MOV-2}$ : *"Cuando algo se observa desde un cuerpo en movimiento, el movimiento de los objetos que uno ve no es real, es lo que parece desde ese cuerpo".*

(S<sub>2</sub>; G<sub>2</sub>) *Al niño A le parece que la abuela y la planta se movían, lo que no es correcto. En cambio, el niño B cree que ellos se están moviendo, lo que es correcto.*

(S<sub>2</sub>; G<sub>4</sub>) *Estamos de acuerdo con el niño B porque al alejarse de un objeto parece que se hace más pequeño o que se aleja ese objeto.*

(C<sub>3</sub>; 18) *G<sub>4</sub>: Es lo mismo que pasa con la Tierra y el Sol... parece que el Sol sale de diferentes partes, pero la Tierra se mueve y entonces parece que cambia... Pensamos que la Tierra es la calesita y la abuela es el Sol. La Tierra se mueve y el Sol no.*

El modelo  $M_{MOV-2}$  se caracteriza por la presencia de proposiciones en las que los estudiantes manifiestan que "a la persona le parece" o que "ella cree" que algo se está moviendo, pero que eso que le parece o cree "no es correcto". De este modo, los alumnos sostienen implícitamente la idea de que la "realidad" corresponde a todo aquello que se percibe cuando se está "quieto", mientras que lo que se percibe estando "en movimiento" sería algo "irreal" o "aparente" (de apariencia). En sintonía con el modelo  $M_{MOV-1}$ , aquí "quieto" y "en movimiento" suelen definirse a partir de tomar como referencia al suelo.

En este sentido, el grupo 4 propone que "un objeto parece que se hace más pequeño" cuando el observador se encuentra en un móvil alejándose de él. Al mismo tiempo, el mismo grupo logra asociar la **Situación 2** con el aspecto astronómico por el cual fue planteada por el docente, indicando que el Sol "parece" moverse en el cielo, pero que "es la Tierra la que se mueve y el Sol no". Estas respuestas indican implícitamente un cambio en el sistema de referencia, que pasó de ser la superficie terrestre para describir que la ciudad se achica debido a que "el auto se aleja", a ser el Sol para describir que el Sol se desplaza en el cielo debido a que "la Tierra se mueve". En consecuencia, las respuestas de este grupo podrán ser utilizadas por el docente durante el proceso de conceptualización para mostrar que las mismas implican la ausencia de un sistema de referencia absoluto y que, por lo tanto, ambas descripciones del movimiento del Sol en el cielo pueden ser correctas en función del sistema de referencia que se elija.

Para conceptualizar acerca de la relatividad de los sistemas de referencia, el docente propone luego una sistematización de las respuestas de los distintos grupos a la **Situación 2** y, posteriormente, comienza un diálogo con los alumnos con el fin de que ellos mismos puedan cuestionar y reflexionar acerca de sus ideas. En principio, se les propuso pensar en alguna situación vivida en la que no se dieron cuenta si eran ellos los que se movían o era el otro cuerpo que estaban observando:

D: *Ahora, tratemos de pensar un poco más allá. ¿Hay alguna situación en la que ustedes no podían darse cuenta si eran ustedes los que se movían o era lo otro que estaban viendo lo que realmente se movía? ¿Nunca les pasó?...*

A<sub>20</sub>: *Los chiquitos dicen que la Luna los sigue...*

A<sub>23</sub>: *Cuando vas en el auto y ves por la ventana, parece que todo se está yendo para atrás. Mientras ves algo que está más lejos va más lento y lo que está más cerca se mueve más rápido.*

D: *Esa es una buena observación, desde arriba del auto se ven cosas diferentes a las que se ven desde abajo. Como que las cosas van para atrás.*

A<sub>12</sub>: *Aunque el auto vaya lento, igual ves por la ventana, es lo que yo veo, que las cosas van pasando... para atrás.*

(C<sub>3</sub>; 29) A (alumno que no ha podido ser identificado en las desgrabaciones): *Cuando te ponés mirando para atrás en un auto y mirás una casa, parece que la casa se está moviendo, si te quedás atento.*

D: *Lo que yo pregunté es si alguna vez tuvieron la sensación de no saber si eran ustedes lo que se movía o si se movía todo lo que estaba alrededor. A mí me pasó de estar en una terminal, donde hay un micro al lado del otro, el micro en el que uno está va a arrancar y parece hacer marcha atrás... lo hace tan despacio que uno no se da cuenta si es el micro de uno el que está yendo hacia atrás o es el micro de al lado. Toma un ratito darse cuenta que es el micro de al lado el que se está moviendo.*

A<sub>18</sub>: *A mí me pasó pero yendo en tren, que estaban los dos trenes parados. Encima, los trenes son más largos...*

D: *Claro, eso también pasa en el tren. Como arranca despacio, uno estando en un tren en la estación no se da cuenta si arranca el propio o no.*

Como puede apreciarse, algunos estudiantes comienzan a brindar ejemplos en los que se evidencia que es posible situar el sistema de referencia en el cuerpo que se está desplazando respecto al suelo, y describir desde allí lo que se observa. A partir de esto queda abierta la puerta para que el docente realice una breve conceptualización acerca de los sistemas de referencia y sobre la posibilidad de elegir el que resulte más conveniente, incorporando una discusión a partir de un ejemplo concreto y cotidiano:

D: *Eso se llama sistema de referencia, algo así como qué es lo que uno toma como referencia para ver si las cosas están en movimiento o no. La idea es que, en realidad, cuando uno trata de determinar si lo que está en movimiento es uno o el de al lado, a veces no lo puede determinar... y en realidad las dos cosas están bien, porque para mí, que estoy en el auto, las cosas se están moviendo para atrás y para el que está afuera del auto soy yo el que pasa para el otro lado. Todo depende de donde esté parado uno. Por ejemplo, yo ahora... ¿estoy quieto o me estoy moviendo?*

A: *Estás quieto.*

A<sub>2</sub>: *Te estás moviendo... Estás temblando, se te mueve la mano, la boca...*

D: *Hagamos más fácil. Agarro esta cámara de fotos, la apoyo en la mesa... ¿se está moviendo o está quieta?*

(C<sub>3</sub>; 45) A<sub>23</sub>: *Está en movimiento, porque todo en realidad se está moviendo en este mismo momento.*

D: *A ver, yo ahora la veo quieta. [el docente se desplaza] Y ahora veo que se está alejando. Lo que quiero decir con esto es que depende de mí, de lo que yo haga que eso esté quieto o no para mí. Para ustedes que están sentados y sin moverse, esto sigue estando quieto. Pero A<sub>23</sub> decía algo más, ¿por qué decías que eso se estaba moviendo?*

A<sub>23</sub>: *Porque en realidad en este momento todo se está moviendo con la Tierra.*

D: *A<sub>23</sub> dice que si la Tierra gira, y nosotros estamos sobre ella, estamos moviéndonos, girando... entonces eso [la cámara] no está tan quieta como parece... ¿O será que están bien las dos cosas? Decir que está quieto o decir que se mueve... A veces las cosas no son una o la otra, las dos pueden estar bien, depende de cómo se las mire.*

En la conversación puede apreciarse que A<sub>23</sub> posee conocimiento explícito acerca del movimiento de la Tierra y de que, en consecuencia, todo el aula se está desplazando junto con ella. Sin embargo, todavía no logra conceptualizar la idea de la relatividad de los sistemas de referencia ya que dota de "realidad" al movimiento de la Tierra en el espacio, como si describir los movimientos de los cuerpos desde la superficie terrestre no tuviese también un carácter "real" visto desde otro marco de referencia. Por lo tanto, el docente insiste con la idea de la relatividad de los sistemas de referencia:

D: *La idea es que todo movimiento es relativo, pero volvamos hacia atrás, ¿se está moviendo esta cámara?*

A: *No...*

A<sub>18</sub>: *Depende de donde lo veas...*

D: *...a ver A<sub>18</sub>, ¿qué quisiste decir con depende?*

A<sub>18</sub>: *Que vos te ponés en un punto, como vos que caminabas y veías que la cámara se está moviendo, te ponés al frente y te das cuenta que no se está moviendo, tenés que mirarlo fijo...*

D: *Sí, no tiene que ver con mirarlo fijo, tratemos de entenderlo mejor...*

(C<sub>3</sub>; 58) A<sub>18</sub>: *De donde esté parado.*

D: *Eso, de donde esté parado, desde donde yo esté mirando las cosas, cuál es mi referencia. Los que dijeron que no se movía, ¿por qué lo dijeron?... porque también está bien decir que no se mueve...*

A: *No, porque desde acá no se mueve, pero si estamos allá parados en el cielo...*

D: *No hace falta irse al cielo... ¿Quién diría que esa cámara se está moviendo?*

A: *Alguien que está caminando para allá.*

D: *Si alguien pasa en auto por esa calle para allá... [señala la calle vista a través de la ventana]*

A: *Nos ve a todos movernos...*

D: *Nos ve a todos nosotros movernos para el otro lado, respecto al auto. Está bien decirlo porque es respecto al auto que se está moviendo. Entonces, ¿la cámara se mueve?*

A: *Sí y no.*

A: *Depende.*

D: *Depende desde donde esté mirando, si me quedo quieto acá mirando, la cámara va a estar quieta, pero si me voy al Sol y miro a la Tierra y la cámara en ella, voy a decir que se está moviendo.*

Una vez establecido un cierto acuerdo respecto a la relatividad de los sistemas de referencia, el docente continúa el diálogo apuntando a encontrar la relación con los contenidos de astronomía de la ECPE, de modo tal de llegar a visualizar la conveniencia de utilizar un sistema de referencia que esté centrado en la superficie terrestre. El docente propone entonces la utilización del sistema de referencia topocéntrico, el cual permite describir los movimientos de los astros en el cielo tal como los estudiantes pueden observarlos a simple vista desde sus propias casas o desde la misma escuela:

D: *¿Qué relación tiene esto con la astronomía?...*

A<sub>19</sub>: *El movimiento de las estrellas y la Tierra, porque la Tierra se mueve y vamos a ver cómo se van moviendo las cosas en el cielo.*

D: *Exactamente.*

A<sub>17</sub>: *Como que nosotros lo vemos así y pensamos que nosotros estamos quietos y el Sol está haciendo todo el recorrido, pero en realidad nosotros giramos en nosotros mismos y alrededor del Sol...*

D: *A ver... ¿por qué decís en realidad? ¿La cámara se mueve o en realidad no se mueve?*

A<sub>17</sub>: *Las dos cosas...*

D: *Las dos cosas, las dos son realidad, recuerden que es con respecto a qué la mire. Entonces, que la Tierra se mueva es una realidad y que el Sol se mueva en el cielo también es una realidad. Entonces, ¿está bien decir que la Tierra se mueve?*

A: *Sí.*

D: *¿Por qué? ¿Desde dónde estoy mirando que la Tierra se mueve?*

A: *En el Sol...*

(C<sub>3</sub>; 76) D: *En el Sol, por ejemplo, mirando la Tierra moverse... ¿Y desde dónde estoy parado diciendo que el Sol se mueve?*

A: *Desde la Tierra.*

D: *Lo que queremos hacer con esto es que nos demos cuenta que decir que el Sol y las estrellas se mueven está bien, porque lo estamos diciendo desde la Tierra o más específicamente desde mi lugar, desde donde yo vivo, nosotros vamos a tratar de entender cómo se mueve el Sol acá en El Bolsón. Nosotros en estas clases de astronomía vamos a pararnos acá en la escuela o en nuestras casas para ver lo que pasa en el cielo. Ustedes, desde sus casas, ¿pueden ver que la Tierra rota y se traslada?*

A: *No.*

A: *Es un movimiento muy lento...*

D: *No tiene que ver con eso, tiene que ver con que estamos arriba de la Tierra moviéndonos con ella, es como cuando estas arriba del auto, si no hay algún bache vos no te das cuenta que se está moviendo. Nuestra referencia va a ser la Tierra, nuestra ubicación. Este sistema de referencia se llama "topocéntrico", desde nuestro lugar. ¿Quién me resume lo que quisimos hacer en esta clase?*

A<sub>18</sub>: *Que a veces nos parece que los otros se están moviendo y en realidad nosotros nos movemos y que también depende de la ubicación y las referencias...*

A: *Que nuestro punto de referencia es el lugar donde nosotros estamos para*

*pensar y ver que nosotros estamos quietos y lo demás se está moviendo...*

D: *¿Y eso está bien, decir que lo demás se está moviendo y que nosotros estamos quietos?*

A<sub>26</sub>: *En realidad, para mí es las dos cosas... Se mueve la Tierra y, cuando gira, el Sol va iluminando distintos países...*

D: *Eso es una forma de verlo, ¿Cuál sería la otra?*

A<sub>26</sub>: *Si yo me paro en la Tierra, veo el movimiento del Sol.*

D: *¡Bien! ¡Viste que lo podías decir! ¿Se entiende? Traten de pensar en eso, las dos cosas están bien, depende del lugar en el que me pare.*

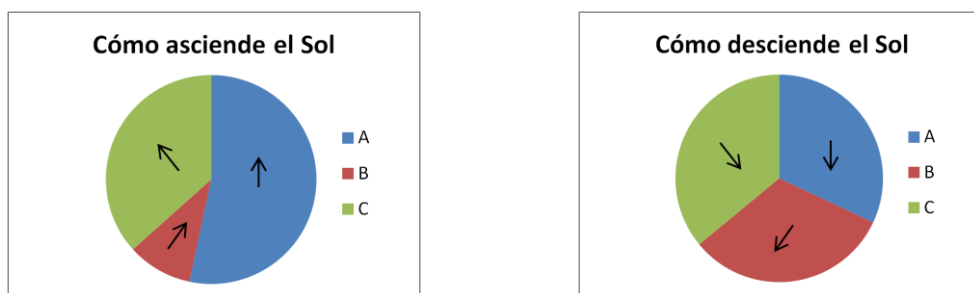
Como ya se ha mencionado, pensar el movimiento como relativo y utilizar el sistema de referencia topocéntrico resultan ser ideas que se contraponen con lo que habitualmente se sostiene en la vida cotidiana y en los medios de comunicación, donde las personas suelen sostener la existencia de un sistema de referencia absoluto y tienden a utilizar únicamente el sistema de referencia heliocéntrico. Sin embargo, las transcripciones de los diálogos de clase muestran un cierto grado de comprensión por parte de los estudiantes, quienes comienzan a tomar conciencia de que no existe una única forma de describir el movimiento de un cuerpo y que, por lo tanto, es adecuado describir el movimiento de los astros según como ellos lo ven desde su propio lugar de observación.

Esto resulta relevante ya que en la mayoría de los materiales curriculares presentes en las escuelas suele llamarse "movimiento aparente" al desplazamiento del Sol en el cielo, diferenciándolo del "movimiento real" realizado por la Tierra en el espacio, dejando de lado que ambos desplazamientos son "aparentes" o relativos al sistema de referencia elegido. Por lo tanto, esta clase les ha abierto a los estudiantes la libertad de describir, hablar y pensar acerca del movimiento de los astros en el cielo sin la necesidad de plantear la correspondencia con los movimientos que realiza la Tierra, o cualquier otro astro, vistos desde el espacio exterior.

### 7.3.3. Situación 3: "Simulando el movimiento diario del Sol mediante Stellarium"

El docente comienza repartiendo las consignas sobre el movimiento diario del Sol y el día y la noche detalladas en la **Sección 6.5.3.** y proponiéndoles a los estudiantes la resolución individual de la situación inicial en la que se plantea que ellos elijan una de las opciones propuestas con flechas sobre cómo les parece que se desplaza el Sol en el cielo en los momentos cercanos al levante y al poniente. Posteriormente, estas elecciones individuales son sistematizadas en el pizarrón, obteniéndose los resultados presentes en la **Figura 7-1.**

**Figura 7-1:** Proporción de estudiantes que sostiene cada una de las opciones posibles acerca de cómo asciende o desciende el Sol en el cielo visto desde El Bolsón (42° Sur).



Como puede verse, las opciones relacionadas con el modo en que se desplaza el Sol luego de su salida muestran que la opción A (ascenso vertical) es la más elegida entre los estudiantes, seguida por la opción C ("sube inclinado hacia la izquierda "). En cambio, la opción B aparece en mucha menor proporción. Llama la atención que la opción C obtenga más respuestas que la B dado que ambas sostienen el ascenso del Sol en forma inclinada, por lo que es posible que algunos alumnos posean algún conocimiento respecto al recorrido que sigue el Sol. En cambio, en las puestas del Sol las tres opciones obtienen la misma proporción de respuestas, por lo que parecería haber más desorientación en cuanto a cómo ocurre este desplazamiento. La siguiente transcripción indica que algunos alumnos ya habían prestado atención al ascenso del Sol en alguna ocasión anterior, aunque no logran indicar que lo mismo debería suceder en la puesta del Sol.

D: *...Ahora la pregunta es, ¿por qué va inclinado para acá y no para allá? ¿Hay alguna razón por la cual elegir una u otra opción?*

A<sub>18</sub>: *Bueno... O sea... Yo varias veces observé el movimiento en el cielo y también en el Stellarium. Sale para acá [indica inclinado hacia la izquierda con los brazos], no sale ni derecho [indica vertical] ni para allá [indica inclinado hacia la derecha]...*

D: *Bien, A<sub>18</sub> dice que sale así porque ya lo vio en el cielo y en el Stellarium. Ahí hay un conocimiento de que pasa de una determinada forma porque ya lo observó. ¿Alguno más puso así porque lo haya observado?...*

A: *Yo lo observé...*

(C<sub>4</sub>; 43) D: *¿Esto así, inclinado?*

A: *En vez de pasar así derecho, pasa así [hace gesto con el brazo inclinado hacia la izquierda].*

D: *O sea que ahí hay una observación. Bien, no digo que esté bien, lo que quiero es entender qué piensan.*

A<sub>23</sub>: *Algunos dicen que no sale derecho, que se va un poco para el norte y después como que vuelve...*

D: *¿Y eso quién te lo dijo?*

A<sub>23</sub>: *No sé, lo escuché.*

A continuación, el docente propone observar cómo es el desplazamiento del Sol luego de su salida y antes de la puesta utilizando el programa Stellarium, el cual es proyectado en el frente del aula. Dado que en esta instancia de la secuencia didáctica no se está prestando atención a los cambios anuales en la trayectoria del Sol, la fecha de observación no guarda relevancia y, en función del trabajo posterior a realizar, el docente decide colocar en el programa la fecha de un equinoccio, de modo tal que la trayectoria del Sol a representar en la maqueta sea justo de este a oeste.

Durante la simulación con el Stellarium, los alumnos rápidamente se dan cuenta que la opción C es la que indica el desplazamiento ascendente del Sol y, para recordarlo, lo registran en la carpeta mediante un dibujo.

D: *...Vamos a prestar atención a lo que dice el Stellarium, lo que vemos acá es lo que pasa en el cielo, tal cual. La única diferencia que tenemos cuando miramos, fíjense acá, el Este, sería como nuestra ventana, la única diferencia es que acá en el Stellarium no está el Piltri.*

(C<sub>4</sub>; 53) A<sub>7</sub>: *¿Ponemos la fecha?*

D: *En realidad no hace falta poner la fecha porque esto que vamos a observar sucede todos los días igual, porque yo quiero observar si siempre sube derecho o lo hace inclinado. Yo les cuento que lo que vemos hoy pasa todos los días, no digo que suba todos los días por el mismo lugar, pero si sube derecho, sube así todo el año. Y si baja inclinado, lo hace así todo el año. Para registrar bien lo que sucede*

voy a adelantar una hora al programa y ustedes me van a decir si sube derecho, inclinado hacia la derecha o hacia la izquierda. Ahí vamos.

A<sub>18</sub>: Eh, subió para allá... [indica inclinado hacia la izquierda] Para la C, profe...

D: Claramente empezó acá y se fue acá, después de dos horas. Se notó bien eso, ¿no? No importa quien tenía razón, lo importante es que uno se dé cuenta cómo es.

A<sub>23</sub>: ¿Por qué tan pocos habrán puesto la opción B?

D: Yo creo que los que pusieron la C ya sabían algo, les habían contado que el Sol subía inclinado hacia el norte.

A<sub>15</sub>: ¿Tenemos que dibujar eso?

D: Sí. Hagan una "ventana" rectangular en la carpeta, dibujen el Cerro Piltriquitrón en la parte de abajo y agreguen al Sol subiendo inclinado tal como lo vimos. ¿Saben hacia dónde sube inclinado? Hacia el norte.

A<sub>18</sub>: Tenemos que ver para dónde se pone, profe.

D: Ahora vamos con la puesta del Sol... Antes copien: el Sol sube inclinado hacia el norte. Eso de que suba inclinado tiene que ver con nuestra ubicación en la Tierra. Nosotros vivimos muy al sur, por lo que vemos al Sol subir hacia el norte.

A su vez, la situación planteada motiva a los alumnos, quienes comienzan a preguntar cómo se ve el desplazamiento del Sol en otros lugares de la Tierra y hasta logran realizar predicciones sobre cómo ascenderá el Sol en otras ubicaciones.

A: ¿Y los del Norte lo ven salir inclinado hacia el sur?

D: Exactamente. Si te vas a Nueva York, el Sol sale por el este y lo ves subir para acá [inclinado hacia la derecha]. No hace falta que vayas, cambias la ubicación en el Stellarium, tenés el mapa, querés ver cómo sale en Estados Unidos, te ponés ahí, ves salir el Sol por el este pero inclinado para el otro lado. No hace falta ir, lo podés poner en el Stellarium... No los quiero confundir así que volvamos a El Bolsón.

(C<sub>4</sub>; 64) A: ¿Y en España?

D: Es lo mismo, están ambos al norte.

A: Profe, ¿hay algún lugar donde suba derecho el Sol?

D: Muy bien, buena pregunta.

A: En el medio...

D: En el medio de la Tierra, exactamente. En el Ecuador, sube derecho. Nosotros que vivimos al sur vemos al Sol subir inclinado hacia el norte. Los que viven al norte lo ven subir hacia el sur. Tiene que ver con nuestra ubicación.

A continuación, el docente muestra la puesta del Sol con el Stellarium y aprovecha para proponer la idea de que el movimiento diario debe ser simétrico respecto al meridiano local, por lo que un ascenso inclinado hacia el norte provocará, indefectiblemente, que la trayectoria también se encuentre inclinada del mismo modo durante el descenso.

D: Vamos a la puesta del Sol. Hacemos otra "ventana" en la carpeta, dibujamos la Cordillera al oeste. Y vamos a ver cómo baja el Sol, si lo hace derecho, inclinado así, o así [hacia la derecha o hacia la izquierda]...

(C<sub>4</sub>; 71)

D: ...Fíjense que ahora es mucho más parejo, ahora parece que la mayoría no sabe cómo baja y fueron tanteando, como que hay menos conocimiento acá metido. ¿Alguno tiene información sobre cómo baja? Les cuento, las cosas se repiten en el cielo de un lado y del otro, eso quiere decir que son simétricas, o sea, si uno piensa que el Sol sube derecho, tiene que poner del otro lado que baja derecho, porque las cosas son iguales de un lado y del otro. Si uno descubre algo de este lado del cielo, del otro va a pasar lo mismo. Porque durante la mañana el Sol sube de una manera, y por la tarde el Sol baja de la misma manera. Como no

*lo sabemos, vamos a mostrarlo en el Stellarium...*

*A<sub>18</sub>: Pero sí, yo lo dije... Cuando yo voy andando en bicicleta, veo la puesta del Sol bajando para la izquierda (la C). También en Las Grutas, en el departamento que estábamos, veíamos cómo bajaba, y bajaba por la izquierda...*

*D: Acá A<sub>18</sub> dice que vio bajar al Sol así [como C]. Vamos a ver si sucede eso. ¿A qué hora se pone el Sol así avanza la hora? ¿A qué hora está oscuro?*

*A: A las ocho... A las nueve... Ocho y media...*

*D: Ocho y media [el programa] ya me pone las estrellas, así que a esa hora ya es de noche. Seguro el Sol se está poniendo mucho antes de las ocho y media.*

*A: Bajá la hora.*

*D: Siete y media... ¿Y qué me falta para ver la puesta?*

*A: Dar la vuelta.*

*D: Claro, ir al oeste. Voy girando, olvidense de la Luna, no nos interesa por el momento...*

*A: El lucero...*

*D: El lucero no es ese, ahora está bien brillante a la mañana mirando al "Piltri". Bien, al oeste, ya siete y media está acá abajo. Voy a cambiar la hora, voy a poner cinco y media. Ahora sí, adelanto... ¿cómo lo vieron bajar?*

*A: A la izquierda. ¡La C! ¡Sí!...*

*D: Completen el dibujo, poniéndose por la Cordillera hacia la izquierda, cinco y media. Acá les puse [en el pizarrón] para que copien: el Sol baja inclinado de norte a sur. Subió hacia el norte; luego, del norte baja hacia el sur.*

Por último, el docente propone observar hacia donde se posicionará el Sol en la mitad de su recorrido, siendo la idea más común que, en ese momento, el Sol se encontrará en el cenit.

*D: Y la última pregunta para construir el recorrido del Sol... ¿Dónde está al mediodía?*

*A: Arriba de todo... Está más al norte... Por allá...*

*D: Piensen que si uno sabe que el Sol sube así y baja así [inclinado], ¿puede estar acá arriba al mediodía?*

*A: Sí.*

(C<sub>4</sub>; 87) *D: ¿Y cómo hace? ¿Vuelve, va así y se pone acá?*

*A: No puede estar arriba.*

*D: Vamos a ver dónde está el Sol al mediodía [con el Stellarium]... Tenemos que ver justo el momento en que deja de ascender y comienza a descender. Prestemos atención. El Sol, al mediodía, está siempre justo hacia el norte. Cuando es el mediodía, como el Sol subió así inclinado, llegó al norte al mediodía y luego baja inclinado allá. A estas cosas quiero que empiecen a prestar atención. Escriban que al mediodía está hacia el norte, es para acordarnos.*

Al mismo tiempo que construye el recorrido utilizando el programa Stellarium, el docente simula el movimiento diario del Sol con su brazo con el fin de que los alumnos logren proyectar a tres dimensiones lo que se encuentran observando en dos dimensiones en la pantalla. Para ello, coloca carteles en el aula que indican la dirección geográfica en la que se encuentra cada una de las paredes y, posteriormente, mueve su brazo desde la pared ubicada al este hasta la correspondiente al oeste, realizando un desplazamiento inclinado hacia el norte y mostrando que en esa dirección, y no arriba de su cabeza, se encuentra el Sol al mediodía.



#### 7.3.4. Situación 4: "Representación del movimiento diario del Sol en una maqueta y explicación del día y la noche"

Como modo de ampliar la comprensión de los estudiantes acerca de lo desarrollado con el grupo de clase, se propone el armado de una maqueta grupal que represente cómo es el desplazamiento diario del Sol en el cielo en función de lo observado con el programa Stellarium. A su vez, se les solicita que utilicen lo representado en la maqueta para explicar el fenómeno del día y la noche. Para ello, se volvieron a organizar los grupos de trabajo y a cada uno se le repartió una pequeña plancha de telgopor para representar el horizonte local y una pelotita de telgopor junto con alambre para simbolizar la trayectoria diaria del Sol vista desde El Bolsón. La **Figura 7-2** muestra el inicio del proceso de armado de la maqueta, que será luego mejorada artísticamente para representar los accidentes geográficos que caracterizan a la zona. Para simplificar el desarrollo de la secuencia, se comenzó representando la trayectoria diaria correspondiente a la fecha de los equinoccios, la cual será complementada en las clases siguientes con las correspondientes a los solsticios.

**Figura 7-2:** Maqueta que representa la trayectoria diaria del Sol en los equinoccios.



A partir de la representación del recorrido del Sol en formato de maqueta, los estudiantes deben explicar el fenómeno del día y la noche. Como algunos de los grupos no logran construir la explicación a partir del recorrido diario del Sol, el docente toma la maqueta de uno de los grupos y dialoga con el grupo de clase para ayudarlos a reflexionar sobre cuál podría ser la relación entre ambos fenómenos.

*D: Creo que todos se dieron cuenta, y si no los ayudamos, de que el recorrido del Sol lo tenían que poner inclinado hacia el norte, como está acá [en esta maqueta]. Acuérdense que esto muestra que el Sol asciende en el cielo inclinado hacia el norte, está justo hacia el norte al mediodía y luego baja así [inclinado]. Estoy mirando hacia el este, lo veo subir así, inclinado para allá y, si estoy mirando al oeste lo veo bajar así, inclinado para allá. Ahora, este esquema tiene que quedarnos en la cabeza para explicar el día y la noche. ¿Quién me cuenta qué pusieron?...*

(C<sub>5</sub>; 8)

*A: A partir que el Sol sale del este hace su recorrido y se esconde en el oeste.*

*D: Y acá, ¿qué pusieron? Acá pusieron Sol afuera, como que el Sol sale, y Sol adentro como que el Sol se pone. Bien, ahora ustedes saben, o se imaginan, que si el Sol hace este recorrido, está claro que tiene que hacer un recorrido por abajo del horizonte, que no lo vamos a dibujar porque no lo vemos, hasta que sale por el otro lado. Entonces, sería de día cuándo el Sol está... ¿Dónde?... ¿Arriba del...?*

*A: Del horizonte.*

D: Bien, arriba del horizonte. Cuando nosotros lo vemos y está arriba del horizonte es de día. Cuando el Sol se pone y hace todo el recorrido por abajo del horizonte, que nosotros no vemos, es de noche. Cada grupo va a tener que escribir después esto que estoy diciendo, es importante que lo entiendan. Última cuestión por hoy: ¿y la Luna?

A: Está abajo...

A: Está en otro lado...

D: La pregunta es: ¿La Luna tiene que ver con el fenómeno del día y la noche?

A: Sí...

A: No...

A: No, pero...

D: Tenemos que entender que el día es cuando hay claridad, cuando el cielo se ve celeste, cuando no podemos ver las estrellas que vemos de noche. Y la noche es cuando el cielo se ve oscuro, y puedo ver las estrellas... La Luna, ¿hace falta ponerla acá [en la explicación del día y la noche]?

A: No, porque a veces la Luna está de día y a veces en la noche.

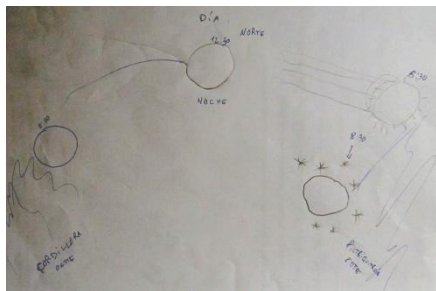
D: Exactamente. Ahora completen o corrijan lo que pusieron en la hoja, cuándo es de día y cuándo de noche, según lo que acabo de decir y si a la Luna hay que incluirla o no en la explicación.

Finalmente, los diferentes grupos logran construir explicaciones topocéntricas sobre el día y la noche, la mayoría de las cuales vienen acompañadas por dibujos que representan adecuadamente el movimiento diario del Sol. En la **Tabla 7-7** se presentan algunos de ellos con un comentario sobre los mismos. Dado que la trayectoria observada en clase utilizando el programa Stellarium fue la correspondiente a los días de equinoccios, por el momento será considerado adecuado que los alumnos sostengan que "el Sol sale por el este y se pone por el oeste", lo cual es correcto sólo para dos fechas al año. Sin embargo, dado que la construcción de un "modelo cinemático celeste" sobre los fenómenos astronómicos cotidianos resulta ser un proceso progresivo de evolución de los modelos explicativos a través de modelos intermediarios (Clement, 2000), este modelo explicativo sobre el movimiento diario del Sol será considerado como provisorio hasta el desarrollo de las **Situaciones 5 y 6**, donde se observará el movimiento anual del Sol con sus correspondientes cambios en los lugares y horarios de salida y puesta.

**Tabla 7-7:** Análisis de las respuestas de algunos grupos de trabajo a la consigna final de la **Situación 4**: "Explico el día y la noche mediante un dibujo y una frase".

Grupo	Dibujo	Explicación	Comentario
(S <sub>4</sub> ; G <sub>1</sub> )		<p>El Sol sale por el este y se esconde por el oeste. Cuando el Sol está oculto es de noche y cuando el Sol está sobre el horizonte es de día porque el Sol se ve.</p>	<p>En el dibujo, llaman "afuera" y "adentro" a lo que sería "arriba" y "abajo" del horizonte.</p>

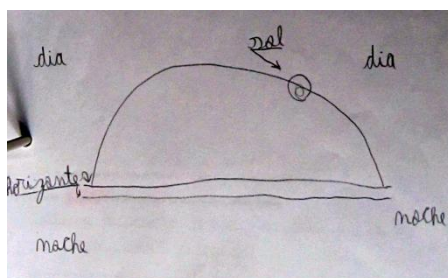
(S<sub>4</sub>; G<sub>2</sub>)



*El día se hace cuando sale el Sol, al este. La noche se produce cuando el Sol termina su recorrido y se va por el oeste. A veces sale la Luna, pero no tiene nada que ver con el fenómeno del día y la noche.*

El dibujo muestra la salida del Sol por el Cerro Piltriquitrón y la puesta por la Cordillera. El dibujo es confuso en algunos aspectos.

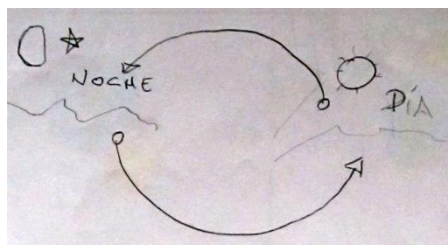
(S<sub>4</sub>; G<sub>4</sub>)



*Cuando el Sol está de nuestro lado del horizonte es de día, cuando el Sol se esconde se va del otro lado del horizonte y es de noche de nuestro lado. La Luna no tiene nada que ver.*

No parece adecuado el uso del concepto de "horizonte". Parecen usar "lado del horizonte" como "lado de la Tierra".

(S<sub>4</sub>; G<sub>6</sub>)



*El Sol pasa por arriba de la Tierra mientras que a la noche pasa por debajo. La Luna está de día como de noche.*

En el dibujo sigue apareciendo la Luna en la parte de noche. En la explicación se confunde "Tierra" con "horizonte".

Dado que el horizonte del programa Stellarium es ficticio y representa un paisaje de una zona de campo, no resulta del todo sencillo para los alumnos relacionar los puntos cardinales visualizados en el software con las ubicaciones reales de estos puntos en el horizonte real local. En función de superar esta dificultad, el docente decidió pegar carteles con los puntos cardinales en las distintas paredes del aula y observar desde las ventanas del salón de clase (y desde el patio escolar) qué accidentes geográficos se encuentran presentes al observar en cada dirección geográfica, prestando atención a la presencia del Cerro Piltriquitrón hacia el este y de la Cordillera de los Andes hacia el oeste. A su vez, las ventanas del aula se encuentran en la pared norte.

Por lo tanto, si en vez de utilizar el programa Stellarium como simulador se hubiese observado en forma directa la salida y la puesta del Sol, la construcción conceptual que se hubiese podido desarrollar para el movimiento diario del Sol podría haber sido la siguiente, la cual sería correcta para todos los días del año vista desde El Bolsón: "El Sol sale por algún lugar del Cerro Piltriquitrón y se oculta por algún lugar de la Cordillera, ubicándose hacia el norte al mediodía".

Con el fin de comentar y proponer mejoras a las maquetas realizadas y a las explicaciones elaboradas, cada grupo mostró y leyó su trabajo al grupo de clase, lo que promovió la participación de los estudiantes y del docente para señalar constructivamente aquellas cuestiones que no se entendían o que no estaban bien. Para finalizar, se guardó la maqueta en el aula para seguir utilizándola en las próximas clases y se le propuso a los estudiantes la realización de la actividad escrita individual presente en la **Sección 6.5.4**. con el fin de poner en acción el conocimiento adquirido.

A partir del análisis del modo de resolución de esta actividad se detectó una evolución positiva de los conocimientos de los estudiantes en relación al movimiento diario del Sol y al fenómeno del día y la noche, aunque se visualizaron ciertas dificultades en los alumnos, sobre todo en la parte relacionada con el ciclo día/noche. Es posible que esta diferencia en las dificultades guarde relación con el modo en que se encuentra planteada cada una de las partes de la actividad: la frase sobre el movimiento diario del Sol posee opciones de respuesta entre las cuales elegir, mientras que la frase del día y la noche sólo tiene el espacio vacío a ser completado.

Pese a que este tipo de actividad no permite tener un conocimiento acabado del grado de comprensión genuina de los estudiantes, las respuestas muestran que las **Situaciones 3 y 4** han permitido una modificación de las explicaciones de los estudiantes, muchos de los cuales ahora sostienen que el Sol sale mirando hacia el este (64% de los alumnos) y que se pone hacia el oeste (68%), que el Sol asciende en forma inclinada de sur a norte (76%), que desciende de norte a sur (84%) y que se ubica hacia el norte al mediodía (88%). Esta evolución de las ideas se visualiza también, aunque en menor proporción, cuando los alumnos tienen que explicar el día y la noche a partir de la ubicación del Sol arriba o debajo del horizonte local (48% de los alumnos), o al tener que relacionar al día con la presencia del Sol (64%) y a la noche con su ausencia (32% de los alumnos). Una muestra de la persistencia de las concepciones previas al proceso de instrucción lo constituye que en un importante porcentaje de respuestas continúa apareciendo la Luna asociada con el ciclo día/noche (40% de los alumnos).

Dada la presencia de respuestas inadecuadas en la actividad individual, y pese a que esto no estaba planificado así en la ECPE, el docente decidió dedicar la siguiente clase (Clase 6) para dialogar nuevamente con los estudiantes sobre cómo es el desplazamiento diario del Sol en el cielo y sobre cómo se puede explicar el día y la noche a partir de éste. Una vez finalizado el diálogo, se les propuso a los estudiantes que resuelvan nuevamente la actividad individual, pero esta vez en forma grupal. Durante esta resolución se detectó que cierta cantidad de respuestas inadecuadas de los alumnos se debieron a dificultades en la comprensión de las frases a completar ya que, con la ayuda del docente o de los propios compañeros del grupo, los estudiantes lograron completar adecuadamente lo solicitado.

Para finalizar esta clase, el docente propone ampliar los conocimientos en relación al mediodía solar analizando cuál es el horario en que éste ocurre en El Bolsón (no se había prestado atención a esto anteriormente). Para ello, se recurre nuevamente al programa Stellarium y se visualiza el horario en que el Sol pasa justo por el meridiano local (coincidente en dirección con el norte geográfico presente en el programa) en distintas fechas del año. Finalmente se concluye que el horario local promedio correspondiente al mediodía solar corresponde a las 13.45 hs, presentando variaciones de algunos minutos a lo largo del año (la "Ecuación del tiempo").

D: *Vamos a ver qué nos dice el Stellarium. ¿Qué debería hacer para ver cuándo es el mediodía?*

A: *Ver cuando está en el punto más alto.*

D: *Esa es una posibilidad, otra es...*

A: *Cuando está justo hacia el norte.*

(C<sub>6</sub>; 36)

D: *Sí. Son dos diferentes posibilidades. En realidad son tres, una es cuando el Sol está más alto, otra es cuando la sombra es la más corta de todo el día y la tercera es, si yo sé dónde está el norte, acá [en El Bolsón] uno más o menos puede saberlo porque las calles están norte-sur... entonces, si uno mira el Sol justo cuando pasa por ahí [el norte], ya sabe que es el mediodía. Hagamos esto en el Stellarium, me ubico mirando al norte, adelanto el tiempo y me fijo cuando el Sol*

*está justo al norte. ¿A qué hora podría ser?*

*A: ¿A las diez?*

*D: ¿A las diez? No puede ser nunca. Si el Sol ahora sale a las nueve de la mañana y se pone a las siete de la tarde la mitad del recorrido no puede ser a las diez...*

*A: ¿A las doce?*

*A: ¿A la una?...*

*D: Veámoslo. Son las doce y veinticinco, ¿el Sol ya pasó por el norte?*

*A: No.*

*D: O sea que a las doce no es el mediodía del Sol, lo que se llama mediodía solar, es el mediodía del reloj. Una y veinticinco... ¿llegó al norte?*

*A: No... Le falta un poquito.*

*D: Avancemos... Miren... El mediodía solar en El Bolsón ocurre a las 13.45. Durante el año puede cambiar un poquito. O sea que la hora del reloj no marca lo que hace el Sol acá, es una convención, todos nos ponemos de acuerdo en la hora pero no está indicada por el Sol directamente. En Buenos Aires, el Sol pasa por el norte a las 13 hs, entonces en nuestro reloj la hora sería diferente a la de acá, sería un problema para comunicarse. Usamos la misma hora en el reloj para que no haya problemas. La hora que indica el Sol se llama hora solar, nosotros no la usamos en la vida cotidiana, la que usamos es la hora civil y todos nos ponemos de acuerdo para tener la misma hora en toda la Argentina.*

El docente finaliza comentando que la siguiente clase comenzarán analizando el desplazamiento que se observa del Sol en el cielo a lo largo del año, el cual guarda relación con el fenómeno de las estaciones del año.

### **7.3.5. Situación 5: "Simulando el movimiento anual del Sol mediante Stellarium"**

Se reparte la actividad sobre movimiento anual del Sol y las estaciones del año detallada en la **Sección 6.5.5.** y se les propone a los estudiantes que resuelvan en forma individual la consigna 1, donde deben dibujar si les parece que hay cambios en los lugares de salida y puesta del Sol a lo largo del año. A continuación, el docente realiza una puesta en común de las respuestas de los alumnos, en donde se manifiesta gran diversidad en las mismas: algunos indican que no hay cambios, o que son pequeños, mientras otros manifiestan la existencia de grandes diferencias anuales.

Para zanjar estas diferencias, el docente propone a los alumnos utilizar nuevamente el programa Stellarium, el cual permite visualizar si existen cambios a lo largo del año. Para ello, se resuelve la consigna 2, en donde se debe completar un cuadro indicando los lugares y horarios de salida y puesta del Sol, y su altura en el mediodía (solar), en distintas fechas del año. Se comienza en la fecha en que se está desarrollando la clase (22 de abril) y luego se realiza lo mismo para las fechas de solsticios y equinoccios.

*D: Pongan otoño. Al lado la fecha.*

*A: 22 de abril.*

*D: No hace falta el año porque van a ver que esto se repite todos los años. Ahora ponemos en la siguiente columna. Dice el Sol sale al... quiero saber qué va en los puntos suspensivos.*

(C7; 5)

*A: Al norte.*

*D: Miren, ¿salió justo al este hoy el Sol? Recuerden que el este es un punto determinado, no es todo el [cerro] Piltri, igual que el norte. Cuando nosotros decimos que el Sol está al norte es que está justo para allá. Si ustedes quieren*

saber dónde está el norte, busquen el Sol al mediodía [solar] y ahí estará el norte. La pregunta es, ¿salió justo al este? ¿O salió corrido?

A: Salió corrido.

D: ¿A qué hora buscamos la salida del Sol?

A: A las nueve... No, a las siete... A las siete y media.

D: Miren lo que muestra la pantalla. ¿Está saliendo justo al este?

A: No. Al sur.

D: Recuerden que está el Piltri. Está saliendo del este a la izquierda.

A: Noreste.

D: Norte del este... O sea, escriban eso en la primera. ¿A qué hora?

A: A las ocho y veintiséis.

D: Vamos a redondear y a poner ocho y media. Además como acá [en el programa] no está el [cerro] Piltri, seguro [la salida del Sol] real es más tarde.

A partir de las observaciones, los alumnos van tomando conciencia de que los cambios anuales son notorios y que mantienen una cierta regularidad, lo que hace que los estudiantes puedan comenzar a predecir cómo se producirán dichos cambios.

D: ¿El mes que viene sale más temprano?

A: Sí.

D: Vamos a ver. Mes que viene a la misma hora... ¿Qué pasó con el Sol? ¿Sale por el mismo lugar que el mes pasado?

A: No.

D: Adelantamos unos minutos. Díganme cuando piensan que ya salió.

A: Ahí... Un poquito más... Ahí...

(C<sub>7</sub>; 27) D: Salió más tarde, claramente, en este momento del año sale más tarde, ¿está claro? ¿Por el mismo o por otro lugar?

A: Por otro.

D: Antes estaba acá y ahora está acá. Avancemos a junio, ¿qué va a pasar?

A: Va a ser más tarde, va a ser más acá [más al norte].

D: Fíjense. Si se corrió de abril a mayo así y salió más tarde... De mayo a junio, ¿qué esperamos que suceda? Que se corra más al norte y que salga más...

A: Más tarde.

A su vez, el docente intenta reconstruir el recorrido anual del Sol a partir de unas pocas observaciones y, a la vez, construir la relación entre el lugar de salida del Sol y la estación en la que nos encontramos.

D: ...El día del año que el Sol sale más al norte es el 21 de junio. Miren todo lo que se corrió [hacia el norte]. El horario de salida, acá dice nueve y media, pero calculen que acá en Bolsón antes de las diez de la mañana no sale. No confundamos claridad con salida del Sol. Claridad va a haber antes, pero el Sol antes de las diez de la mañana no lo vamos a ver. Completamos. Fecha, 21 de junio, comienzo del invierno, la salida del Sol ocurre lo más al norte de todo el año, pongan a las diez. Les cuento que si ustedes pueden ver el Sol salir por ahí, ya saben que es invierno. Es invierno porque el Sol sale al norte del este y nosotros vivimos al sur. Ahora vamos a ver qué sucede el mes siguiente. Esta es la salida más al norte de todo el año. ¿Qué pasará el mes siguiente? ¿Saldrá más allá?

(C<sub>7</sub>; 43)

A: No. Va a volver.

D: Va a empezar a volver. Pongamos julio, casi no volvió... fue poquito. Miren en agosto donde está... volvió todo esto. Ahora el 21 de septiembre... ¿saben qué estación comienza en esa fecha?

A: La primavera.

D: Sí. Veamos por dónde sale el Sol...

A: Por el este justo.

D: Completemos el cuadro con esto: salida justo por el este a las siete cuarenta y cinco, es mucho más temprano que en invierno. Recordemos qué estamos haciendo. Hoy sale acá, luego se va corriendo, se va corriendo, 21 de junio [sale] acá, lo más al norte y lo más tarde de todo el año, más o menos a las diez de la mañana. A partir de ahí empieza a volver el Sol hasta que el 21 de septiembre sale justo por el este. ¿Qué pasará el 21 de octubre?

A: Va para el otro...

D: Sigue para acá, sigue hacia el sur. Fíjense que cada vez se ve más alto a la misma hora... Se va corriendo hacia el sur, hasta que el 21 de diciembre llega acá... fíjense todo lo que se corrió.

A: Pareciera que está más grande...

D: El 21 de septiembre estaba acá justo en el este y el 21 de diciembre lo tenemos acá, bien al sur [del este]. Completemos, empieza el verano y la salida es lo más al sur del este de todo el año.

Luego de haber observado los cambios en las salidas del Sol a lo largo del año, el docente intenta que los alumnos pongan en práctica lo aprendido solicitándoles que indiquen lo que sucede con el Sol en la época en que se está desarrollando la clase.

D: A esta altura del año [22 de abril], cada día que pasa, ¿el Sol sale más tarde o más temprano?

A: Más tarde.

D: ¿Más al norte o más al sur?

A: Más al sur... Más al norte... Al norte.

(C<sub>4</sub>; 65) D: Más al norte. Acuérdense que ahora estamos yendo al invierno porque nosotros vivimos al sur y el Sol se está yendo más al norte. Piensen de esta manera, si el Sol sale acá [el este], ¿qué estación es?

A: Otoño... O primavera...

D: Bien, si el Sol sale justo por el este comienza el otoño o la primavera. Otoño es el cambio del verano al invierno, es lo que nos está pasando ahora. Primavera sería el cambio del invierno al verano.

Por último, el docente propone observar con el Stellarium lo que sucede con las puestas del Sol con el fin de mostrar que, cuando el Sol se ubica hacia el norte, tanto las salidas como las puestas se corren en esa dirección, lo cual puede ser utilizado por los alumnos para crear sus propios calendarios. A su vez, utiliza sus brazos para indicar cómo cambian las trayectorias del Sol a lo largo del año, mostrando la estrecha relación entre el recorrido que realiza el Sol en el cielo y la estación del año correspondiente.

(C<sub>7</sub>; 77) D: Lo que quiero decir con esto es que podemos armar un calendario usando esto y poner la fecha de cumpleaños de alguno de ustedes en el Piltri. Porque según la fecha del año, el Sol sale por diferentes lados. Por ejemplo, alguien que cumpla hoy verá al Sol salir por acá... Si lo marca desde la ventana de su casa, sabrá que cada vez que el Sol salga por ahí [y el Sol se esté desplazando hacia el norte], ese día será su cumpleaños. En eso consisten los calendarios... Veamos las puestas del Sol y completemos el cuadro. Empecemos hoy, 22 de abril, adelantemos la hora y veamos la puesta. Miren, ¿se pone hoy justo por el oeste?

A: No.

D: ¿Del oeste al?...

A: Norte... Digo sur... No, al norte...

D: *Esperen, ahora estamos mirando hacia allá [oeste]. Está del oeste a la derecha.*

A: *Por eso, al norte.*

D: *Sí, es al norte. Completen: se pone al norte del oeste a las diecinueve. Hacia allá tenemos la Cordillera, con lo cual estamos viendo al Sol ponerse un poco antes. Pregunta: ¿en junio por dónde se pone?*

A: *Para el norte.*

D: *Vamos al 21 de junio... el Sol se pone lo más al norte de todo el año, un poco antes de las 18 hs. Ahora, comienzo de la primavera... ¿por dónde se pone el Sol?*

A: *Justo por el oeste.*

D: *Bien. Aproximadamente a las diecinueve. Terminemos con esto. La idea era que construyamos el recorrido del Sol. Lo que tienen que entender es esto, estamos yendo hacia el invierno, ¿por dónde sale el Sol?*

A: *Al norte.*

D: *¿Por dónde se pone?*

A: *Allá.*

D: *El recorrido de invierno es así. Sale al norte del este, hace un recorrido bajito y se pone allá [al norte del oeste]. Es muy notorio cómo en invierno el Sol hace un recorrido bajito y por eso es invierno. En verano, ¿por dónde sale el Sol?*

A: *Por el suroeste.*

D: *¿Suroeste?*

A: *Sur del este.*

D: *El recorrido de verano es así. Sale ahí [sur del este], va al norte al mediodía, no está arriba de mi cabeza, y se pone ahí [sur del oeste]. Como se viene hacia el sur, el Sol sigue un recorrido alto para nosotros que vivimos al sur. En primavera y otoño, ¿cuál es el recorrido? Sale justo al este, hace un recorrido así y se pone justo al oeste. O sea que los recorridos son diferentes a lo largo del año y eso marca las estaciones.*

Una vez finalizado este trabajo, se les propone a los alumnos que completen la maqueta realizada anteriormente con las trayectorias del Sol en las fechas de cambio de estación, tal como está planteado en la **Situación 6** presente en la **Sección 6.5.6**.

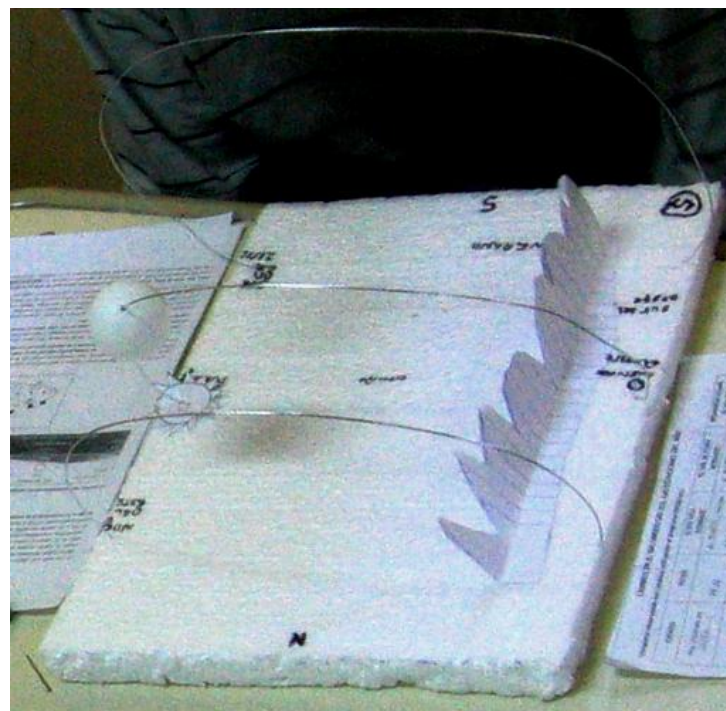
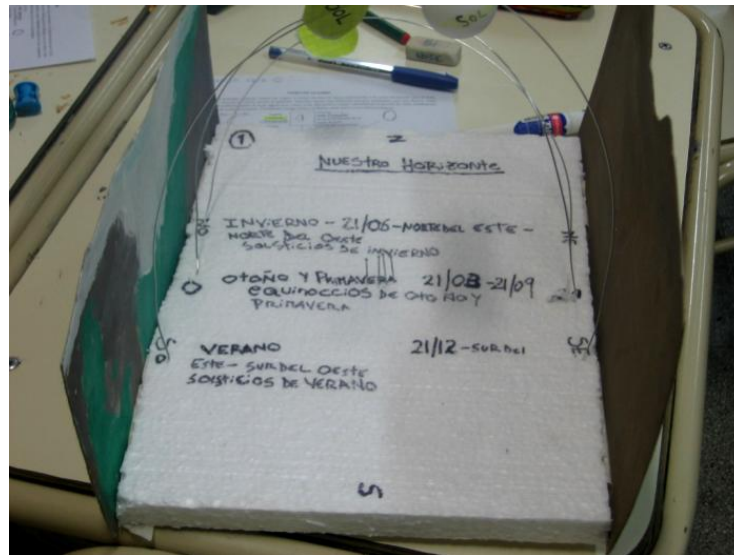
### **7.3.6. Situación 6: "Representación del movimiento anual del Sol en una maqueta y explicación de las estaciones del año"**

Las maquetas realizadas durante la actividad sobre el movimiento diario del Sol y el día y la noche fueron guardadas con el fin de utilizarlas en el futuro para poder explicar también las estaciones del año y las fases lunares. Por lo tanto, el docente organiza nuevamente los grupos y a cada uno se le entrega su maqueta con el fin de representar en ella cómo cambia la trayectoria del Sol a lo largo del año, tal como está solicitado en la **Situación 6**. Dado que la trayectoria representada anteriormente correspondía a los equinoccios (salida por el este y puesta por el oeste), se propone a los estudiantes que agreguen en la maqueta el recorrido del Sol correspondiente a los solsticios y que coloquen en ella carteles indicando las fechas del año respectivas. Para realizar la tarea, se reparte un texto informativo que sintetiza lo explicado por el docente, el cual describe el movimiento diario y anual del Sol y, a partir de dichos movimientos, explica el día y la noche y las estaciones del año (ver **Sección 10.8. del Anexo**). A su vez, a partir de la lectura los alumnos tienen que indicar en la maqueta la/s fecha/s correspondiente/s a cada recorrido, qué estación comienza en cada momento, el lugar por el que sale y se pone el Sol ese día y si es un solsticio o un equinoccio.



La **Figura 7-3** muestra dos maquetas realizadas por los alumnos para representar el movimiento diario del Sol en las fechas de comienzo de cada estación. Como ya se ha mencionado, este modelo permite explicar las estaciones del año en función de dos variables: la cantidad de horas de luz solar directa (mayor en verano) y la inclinación con la que inciden los rayos solares sobre la superficie del lugar (menor en verano).

**Figura 7-3:** Maquetas armadas por los alumnos que representan la trayectoria del Sol en solsticios y equinoccios.



Para finalizar la explicación del tema, en la siguiente clase el docente toma una maqueta y revisa en el frente, con la totalidad del grupo, la relación entre las distintas trayectorias del Sol y el fenómeno de las estaciones.

- (C<sub>8</sub>: 17) D: *Ahora, lo que tenemos que entender es que esto que está acá son las estaciones del año. La mayoría de ustedes, cuando empezamos, no sabían por qué ocurrían las estaciones o por qué a veces hacía frío y a veces calor. Esta maqueta es la explicación: el Sol a veces hace recorrido más bajo y a veces hace recorrido más alto. Cuando el Sol se está yendo al norte, como ahora, está más bajo al mediodía. Entonces, a mí, los rayos me llegan inclinados y, por lo tanto, yo siento más frío. Es lo mismo que con una linterna, si ustedes quieren iluminar este pizarrón, más vale que la pongan así derecha [perpendicular al pizarrón], porque si ponen la linterna torcida ilumina poco. Entonces, cuando los rayos están inclinados, llegan con menos intensidad. Además, en esta época está pocas horas arriba del horizonte. En cambio, en verano, el 21 de diciembre, el Sol va a estar bien alto, no arriba de mi cabeza, pero sí bien alto, y los rayos me llegan menos inclinados, por eso es verano, y el Sol está muchas horas arriba del horizonte. ¿Alguien puede explicar, rápidamente lo que dije, por qué es verano o invierno?*
- A: *Cuando el Sol se va hacia el norte, les da más Sol a ellos que a nosotros que nos da más frío, a los que estamos en el sur...*
- D: *Ojo. Pensemos sólo en nosotros en este momento y no en ellos, para que sea más claro. Como el Sol se va al norte, ¿qué pasa?*
- A: *Como los rayos son más inclinados nos da más frío.*
- D: *Claro, rayos inclinados a nosotros nos da más frío, rayos más derechos, eso no quiere decir que el Sol esté arriba de mi cabeza, es cerca, pero no arriba de mi cabeza... acá en El Bolsón nunca tenemos el Sol sobre nuestras cabezas. En algunos lugares del mundo sí, pero no acá. Casi en ningún lugar de Argentina.*

A su vez, se les informa a los estudiantes que en la siguiente clase realizarán una actividad individual escrita "de completamiento" (ver **Sección 6.5.6.**) con el fin de evaluar el grado de comprensión conceptual logrado por cada uno acerca de las estaciones.

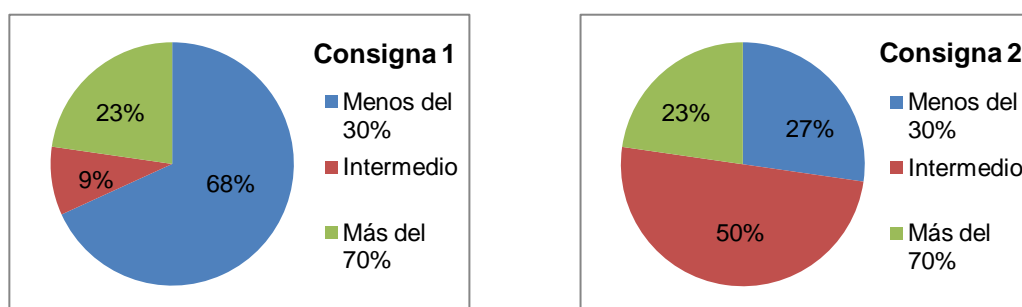
- (C<sub>8</sub>: 26) D: *La semana que viene cada uno en forma individual va a explicar estaciones para ver qué entendieron. Por eso les pido que lean la hoja que les di. Tienen que acordarse que las estaciones tienen que ver con que el Sol se va hacia el norte y el sur... Cuando está al norte es invierno porque los rayos llegan más inclinados y está poco tiempo por sobre el horizonte. Y es verano cuando viene al sur y lo vemos más cerca de la vertical y los rayos nos llegan más derechos.*

La corrección posterior de esta actividad por parte del docente muestra que muchos de los alumnos mantienen dificultades de comprensión del modo en que se relaciona la posición del Sol con las estaciones del año, aunque es posible que parte de estas dificultades guarden cierta relación con no haber realizado este tipo de propuestas anteriormente. En este sentido, llama la atención que muchos alumnos no logren resolver adecuadamente la consigna 1, la cual plantea dibujar cómo cambia el lugar de salida y puesta del Sol a lo largo del año, pese a ser una actividad realizada en el aula utilizando el programa Stellarium y luego representada de algún modo en la maqueta. Por su parte, la consigna 2 posee la dificultad de que los alumnos deben pensar cómo completar las frases del mismo modo en que lo hace el docente, utilizando un lenguaje muy distinto al que utilizan ellos en su vida cotidiana.

A partir de este análisis, se concluye la necesidad de continuar realizando actividades que permitan que los estudiantes puedan ir modificando paulatinamente sus invariantes operatorios en relación a las estaciones del año, orientando la construcción de nuevos esquemas "topocéntricos" acerca del fenómeno. A su vez, se manifiesta la necesidad de utilizar actividades de análisis de carácter más abierto, que permitan que los alumnos pongan en acto sus propias ideas en su propio lenguaje.

Pese a estas dificultades detectadas al resolver la actividad, puede notarse una evolución de las ideas de algunos de los estudiantes, quienes, tal como ya se ha analizado en la **Tabla 7-3**, no poseían previamente ningún modelo mental adecuado científicamente, y mucho menos topocéntrico, para explicar las estaciones del año. En este sentido, la actividad "de completamiento" llevada a cabo permitió identificar que 5 de los alumnos del curso (22,7%) han respondido adecuadamente a más del 70% de las 37 respuestas solicitadas como parte de las consignas 1 y 2. A su vez, si tenemos en cuenta sólo la segunda consigna, un 40,9% de los estudiantes logró indicar correctamente más del 60% de los 29 ítems planteados en ella. En contraposición, 15 alumnos (68,2%) no lograron responder adecuadamente más del 40% de lo solicitado en la consigna 1, mientras que esa cantidad disminuye a sólo 6 alumnos (27,3%) al resolver la consigna 2. Por lo tanto, es posible que haya habido dificultades de comprensión sobre lo solicitado al tener que resolver la consigna 1 y, al mismo tiempo, ciertas facilidades debido a la presencia de opciones al resolver la consigna 2. Estos porcentajes están reflejados en la **Figura 7-4**. Como puede verse, la consigna 2 muestra cierto avance conceptual de los alumnos en relación a sus conocimientos al inicio de la secuencia didáctica, donde el porcentaje de respuestas adecuadas era nulo.

**Figura 7-4:** Proporción de alumnos que responde adecuadamente la mayoría de los ítems (más del 70%), la minoría de ellos (menos del 30%) o porcentajes intermedios de cada consigna de la actividad "de completamiento".



Pese a las dificultades detectadas, el docente decide continuar con las actividades planificadas como parte de la ECPE acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos y retomar el tema de las estaciones del año antes del cierre de la secuencia didáctica. Esta decisión se fundamenta en la necesidad de brindar un cierto tiempo para que los estudiantes puedan continuar reflexionando y representando internamente toda la información presente en el abordaje del fenómeno de las estaciones: desplazamiento del Sol en el cielo, relación con la fecha, trayectoria, altura, horario de salida y puesta, inclinación de los rayos solares, etc. Por lo tanto, se decide continuar con la situación didáctica sobre el movimiento de la Luna a partir de la siguiente clase.

### 7.3.7. Situación 7: "Simulando el movimiento diario de la Luna mediante Stellarium"

Se reparte la actividad sobre movimiento diario de la Luna detallada en la **Sección 6.5.7.**, la cual intenta construir la idea de que el movimiento diario del Sol y la Luna se producen del mismo modo: ambos salen por el horizonte oriental y se ponen unas horas después por el horizonte occidental, ubicándose hacia el norte cuando se encuentran en la mitad de su recorrido diario. Para ello, en primer lugar se les propone a los estudiantes que respondan en forma individual la consigna a), en la cual deben indicar

cómo les parece que la Luna se desplaza en el cielo durante su salida y cómo lo hace cuando se pone. Posteriormente, estas ideas se sistematizan en el pizarrón, encontrándose que la mayoría de los estudiantes han elegido la opción C, que coincide con cómo efectivamente se mueve la Luna. Dado que en el caso del movimiento diario del Sol las respuestas habían sido mucho más diversas, antes de continuar el docente decide consultar por qué han elegido mayoritariamente la opción C, quedando en evidencia la utilización de conocimientos adquiridos en las clases anteriores. En este sentido, los alumnos remiten a lo aprendido respecto a cómo se desplaza el Sol, realizando una analogía entre dicho desplazamiento y el de la Luna.

D: *Pregunto, ¿alguien tiene alguna justificación? Porque puedo decir que es tal porque se me ocurre o decir por qué elijo esa opción.*

A: *Yo.*

D: *¿Cuál elegiste y por qué?*

A: *La C, porque si el Sol sube así [muestra con la mano y traza una línea ascendente de derecha a izquierda], la Luna también.*

A: *Para mí es que todo sube igual.*

D: *Bien. A ver, vos.*

A: *Yo también puse eso. Además si lees todo te vas a dar cuenta, porque en la conclusión dice...*

D: *Está bien, es una respuesta...porque abajo dice que sube de esta manera. No lo dice, pero bueno, uno lo puede deducir...*

A: *Yo digo que es porque todo lo del cielo va a hacer un mismo movimiento. Una estrella no va a ir así...*

A: *Yo. Porque muchas veces vi la Luna por allá.*

(C<sub>10</sub>; 8) D: *Viste por allá, ¿eso te da idea de cómo sube? ¿Por qué?*

A: *Sólo la vi por allá.*

D: *Está bien. La idea de esto es que, como ustedes ya vieron lo que le pasa al Sol, puedan ver si hay una regularidad en esto. Si lo que le pasa al Sol también le pasa a otros astros. Vamos a ir ahora con la puesta [de la Luna]. A ver...*

A: *Es la C.*

*[Los chicos van respondiendo, la mayoría elige la opción C, que es efectivamente el modo en que se mueve la Luna al ponerse]*

D: *A ver. Hay alguna razón para que la bajada... no quiere decir que tengan razón, porque en otros casos la mayoría no había tenido razón con lo del Sol. La mayoría había dicho otra subida y otra bajada de Sol, eso se notó cuando miramos el Stellarium. Ahora, lo que pregunto es, ¿se les ocurre por qué la mayoría puso C?*

A: *Porque muchas veces vemos bajar la Luna así. Además, vos el primer día cuando observamos el recorrido del Sol nos dijiste que el Sol no subía y bajaba por el mismo lugar [indica una subida y bajada vertical]. O sea, la opción es la misma.*

D: *Bien, ahí están mostrando que tienen conocimientos. Están tratando de sacar conclusiones a partir de lo que ya saben y está buenísimo que lo estén utilizando.*

Posteriormente, se propone realizar la consigna b), que consiste en utilizar nuevamente el programa Stellarium proyectado en el frente del aula para visualizar el ascenso y descenso de la Luna, eligiéndose para ello un día de Luna llena. Esta decisión tiene como fin no involucrar todavía el fenómeno de las fases lunares, siendo la Luna Llena una de las más conocidas y representativas para los alumnos, especialmente porque es la única que se observa totalmente de noche. Igualmente, el docente aclara que el movimiento que observarán en Luna Llena sucederá del mismo modo en las otras fases, aunque en distintos horarios.

Para comenzar, el docente utiliza el programa Stellarium para observar cómo asciende la Luna cuando está saliendo y, en función de esto, reflexiona acerca de la similitud entre el movimiento diario de la Luna y el del Sol. Como parte de la conversación, y como modo de dar a conocer que la misma fase lunar se repite aproximadamente cada un mes, el docente interroga a los estudiantes sobre si recuerdan la fecha de la última Luna llena. Esta pregunta guarda relación con algo no incluido dentro del presente análisis: en la Luna llena anterior, ocurrida el 15 de abril de 2014, tuvo lugar un eclipse total de Luna, el cual fue observado junto con todo el grupo de alumnos como una actividad adicional de la secuencia didáctica. Para ello fue necesario realizar una pernoctada en la escuela ya que el eclipse ocurrió entre las 3 y las 6 hs. Esta actividad no se encuentra incluida como parte de la ECPE ni del análisis de la misma ya que, pese a su relevancia, la misma fue planteada como una actividad extra y no como parte integrante del desarrollo conceptual de la temática, el cual se encontraba, en esa fecha, recién en sus inicios.

D: *Bien. Entonces vamos a verificar con el Stellarium si realmente es así. Es importante, después, poder observar esto en el cielo. Sé que está bastante nublado, pero es importante saber si esto que estamos pensando es así o no. Entonces, ahí tenemos la Luna [en el programa Stellarium]. Vamos a ir modificando la fecha para ver qué pasa. Ahora estamos observando una Luna llena, pero esto le pasa siempre a la Luna. Y recuerden también que hay Lunas que se observan de día y otras que se observan de noche. La Luna llena la vemos de noche. Es la única que funciona [se observa] sólo de noche.*

A: *¿Pero no se puede observar también de día?*

D: *La Luna llena no. Por la posición que tiene. Está opuesta al Sol. Después lo vamos a ver. Entonces, cuando se oculta el Sol, sale la Luna. Pero las otras Lunas que no están opuestas al Sol las ves de día o de noche. No sólo de noche como esta.*

A: *Pero algunas veces yo he visto que está como el Sol, en la Cordillera y se ve [la Luna] y también se ve el Sol.*

D: *No, debe estar clarito. Si es Luna llena no puede estar el Sol. Son opuestos. Cuando sale la Luna llena el Sol se pone o cuando el Sol se pone sale la Luna llena. Si no estuvieran opuestos, no sería Luna llena.*

(C<sub>10</sub>; 30) A: *Yo cuando era chiquita pensaba que la Luna estaba alumbrada porque el Sol estaba justo... detrás.*

D: *Ah, a veces uno se confunde. Cuando hay nubes uno puede confundirse el Sol con la Luna. Vieron que el Sol, atrás de las nubes se ve como un disco no tan brillante y uno se confunde y no sabe si es la Luna o el Sol. Pero si es de día ya sabemos que no puede ser la Luna llena porque la Luna llena no se ve durante el día. Bueno. Vamos a ver cómo sube. Vamos a un día de Luna llena, aunque en realidad podemos ver esto cualquier día. Pongamos 15 de mayo... ¿Se acuerdan cuando fue la última Luna llena?*

A: *Sí, cuando fue el eclipse.*

D: *Bien, los eclipses de Luna ocurren en Luna llena. ¿Qué día fue?*

A: *El 15 de abril.*

D: *Miren, más o menos cada un mes ocurre otra Luna llena. En realidad no es un mes justo, son 29 días y medio. Ahora sólo nos importa cómo sube. Miren, 8 de la noche, está saliendo por el [cerro] Piltri. ¿Sale justo por el este la Luna?*

A: *No.*

D: *No. Miren, sale del Piltri a la derecha, igual que le pasa al Sol. A las 21 hs, 22 hs, 23 hs... ¿Subió derecho?*

A: *No.*

D: *¿Qué opción era la correcta?*

A: La C.

D: Sí, pongan en el dibujito la C. Ahora saben cómo sube. Ya sabemos que la Luna sube inclinada, igual que el Sol. Para que tengan idea, todo el cielo sube así inclinado, porque tiene que ver con dónde estamos parados, como nosotros vivimos en el sur, vemos a todos los astros salir desde algún lugar del este y subir al norte, así. Ahora vamos a ver la puesta de la Luna... ¿A qué hora les parece que ocurre? Miren esto antes... [La Luna] Va haciendo lo mismo que el Sol, sale por allá [señala hacia el este con el brazo], sube inclinada así [indica hacia el norte], a la medianoche más o menos está hacia el norte [indica el norte] y luego va a ponerse allá [señala hacia el oeste con el brazo]. Igual que el Sol.

A: Cuando está en la mitad está hacia el norte.

D: Claro, perfecto, cuando está en la mitad de su recorrido está hacia el norte.

Durante toda esta explicación, el docente realiza movimientos con su brazo con el fin de representar en tres dimensiones cómo es el movimiento diario de la Luna en el cielo. Para ello, hace coincidir el modo en que mueve sus brazos con la orientación geográfica del aula (indicada mediante carteles colgados en las paredes). De este modo, el docente muestra que la Luna sube inclinada al salir por algún lugar del cerro Piltriquitrón (ubicado hacia el este), que se pone inclinada al ponerse por algún lugar de la Cordillera (ubicada hacia el oeste) y que al mediodía se posiciona hacia el norte (que coincide con la dirección correspondiente a los ventanales del aula).

En función de la similitud entre el movimiento del Sol y el de la Luna, los alumnos llegan a cuestionarse cuál de los dos astros se desplaza más rápido en el cielo. El docente aprovecha esta pregunta para mencionar la idea de que este movimiento diario no es propio de estos astros, sino que constituye parte del movimiento de todo el cielo.

A: ¿Qué se mueve más rápido, la Luna o el Sol?

D: Muy buena pregunta. ¿Qué les parece a ustedes?

A: La Luna [contestan dos alumnos a la vez]

A: El Sol.

D: A ver. Veo subir la Luna, a la mitad de su recorrido anda por ahí y luego baja por allá. Resulta que veo al Sol y hace lo mismo. ¿Cuál se mueve más rápido?

A: La Luna...

(C<sub>10</sub>; 49) A: El Sol.

A: Igual.

D: Lo que vamos a aprender, y todavía no sabemos bien, es que todo el cielo se mueve así, todo junto. No es una cuestión de la Luna o del Sol, sino que tiene que ver con nosotros, con la rotación de la Tierra. Desde nuestro punto de vista, nosotros no hablamos de eso, hablamos del movimiento de todo el cielo.

A: Pero entonces, profe, la Luna estaría siempre en la misma posición.

D: Después vamos a ver que la Luna tiene otro movimiento...

A continuación, la clase continúa con la observación del descenso de la Luna llena cuando se está poniendo por el horizonte occidental. Como esto ocurre en el horario de salida del Sol, durante la actividad algunos alumnos confunden el crepúsculo matutino con el comienzo del día, que recién comienza con la salida del Sol. Posteriormente, el docente visualiza en el programa, junto con los alumnos, que el recorrido diario de la Luna no cambia si la misma se encuentra en otra fase que no sea llena.

D: *Ahora, miren la bajada de la Luna. 6 de la mañana, 7 hs, 8 hs, 9 hs. Estamos mirando hacia el oeste. Está clarito pero todavía no salió el Sol. Estamos viendo la Luna [llena]. Miren. Está claro, baja como el Sol.*

A: *Pero, esa es Luna llena...*

D: *¿Cuál es el problema? Es Luna llena.*

A: *Está de día y vos dijiste que la Luna llena no se ve de día.*

D: *No es de día, está clarito, pero el Sol no salió aún. Acordate que es de día cuando sale el Sol. Que yo vea claridad no quiere decir que haya salido el Sol y haya empezado el día. Ese momento se llama crepúsculo, es el momento antes de la salida, cuando se ve claridad. ¿Qué opción es entonces?*

A: *Es la C.*

(C<sub>10</sub>; 61) D: *Marquen en el dibujo. Veamos si otro día pasa lo mismo: 20 de mayo. Miren, ¿recuerdan que les dije que veíamos subir la Luna y que no importaba la forma que tuviera? Miren la de unos días después, ¿saben cómo se llama? Cuando se ve por la mitad se llama cuarto. Después de la Luna llena, unos 7 días después viene el cuarto menguante, porque está llena y después se empieza a ver cada vez más chica.*

D: *Busquemos la Luna. 8 hs, 9 hs, 10 hs... Esta Luna está de día. La menguante, está de mañana, a las doce del mediodía se está poniendo. El Sol en ese momento está hacia el norte. La Luna baja también torcida. Ahora completen los puntos C y D, y además la conclusión a partir de lo que vimos. Antes de seguir con el otro trabajo, guarden esto en la carpeta...*

D: *Ahora sabemos que la opción C es la de la salida. La bajada también es la opción C. Vimos que otro día también salió y se puso de la misma forma. En la mitad de su recorrido siempre se encuentra hacia el...*

A: *Norte.*

Una vez finalizada la visualización del movimiento diario de la Luna con el Stellarium, se les propone a los estudiantes completar individualmente la conclusión de la actividad. Mientras tanto, el docente pasa por los bancos para colaborar en la resolución y, al mismo tiempo, verificar que las respuestas dadas por los estudiantes coincidan con lo desarrollado en la clase.

### **7.3.8. Situación 8: "Simulando el movimiento propio de la Luna mediante Stellarium"**

Se reparte la actividad presente en la **Sección 6.5.8.**, en la cual se propone analizar cómo cambia la posición de la Luna en el cielo de un día al otro cuando se la observa siempre a la misma hora. Esta condición de mantener el horario tiene como propósito poder dejar de lado el movimiento diario de la Luna, el cual provoca que su posición cambie constantemente. Por lo tanto, al no modificar la hora, y al ser muy rápido su movimiento hacia el este, será sencillo lograr visualizar y registrar dicho desplazamiento (ver **Figura 10-10**).

En primer lugar, se les pregunta a los estudiantes si ellos saben a qué se debe que la Luna se vea de distintas formas. El docente espera obtener como respuesta la idea más común detectada en muchas investigaciones anteriores: que las fases se deben a que la Tierra se interpone entre el Sol y la Luna y que, en consecuencia, no permite que la luz del Sol llegue a una parte de ella. Sin embargo, algunos alumnos manifiestan una idea alternativa interesante y no registrada en la investigación bibliográfica previa: que la

parte que se ve de la Luna tiene relación con dónde se ubica la Tierra ya que la luz le llega por rebote de la radiación solar en nuestro planeta. Esta última idea resultó tan novedosa para el docente que le llevó un cierto tiempo de diálogo llegar a comprenderla.

D: *Ahora vamos a ver por qué cambia de forma la Luna. ¿Alguien lo sabe?*

A: *Sí. Porque la luz del Sol... digo, porque la Tierra le hace una sombra. De la luz que tira [el Sol], la Tierra le hace una sombra y sólo le llega una parte de luz.*

D: *¿Alguien tiene otra idea?*

A: *Yo. Porque el Sol, cuando está detrás de la Tierra, la parte que no llega a reflejar de la Tierra, refleja la Luna. Es como si el Sol está de un lado y la Luna está del otro lado de la Tierra y el Sol refleja la Tierra, pero cuando puede reflejar más al costado, refleja una parte de la Luna.*

D: *Como si la Tierra tapara una parte de la luz que le llega a la Luna... [el docente no interpreta bien la idea del alumno]*

A: *Sí.*

D: *Es parecido a esto entonces. Como que la Tierra no deja llegar algo de luz a la Luna. Algo así.*

A: *La Luna no tiene luz, le da luz el Sol con los rayos. Cambia, porque el Sol no está siempre en el mismo lugar para darle todos los rayos directo y que quede llena. No está en el mismo lugar para que esté siempre llena. O sea, el Sol se mueve y la Luna también se mueve. Como decían los chicos, el Sol tira los rayos que rebotan en la Tierra para darle luz a la Luna, pero sólo una parte de los rayos, porque si acá está la Tierra, acá el Sol y la Luna, le va a llegar sólo un cuarto menguante.*

D: *¿La Tierra estaría tapando una parte de la luz que está llegando? [El docente continúa sin interpretar bien la idea]*

A: *La faltaría una parte de la luz.*

D: *¿Tapa o no tapa la Tierra?*

(C<sub>10</sub>; 79) A: *No.*

D: *Lo que estás diciendo vos es que la luz del Sol llega a la Tierra y de ahí rebota hacia la Luna. ¿Eso sería?*

A: *¡Claro!*

D: *Dependiendo de la posición de la Luna y de la Tierra, ¿sería así?*

A: *Eso entendí más o menos cuando me explicaron.*

D: *¿Alguien más se anima a decir por qué cambia la Luna de forma? Otros pueden decir sus ideas también, este es el momento. No estamos viendo si están bien o no ahora, pueden decir lo que se les ocurre.*

A: *Yo pienso que es porque la Luna se refleja en la Tierra, dándole sólo un pequeño rayo de luz a la Luna.*

D: *Vos decís que la luz llega a la Tierra, rebota y sólo le da una partecita a la Luna. Es otra idea, es del rebote de la luz en la Tierra.*

A: *Me interesó la idea de él. Cuando no se ve redonda...*

D: *Está bien, estás de acuerdo con que rebota. Bien, son dos ideas, se las resumo. No digo que una esté bien y otra mal. Lo que digo es que son diferentes. Está bueno tenerlas en cuenta para trabajar y ver si uno puede entenderlas. ¿Saben cuál es la forma de saber si están bien o no? Mirando el cielo. Eso es lo que hicieron los astrónomos, lo testeó mirando al cielo para ver si lo que pienso está bien. A ver si todos entendemos la idea de sombra. Agarro el Sol que da luz... ¿todos tenemos en claro que el Sol es la única fuente de luz del Sistema Solar? Cualquiera cosa que esté cercana a la Tierra, en la zona, tiene que estar iluminada por el Sol, no hay otra cosa que le pueda dar luz. No hay otra linterna que no sea el Sol.*

A: *El Sol es una estrella.*



D: *El Sol es una estrella porque tiene luz propia. La Luna, la Tierra y los demás planetas que están cerca, no las otras estrellas, esas están muy lejos, las de la noche tienen luz propia pero están muy lejos, todos los demás cuerpos no tienen luz. A todo lo que está cerca el Sol lo ilumina. Lo que dicen acá es que para entender que la Luna se vea diferente es: tengo el Sol que da la luz, a la Luna la veo así [por la mitad], la explicación que dan algunos es que la parte que no veo es porque la Tierra se pone acá adelante y tapó la luz. Algunos dicen eso. Otros, tienen la idea de rebote. Es que la Tierra está por algún lado, la luz del Sol le da a la Tierra, rebota e ilumina esta parte de la Luna. Es otra idea.*

Como ya se ha realizado anteriormente, se le pregunta a los alumnos sobre cómo se imaginan ellos que va a cambiar la posición de la Luna de un día al otro. Para ello se coloca el programa Stellarium en la fecha 1 de mayo de 2014 a las 20 hs observando en dirección noroeste y se observa la pantalla, donde estará la Luna muy pequeña. A continuación se los interroga acerca de dónde creen que estará la Luna al día siguiente a la misma hora.

D: *Al otro día a la misma hora, [la Luna] ¿va a estar en el mismo lugar?*

A: *No.*

D: *¿Cómo se imaginan que se mueve al día siguiente? [Se muestra la Luna muy baja hacia el noroeste]*

A: *Para allá. [Indica hacia arriba y a la izquierda]*

D: *¿Acá? Más o menos... [Muestra en la pantalla dónde dice el alumno que estaría al día siguiente]*

A: *Para mí no se mueve tanto...*

D: *No importa mucho cuánto, yo quiero saber para qué lado se mueve. ¿Para la izquierda?*

A: *Sí.*

D: *Allá, ¿qué piensan? No lo sabemos, después vamos a ver...*

(C<sub>10</sub>; 111) A: *Para allá. [Indica hacia la derecha]*

D: *Él dice para la derecha. ¿Te parece que a la misma altura?*

A: *Para allá. [Indica hacia arriba y a la derecha]*

D: *Eso es lo que piensa él.*

L: *¿Alguno dice que se queda quieta?*

A: *No.*

A: *Para mí más arriba y para la derecha.*

D: *¿Vos qué pensás? Se mueve más para acá o para allá... [¿A la derecha o a la izquierda?]*

A: *Para mí a la derecha, arriba.*

A: *Para mí en el mismo lugar.*

D: *Ven que hay tanta variedad de respuestas que quiere decir que parece que no tenemos idea de qué es lo que va a pasar mañana con la Luna si miramos a la misma hora. Está bueno para ver si pasa esto o no.*

Una vez sistematizadas las anticipaciones de los estudiantes, el docente adelanta la fecha sin cambiar la hora con el fin de analizar cómo se desplaza la Luna en el cielo a partir de visualizar los cambios de posición en el programa Stellarium.

D: Ahí va... [El docente cambia de fecha. Algunos alumnos celebran haber acertado con el modo en que se desplaza la Luna]  
[El docente se acerca a un alumno que lo llama para decirle algo]  
D: Acá me acaban de hacer una observación muy buena. La estrella que estaba debajo de la Luna sigue en el mismo lugar y la Luna se corrió un montón, hacia arriba y a la derecha. Veamos qué pasaría al día siguiente. ¿Hacia dónde se mueve la Luna?  
A: Un poco más arriba para acá. [Indica arriba y la derecha]  
A: Así. [Indica con el brazo hacia arriba y a la derecha]  
D: A ver. Cambio de fecha. Estaba acá, ahora está acá. [Se mueve hacia arriba y a la derecha. Algunos alumnos festejan nuevamente]  
D: ¿Además de cambiar de posición hay otro cambio?  
A: Sí. Se empezó a ver más.  
D: Vamos para atrás a verlo de vuelta. 1 de mayo. Miren que chiquita ahí. 2 de mayo... 3 de mayo, 4 de mayo, 5 de mayo...  
(C<sub>10</sub>; 132) A: Sube...  
D: Sí, pero además fíjense que se ve mucho más, la parte iluminada es mucho mayor.  
A: Cuando va subiendo se va agrandando...  
A: Se va iluminando más...  
D: ¡Exactamente! Fíjense que esto que le pasa a la Luna, que no le pasa a las estrellas... Las otras estrellas quedan en el mismo lugar, ¿sí?  
A: Porque están más lejos...  
D: No importa mucho por qué, porque lo que quiero ahora es describir lo que pasa... Lo que vemos es que esta subida así inclinada [de la Luna] de un día al otro provoca, de alguna manera, que cambie la forma de la Luna.  
D: Quiero que antes de irnos, en la hoja que les repartí, hagan este recorrido para no olvidarnos. Dibujen la Luna los días siguientes al 1 de mayo, que es la Luna que ya tienen dibujada en la hoja. [Deben tener en cuenta el cambio de posición y de forma observado en el Stellarium]

En la **Figura 7-5** se presenta cómo se visualiza el cambio de posición de la Luna en la pantalla del programa. Luego de adelantar la fecha, los alumnos realizan la consigna 1 de la actividad, en la que deben dibujar dónde se encuentra la Luna cada día que pasa y colocar la nueva fecha de observación. Para ello el docente los guía respecto a cómo dibujar cada Luna, teniendo en cuenta que, tal como se va viendo en la pantalla del programa, la Luna debe ubicarse al día siguiente más arriba y a la derecha, con su lado izquierdo iluminado y un poco más grande.

Finalmente, el docente conversa con los alumnos para sintetizar todo lo observado: que este movimiento "propio" de la Luna se produce siempre hacia el este, que cada día se ve una porción mayor de la Luna y que esta fracción iluminada se encuentra del lado izquierdo. A su vez, se detalla que este movimiento propio produce que la Luna salga cada día más tarde. Toda esta descripción permite caracterizar la fase creciente de la Luna, desde la Luna nueva a la llena, y proponer a los estudiantes que completen las conclusiones correspondientes a la consigna 1. Para tener una idea respecto a su resolución, la **Figura 7-6** muestra el trabajo llevado a cabo por uno de los estudiantes.

**Figura 7-5:** Movimiento propio de la Luna. Cambio de posición de la Luna en el cielo tres noches a la misma hora. Para notar el cambio, se adelantó la fecha de a dos días.



1/5/2014 - 20 hs  
Mirando hacia el noroeste



3/5/2014 - 20 hs  
Mirando hacia el noroeste



5/5/2014 - 20 hs  
Mirando hacia el noroeste

**Figura 7-6:** Resolución de la consigna 1 sobre el movimiento propio de la Luna y la fase creciente realizada por un alumno del curso (A<sub>23</sub>).

**MOVIMIENTO PROPIO DE LA LUNA EN EL CIELO. FASES LUNARES**

1. Cambios en la posición de la Luna de una noche a otra a la misma hora (20 hs): del 2 al 6 de mayo.

Mirando al OESTE (la cordillera)

**Conclusión:** de una noche a la otra a la misma hora, la Luna se mueve hacia ARRIBA / ABAJO (se va corriendo hacia el OESTE / ESTE). Eso hace que se vea cada día más CHICA / GRAND con su lado DERECHO / IZQUIERDO iluminado. Unos días después, la Luna se movió tanto que se ve así: (cuarto creciente). Y una semana después del cuarto creciente, la Luna se ve así: (Luna llena). Esto hace que la Luna salga cada día más TEMPRANO / TARDE.

Luego de observar el desplazamiento propio de la Luna durante toda la fase creciente, el docente propone realizar la consigna 2, en la que se debe observar cómo se desplaza nuestro satélite los días siguientes a la Luna llena, manteniendo constante la hora. Debido al cambio de posición de la Luna en el cielo, para su observación será indispensable un cambio de horario, por lo cual la actividad plantea posicionarse mirando hacia el oeste y comenzar a registrar la posición de la Luna el día 16 de mayo de 2014 a las 9 hs. Al igual que en las clases anteriores, el docente les propone a los estudiantes, que indiquen dónde estará la Luna al día siguiente antes de visualizarlo en el programa Stellarium.

D: Vamos a hacer la segunda parte de la observación con el Stellarium. Miren acá. Vamos a hacer la Luna de mañana, a las 9 de la mañana... Cambio de día, voy al 16 de mayo, 9 de la mañana, mirando hacia el oeste. Tienen que hacer lo mismo que el otro día, dos días a la misma hora, hay que dibujar esta Luna y ver si se mueve para arriba, para abajo...

A: Ya está dibujada.

D: Esa ya está, tienen razón, no la dibujen. Esa es Luna llena. Miramos para allá [hacia el oeste] en este día, 16 de mayo, y está la Luna llena poniéndose a las 9 de la mañana. Pregunta, ¿al día siguiente estará en el mismo lugar o se corre?

A: Se corre.

D: Bien, ya sabemos que la Luna se corre de un día al otro. ¿Para dónde?

A: Para allá.

D: ¿Derecha o izquierda? ¿Arriba, abajo?

A: En diagonal para arriba y a la derecha.

(C<sub>11</sub>; 61) D: Él dice así... [Dibuja flecha hacia arriba y a la derecha en el pizarrón]

A: Yo digo que se va a correr para arriba...

A: Yo también...

A: Lo mismo...

A: Todos opinamos eso...

A: No, yo digo que para abajo.

D: Bien, levanten la mano los que opinan que se va a mover así, en diagonal hacia arriba. Son 12.

A: Yo digo que es para abajo.

D: ¿Para abajo hacia dónde?

A: Así.

D: Bien, ¿Quién opina así?

A: Yo pienso que va a bajar porque desde la Luna llena se van corriendo las fases.

D: Vale opinar diferente... No hay problema.

A continuación se adelanta la fecha sin cambiar la hora con el fin de observar cómo se desplaza la Luna en el cielo cuando se la observa de mañana.

D: Bien, lo hacemos ahora en el programa para ver cómo se mueve.

[Se adelanta un día la fecha. Gritos y festejos de los alumnos que pensaban que se movía en diagonal hacia arriba]

(C<sub>11</sub>; 83) A: Pero seguí, capaz que baje...

D: Bueno, el día siguiente, ¿para dónde creen que va?

A: Igual...

A: Más arriba, más arriba...

A: El mismo lugar, más arriba...

A: Va a seguir más arriba...

D: Bueno, vamos para el 18, 19... ¿Ven que sigue igual?... Bueno, entonces miren. Tenemos que hacer este dibujo, de la Luna llena que tienen hay que dibujar otras dos de los días siguientes. Pero, ¿tienen que tener la misma forma?

A: No, cada vez más chica.

D: Miren en el programa. El 18 de mayo ya está casi por la mitad, ¿qué lado tiene iluminado?

A: Lado izquierdo...

A: Derecho...

D: Lado derecho... La van dibujando así en el recuadro, ponen la fecha y que se note que se va haciendo más chica. Va subiendo, de mañana y se va haciendo más pequeña. En el otro, de noche, voy viendo cómo sube y se hace más grande y de mañana es lo contrario. Completen la conclusión.

En la **Figura 7-7** se presenta cómo se visualiza el cambio de posición de la Luna utilizando el programa Stellarium.

**Figura 7-7:** Movimiento propio de la Luna. Cambio de posición de la Luna en el cielo tres mañanas seguidas a la misma hora.



16/5/2014 - 9 hs  
Mirando hacia el oeste



17/5/2014 - 9 hs  
Mirando hacia el oeste

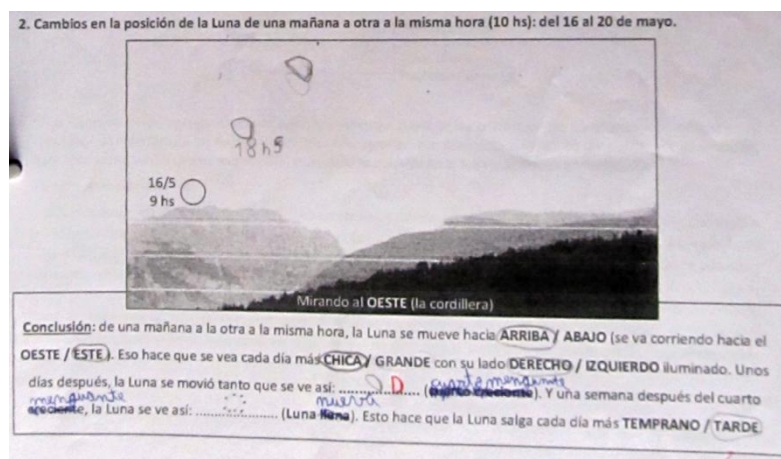


18/5/2014 - 9 hs  
Mirando hacia el oeste

---

Al igual que con la fase creciente, el docente conversa con los alumnos para sintetizar todo lo observado: que el movimiento "propio" de la Luna se produce hacia el este, que cada día se ve una porción menor de la Luna y que esta fracción iluminada se encuentra del lado derecho. Esta nueva descripción permite caracterizar la fase menguante de la Luna, desde la Luna llena a la nueva, y proponer a los estudiantes que completen las conclusiones correspondientes a la consigna 2. En la **Figura 7-8** se presenta como ejemplo el trabajo sobre la fase menguante correspondiente a uno de los alumnos.

**Figura 7-8:** La consigna 2 sobre el movimiento propio de la Luna y la fase menguante resuelta por uno de los alumnos del curso (A<sub>23</sub>).



Las conclusiones son luego sistematizadas y corregidas por el docente con todo el grupo de clase, de modo tal de poder analizar la evolución de las ideas de los estudiantes y escribir en el pizarrón la síntesis de las características de cada fase.

D: Yo miro al oeste, veo una Luna acá, una acá, una acá, ese avance es, ¿hacia el este o hacia el oeste?

A: Hacia el este...

A: Al este.

D: Bien. Vemos un corrimiento hacia el este. Esto hace que se vea cada día, ¿más chica o más grande?

A: Más grande...

A: No, más chica...

A: Más chica.

(C<sub>12</sub>; 12) D: Miren lo que dibujaron en sus hojas.

A: Más grande...

A: Más grande...

D: O sea, yo la veo ponerse a las ocho cerca del Sol y, cada día que pasa se va alejando [angularmente] del Sol... Se va viendo más su parte iluminada, entonces la veo más grande. ¿De qué lado está iluminada?...

A: Izquierdo...

A: Izquierdo...

D: Izquierdo, bien. Esa Luna es creciente. Se va agrandando y tiene el lado izquierdo iluminado. Fíjense que parece una C, de creciente. Unos días después, la Luna se movió tanto que ahora se ve así, con el lado izquierdo iluminado y la mitad

*de la Luna visible. Eso se llama cuarto creciente, y este es el dibujo, la Luna por la mitad. Y una semana después la Luna se ve así...*

*A: Llena...*

*A: Llena.*

*D: Muy bien. Acá en el pizarrón está la síntesis de la Luna creciente, la vemos a las 20 horas, a la tarde - noche, cada día que pasa se hace más grande, porque se va corriendo de posición, por eso la vemos más grande. Si estuviera siempre en el mismo lugar la veríamos siempre igual. Si la vemos diferente cada día es porque cambió de posición.*

Durante la sistematización, el docente aprovecha para mencionar y explicar la frase "la Luna no miente", la cual permite identificar si la Luna que se está observando es creciente o menguante (para el hemisferio sur).

*D: Hay una regla que dice: "la Luna no miente". Veamos, ¿qué lado tiene iluminado una letra C?*

*A: El lado izquierdo.*

(C<sub>12</sub>; 31)

*D: Sí. Lo que tengo iluminado si dibujo una C es el lado izquierdo... Cada vez que tengan la [Luna con forma de] C o lado izquierdo iluminado recuerden que la Luna está en creciente. Siempre esta fase se ve al anochecer. Si la ven de mañana, la Luna no está creciendo. Esta Luna es de noche temprano, fíjense que al final la Luna termina del otro lado [hacia el oeste] y está en llena. Empieza ahí a crecer al anochecer, el Sol está por ahí [hacia el oeste]. A medida que se va alejando [angularmente] del Sol, va creciendo. Cuando están a 90° veo la fase creciente y cuando llegan a estar opuestos estoy viendo una Luna llena. Falta una cosa de la consigna... ¿Esto hace que la Luna salga cada día más temprano o más tarde?*

*A: Más tarde.*

*D: Eso. No está en el dibujo, pero lo que les quiero contar es que la Luna se va corriendo, cada día sale más tarde.*

El docente también aprovecha para discutir la diferencia entre el movimiento diario de la Luna hacia el oeste, estudiado anteriormente, con su movimiento propio hacia el este, el cual les propone observar en el cielo en los siguientes días si es que el estado del tiempo lo permite.

(C<sub>12</sub>; 35)

*D: Una cosa importante: como ya vimos, hay dos movimientos de la Luna. Hablamos de un movimiento de todo el cielo de ahí para allá [del horizonte oriental al occidental]... el Sol sale por algún lugar hacia el este y hace su camino diario para ponerse por algún lugar hacia el oeste... La Luna también hace lo mismo y cualquier estrella a la noche va a hacer lo mismo: si sale por el Piltri [el cerro Piltriquitrón], unas horas después se va a poner por la Cordillera, todo el cielo se mueve para allá [el horizonte occidental]. La Luna, además, tiene un movimiento hacia el otro lado. Ese movimiento se nota de un día al otro. No se va a notar en la misma noche, por eso ustedes tienen la tarea de observar la Luna. Dibujarla tal cual la ven. Lo importante es ver cómo cambia de posición. No dejen pasar mucho entre las observaciones porque la Luna se corre mucho.*

Una vez discutida y analizada la fase creciente, el docente realiza lo mismo con la fase menguante, recalcando que la Luna continúa moviéndose hacia el este y saliendo, en consecuencia, más tarde cada día que pasa.

D: *Vamos a la parte menguante, el punto dos. Cambio de la posición de la Luna de una mañana a otra a las diez horas. Conclusión, ¿hacia dónde se mueve?*

A: *Hacia arriba...*

A: *No, hacia abajo.*

D: *Miren en sus hojas... De una mañana a la otra, ¿hacia arriba o hacia abajo?*

A: *Arriba.*

D: *¿Todos estamos de acuerdo?*

A: *Sí.*

D: *¿Se corre hacia el este o el oeste? Estamos mirando de nuevo al oeste, entonces el movimiento se repite. Piensen que si ustedes cambian sería como que la Luna frene y vaya para el otro lado. De un día al otro siempre va para este lado. No puede ir y volver, siempre va para el mismo lado. Hace este movimiento [muestra con el brazo el movimiento propio hacia el este de la Luna]... hoy está acá, pasado acá, eso hace que sea ese movimiento hacia el este. Teníamos hacia arriba, hacia el este, eso hace que se vea cada día, ¿más grande o más chica?*

A: *Más chica.*

D: *Bien. Más chica en esta fase. ¿Con su lado izquierdo o derecho iluminado?*

(C<sub>12</sub>; 44) A: *Derecho.*

D: *Muy bien. Unos días después la Luna se movió tanto que se ve así... Está en...*

A: *Menguante.*

D: *Es cuarto menguante...*

A: *¿Cuándo se hace más chica también es cuarto menguante?*

D: *Menguante quiere decir que se hace más chica. Y eso se ve con el lado derecho iluminado. Y una semana después del cuarto menguante, la Luna se ve así...*

A: *No se ve...*

D: *Claro. Se puede dibujar una línea punteada para representarla. En realidad no la veo, no tengo que pintar nada, o poner no se ve. Esto hace que salga, ¿cada día más temprano o más tarde?*

A: *Más tarde...*

A: *Más temprano...*

A: *Más temprano...*

D: *¿Están de acuerdo que es más temprano?*

A: *Sí.*

D: *En realidad no. Como se mueve siempre hacia el este, pasa lo mismo que con la Luna creciente: sale más tarde al día siguiente.*

Para finalizar esta parte de la clase, el docente dibuja la Luna en distintas fases en el pizarrón y propone que individualmente los alumnos tengan que decidir si cada una de ellas corresponde a la fase creciente o menguante y por qué. Esta actividad no planificada previamente resultó de importancia ya que mostró que varios estudiantes no habían podido comprender cómo puede reconocerse la fase lunar a partir de observar qué lado tiene iluminado la Luna ni en qué horario es visible en cada fase. En este sentido, el docente selecciona estudiantes de escasa participación en las clases con el fin de poder evaluar su desempeño y su grado de comprensión conceptual sobre las fases de la Luna.

A: *Yo digo [que esa Luna dibujada en el pizarrón es] creciente.*

(C<sub>12</sub>; 71) D: *¿Cómo te das cuenta que es creciente? ¿No sabés?... ¿Y vos?... Los que levantan la mano ya sé que saben. Dejemos a otros chicos. ¿Allá?...*



A: *Creciente, porque le falta la mitad.*

D: *A esta otra Luna también le falta la mitad. Más que decir lo que le falta, te conviene decir qué lado tiene iluminado...*

A: *Lo que tiene iluminado es el lado izquierdo. Es creciente.*

D: *Bien, lo que hay que hacer es mirar el lado iluminado. Vamos con otro dibujo...*

A: *Es creciente porque está iluminado un lado que es el izquierdo.*

D: *Bien. No es cuarto porque para que sea cuarto tiene que estar por la mitad, esta es sólo creciente. A ver, la siguiente, ¿qué Luna es?*

A: *Menguante.*

D: *¿Tiene un nombre especial esa Luna menguante?*

A: *Cuarto... Cuarto menguante.*

D: *¿Por qué?*

A: *Porque es la mitad.*

D: *Bien. Vamos con otra...*

A: *Menguante, porque está el lado derecho iluminado.*

D: *Vamos con otro desafío ahora. ¿Esta Luna la veo de mañana o de noche temprano?*

A: *De noche, porque a veces se ve de noche o de día.*

D: *¿Por qué decidiste que esta Luna la ves de noche?*

A: *No sé.*

D: *¿Alguien sabe?*

A: *De noche.*

D: *¿Por qué? Miro el dibujo y sé que es de noche. Cuarto creciente se vio a la noche, todo lo que está creciente es a la noche.*

A: *Porque está creciendo para ser Luna llena...*

D: *Bien. La fase creciente se ve de noche temprano y la menguante de mañana o antes del amanecer. Los próximos días vamos a empezar a ver la Luna en el cielo de mañana, porque hay Luna llena ahora y los próximos días son todos de mañana.*

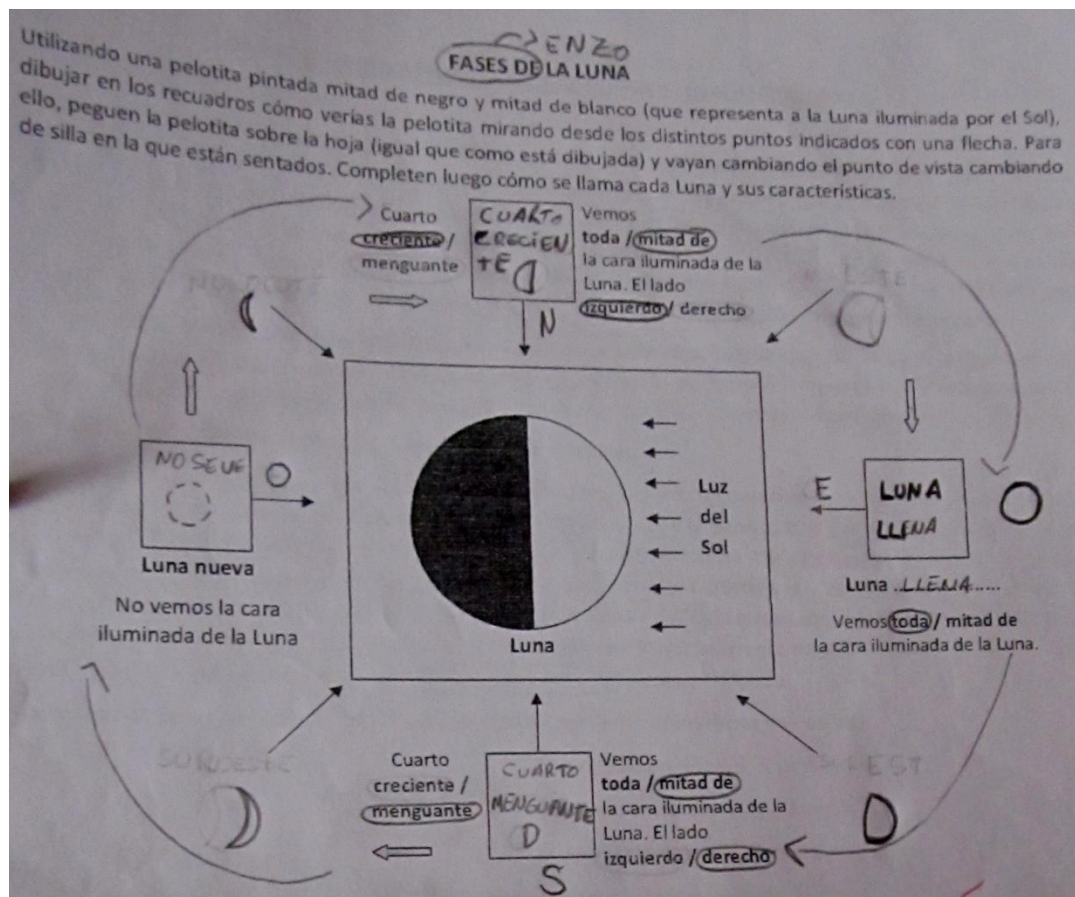
Como puede verse, algunos alumnos no logran relacionar todavía la fase de la Luna con su lado iluminado ni con su horario de observación. En consecuencia, esto continuará siendo desarrollado en las siguientes clases.

### **7.3.9. Situación 9: "Representación del movimiento propio de la Luna y explicación de las fases lunares"**

Luego de caracterizar cada fase, la actividad presente en la **Sección 6.5.9.** tiene como fin que los estudiantes analicen por qué el cambio de posición de la Luna provoca que la misma se vea de forma distinta cada día. En este sentido, en la consigna 1 se propone que los alumnos dibujen cómo se ve una esfera mitad blanca y mitad negra cuando se la observa desde distintos ángulos. Para ello se deben juntar en grupos, fijar la esfera en el centro de una mesa e ir girando alrededor para dibujar cómo la van viendo desde las distintas direcciones indicadas en la hoja de actividades (de "frente", de "atrás", de "costado", en "diagonal"). Esto permite comenzar a construir la idea de que las fases lunares constituye un fenómeno de perspectiva, el cual tiene relación con "desde dónde" se está observando un cuerpo como la Luna, que siempre tiene una mitad iluminada y la otra prácticamente oscura.

Durante el desarrollo de esta actividad, el docente pasa por los grupos y colabora en su resolución, especialmente para ayudar a los alumnos a lograr representar cómo se observa la esfera desde las posiciones "en diagonal". La **Figura 7-9** muestra el modo de resolución de la actividad por parte de uno de los estudiantes.

**Figura 7-9:** Resolución de la **Situación 9** por parte de un alumno del curso (A<sub>7</sub>).



Una vez finalizada la consigna 1, se propone a los alumnos completar las consignas 2 y 3, para lo cual deben utilizar lo registrado en la actividad anterior. La **Figura 7-10** muestra el modo de resolución de la consigna 2 por parte de uno de los alumnos.

**Figura 7-10:** Resolución de la consigna 2 llevada a cabo por un alumno del curso (A<sub>18</sub>).

A medida que pasan los días, la Luna cambia / no cambia su posición en el cielo. A la misma hora, cada día que pasa la vemos más corrida hacia el Este / Oeste. Pese a que el Sol siempre ilumina toda / una mitad de la Luna, siempre / así siempre / casi nunca podemos ver toda la mitad iluminada por el Sol. Si la Luna se ubica en dirección al Sol, podemos / no podemos ver la cara iluminada por el Sol y, en consecuencia, estamos en Luna nueva / llena. En cambio, si la Luna se ubica en la dirección opuesta al Sol, podemos / no podemos ver toda la cara iluminada por el Sol y, en consecuencia, estamos en una nueva / llena. Por otro lado, si la Luna se encuentra hacia el norte justo cuando el Sol se está poniendo, vemos iluminado su lado derecho / izquierdo. Se dice que la Luna está en cuarto creciente / menguante. Cuando la Luna crece, siempre tiene iluminado su lado derecho / izquierdo y se la ve de tarde / noche. En cambio, cuando está menguando, se ve iluminado su lado derecho / izquierdo durante la madrugada o la mañana.

A continuación, el docente propone sistematizar lo realizado a partir de la corrección de la consigna 1 en el frente. Para ello, el docente dibuja el esquema de la consigna 1 en el pizarrón y lo va completando junto con los alumnos mientras coloca la esfera fija y la va observando desde distintos ángulos (ver **Figura 7-11**).

D: Si me voy en una nave al espacio la Luna siempre está así: mitad iluminada y mitad no. Ahora, les pregunto, si él está ahí parado [un alumno ubicado de frente a la parte blanca de la pelota], ¿qué Luna ve?

A: Una Luna llena.

D: Bien... Otras personas que viven en otro lado [de frente a la parte oscura de la pelota], ¿qué verían?

A: Nueva.

Sí. No la pueden ver, porque el Sol está acá y ellos tienen de su lado la parte que no está iluminada.

A: Y nosotros vemos un cuarto creciente. [Los alumnos quedan de costado respecto a las zonas blancas y negras]

D: Bien. ¿Qué lado iluminado?

(C<sub>12</sub>; 127) A: El izquierdo.

D: Y yo, ¿qué Luna estoy viendo?

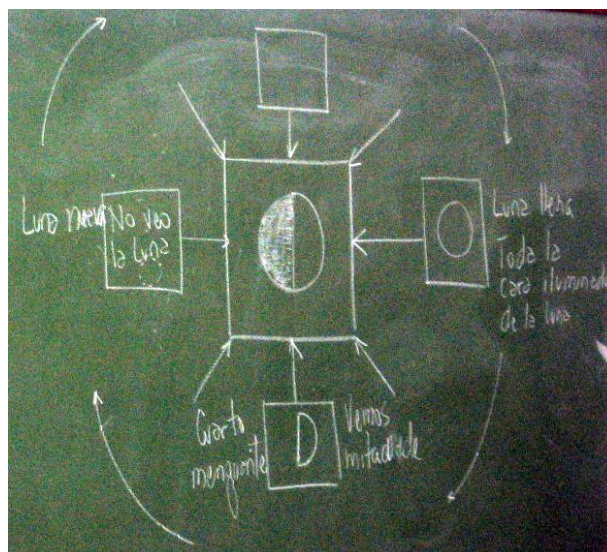
A: Menguante. El lado derecho iluminado.

D: Eso quiere decir que la fase depende de cómo esté yo posicionado con respecto a la Luna. Pero la Luna siempre está iluminada igual. Ahora quiero hacer esto, vos, desde tu posición, ¿ves algo de la Luna?

A: Un poquito. [Responde un alumno ubicado en una posición intermedia entre estar "de espalda" y "de costado" a la Luna]

D: Un poquito de la parte blanca, chiquito, una parte pequeña. Estas viendo una Luna como esta... Cuando es cuarto creciente lo que está pasando es que la Luna siempre está iluminada por la mitad pero yo quedo en una posición respecto a la Luna, que hace que sólo vea una parte y no todo. Tiene que ver con cómo lo vemos nosotros. La Luna siempre está iluminada por la mitad y dependiendo de dónde yo esté [o esté la Luna], veo más o menos de la parte iluminada.

**Figura 7-11:** Resolución de la consigna 1 en el pizarrón. En estos dibujos, la parte pintada con tiza indica la zona de la Luna no iluminada por el Sol.

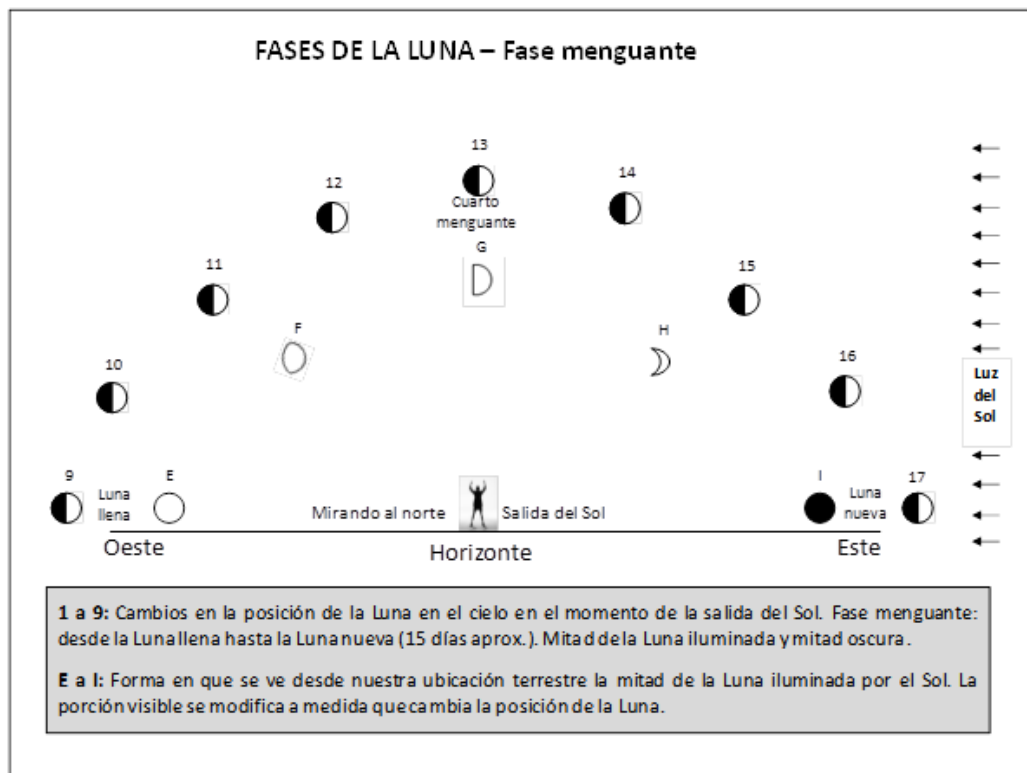




A continuación, el docente presenta la fase menguante mediante la **Figura 7-13**, la cual muestra el desplazamiento de la Luna hacia el este durante unos 15 días seguidos, desde Luna llena a nueva (dibujos 9 a 17), pero esta vez en el horario de salida del Sol. Esta modificación obedece al cambio de posición de la Luna, que hace que ésta ya no sea visible en el horario de puesta del Sol. Al igual que antes, en todas estas posiciones la Luna se encuentra mitad oscura y mitad iluminada, siendo su parte iluminada la que apunta hacia el Sol, que en esta ocasión corresponde a su lado derecho.

Como se ve en el esquema, la posición 9 coincide con la misma posición del esquema anterior, en la cual la Luna estaba opuesta al Sol. En dicha posición, la Luna se ve "llena" (Luna E), poniéndose por el horizonte occidental, a medida que el Sol sale por el horizonte oriental. Luego de una semana aproximadamente, la Luna se ubica hacia el norte, a  $90^\circ$  respecto al Sol (posición 13), por lo que la Luna se ve en cuarto (Luna G), con su lado derecho iluminado. Posteriormente, luego de unos 7 días más, la Luna vuelve a posicionarse en dirección hacia el Sol (posición 17), por lo que no es posible ver la parte iluminada de la Luna, ocurriendo nuevamente la Luna nueva (Luna I), y comenzando otra vez el ciclo.

**Figura 7-13:** Esquema explicativo de la fase menguante de la Luna, desde llena hasta nueva, para un observador ubicado en latitudes medias del hemisferio sur.



Al finalizar, el docente reparte a cada estudiante una hoja conteniendo los esquemas y una explicación de los mismos, cuyo contenido está detallado en la **Sección 10-10**. A su vez, les propone que, para la siguiente clase, traten de observar en el cielo cómo cambia la Luna de un día al otro a la misma hora.

Al comienzo de la clase siguiente, el docente propone corregir la consigna 2 que había quedado pendiente luego de haber observado desde distintos puntos de vista la esfera mitad blanca y mitad negra. Sin embargo, el docente modifica lo planificado al notar que, en ese mismo momento, la Luna se encontraba visible en el cielo desde los ventanales del aula. Por lo tanto, interroga a los estudiantes con el fin de que utilicen los conocimientos adquiridos para identificar en qué fase se encuentra la Luna ese día.

D: *Y fíjense que hoy tenemos la Luna acá [visible desde la ventana del aula, que tiene orientación hacia el norte]. ¿En qué fase está?*

A: *Menguante...*

A: *Para mí, creciente...*

D: *¿Qué tengo que mirar para saber si es creciente o menguante? Fijate en la ventana...*

A: *Está del lado derecho, entonces es menguante.*

D: *Está del lado derecho... Mírenla, prestemos atención a lo que pasa. Es la primera vez desde que estoy viniendo que tenemos la posibilidad de observar el cielo despejado en este horario, siempre estaba nublado... Como ahora estamos de mañana, es claro que la que corresponde es la Luna menguante. Ustedes si miran la Luna un solo día... Si está de mañana, seguro es menguante; si está de noche, seguro es creciente. Viendo esto ya pueden distinguir qué Luna tienen.*

D: *Dijimos que a medida que pasan los días la Luna cambia su posición en el cielo. Mañana, yo no voy a estar, tienen que mirar ustedes... ¿Qué dicen? ¿Estará en el mismo lugar a la misma hora la Luna? ¿Se moverá a la derecha o a la izquierda? Miren el esquema y contesten. ¿En qué número de Luna [del esquema presente en la Figura 7.14.] estamos hoy?*

A: *12... 13...*

(C<sub>14</sub>; 15)

D: *Bien. Es la número 13. Recuerden que [la Luna] siempre está iluminada por la mitad, el tema está en cómo yo la veo. El Sol está por salir allá [hacia oriente], la Luna está acá [hacia el norte], la mitad iluminada de la Luna que yo puedo ver desde acá está hacia la derecha. En realidad es un cuarto de Luna lo que puedo ver hoy, porque está iluminada la mitad, pero la que está para el otro lado no la puedo ver, por eso veo un cuarto, la mitad de la mitad. La pregunta ahora es... La Luna, mañana, ¿estará a la derecha o a la izquierda? [mirando en dirección a la Luna]*

A: *A la derecha.*

D: *¿Están todos de acuerdo? No los veo convencidos. Miren el esquema.*

A: *A la derecha...*

D: *Se correrá a la derecha. Estoy mirando al norte, me queda para acá la Luna mañana. Siempre sale más tarde.*

A: *¿Después no se va corriendo?*

D: *Siempre es más tarde. Ahora, más tarde, puede ser, si salió a las 11 de la noche, después sale a la 1, a las 2... a las 6, para vos es temprano, pero salió tarde del día anterior, cada día más tarde. No nos compliquemos mucho, lo que nos interesa es que creciente la veo de noche, menguante de mañana y que cada día se nos corre para allá [hacia el este]. Entonces, presten atención mañana, tendría que estar a la derecha, ¿más grande o más chica?*

A: *Más chica.*

D: *Muy bien. Y cada día que pase, más a la derecha y más chica. Está menguando, de acá a una semana nos quedan las lunas hasta la 17, hasta la Luna nueva.*

La clase continúa con la corrección de la consigna 2 con todo el grupo de clase, de modo tal que todos los alumnos puedan corroborar o corregir las opciones elegidas al resolver la actividad.

D: *Dice la frase... A medida que pasan los días, la Luna ¿cambia o no cambia su posición en el cielo?*

A: *¡Cambia!*

D: *Sigamos la frase, cada día la veo corrida más al...*

A: *Este.*

D: *Bien. Ahora dice... El Sol ilumina, ¿toda o una mitad?*

A: *Una mitad.*

D: *Dice, siempre, casi siempre, casi nunca... podemos ver la mitad iluminada por el Sol...*

A: *Casi nunca.*

D: *Eso lo vimos ayer, porque que yo vea toda la mitad iluminada por el Sol es la Luna llena. Casi nunca se ve, sólo una vez al mes. Si la Luna se ubica en dirección al Sol, ¿podemos o no ver la cara iluminada por el Sol?*

(C<sub>14</sub>; 31)

A: *No podemos.*

D: *Bien. Si la Luna se ubica en dirección al Sol, no puedo verla, queda la parte oscura hacia mí y yo no veo la Luna. Fíjense bien y corrijan en sus hojas. Dice, en consecuencia estamos en Luna nueva. En cambio, si se encuentra opuesta al Sol, podemos ver toda la cara iluminada y estamos en Luna llena. Por otro lado, si la Luna se encuentra hacia el norte, justo cuando el Sol se está poniendo, vemos su lado izquierdo iluminado y está en...*

A: *Creciente.*

D: *Cuando la Luna crece siempre tiene su lado... iluminado.*

A: *Izquierdo.*

D: *Y se la ve de tarde-noche. Cuando está menguando se ve iluminado el lado...*

A: *Derecho.*

D: *Durante la mañana o la madrugada, como es el caso de ahora.*

Por último, el docente muestra a la clase, y al mismo tiempo revisa, las maquetas realizadas por todos los grupos. En cada una de ellas debían quedar bien representadas las posiciones de la Luna respecto al Sol correspondientes a la Luna nueva, al cuarto creciente y a la Luna llena.

D: *Entonces, vamos a la maqueta. Acuérdense que lo importante acá es que yo siempre estoy parado en [el centro de] la maqueta y que las tres lunas tienen que estar apuntando siempre para el mismo lado [sus partes blancas siempre en dirección al Sol]. [Para simplificar se decidió poner el Sol siempre hacia el oeste]*

A: *¿Por qué tantas lunas?*

D: *Son tres las que vamos a poner: la nueva, cuarto creciente y llena. ¿Cuál es la Luna nueva?*

(C<sub>14</sub>; 46)

A: *La que está al lado del Sol.*

D: *Esa es nueva [Luna al lado del Sol] porque yo estoy parado desde acá, desde el centro, y no puedo ver la cara iluminada por el Sol. Por otro lado, yo estoy parado acá y esta es Luna llena [Luna en el horizonte oriental], porque yo estoy parado en el centro y veo toda la cara iluminada por el Sol. La última es cuarto creciente [Luna hacia el norte] porque estoy parado en el centro y veo el lado izquierdo iluminado. Ahí me quedaron las tres lunas perfectas. Lo único, acuérdense, yo miro el Sol, está ahí, pero muy lejos... por eso me ilumina la Luna siempre de este lado.*

D: ¿Cuánto tarda la Luna en ir de acá hasta llegar a esta posición [desde el horizonte occidental al oriental en el mismo horario]?

A: Un mes...

A: 29 días...

D: ¿De Luna nueva a llena?

A: 15 días.

D: Bien. Porque de nueva a nueva, o sea, toda la vuelta tarda un mes aproximadamente. Así que quince días.

La **Figura 7-14** muestra maquetas de algunos grupos, las cuales representan los movimientos de la Luna y el Sol y, por lo tanto, permiten ser utilizadas para explicar topocéntricamente el día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares.

**Figura 7-14:** Maquetas realizadas por los estudiantes que muestran la posición de la Luna en el horario de puesta del Sol correspondiente a la Luna nueva (Luna hacia el oeste), al cuarto creciente (Luna hacia el norte) y a la Luna llena (Luna hacia el este).





De este modo, se dio por finalizada la secuencia de actividades correspondiente a las fases de la Luna y, a partir de allí, se llevaron a cabo diferentes propuestas, tanto grupales como individuales, con el fin de analizar y evaluar los saberes adquiridos por los estudiantes a lo largo de la secuencia didáctica.

### 7.3.10. Situación 10: " Poniendo en acción los conocimientos adquiridos sobre el día y la noche, las estaciones y las fases lunares"

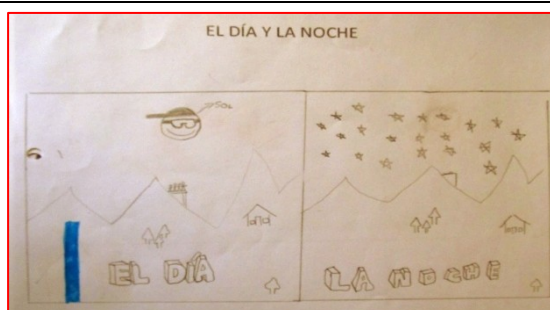
Esta etapa de la secuencia didáctica está conformada por una serie de actividades con las cuales el docente se propone evaluar la Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos a partir de analizar cuál ha sido la Estructura Conceptual Efectivamente Reconstruida por los estudiantes. En este sentido, no se entiende a este proceso de evaluación como un acto final de comprobación de saberes adquiridos, sino como un conjunto de situaciones para que los alumnos reflexionen, analicen y utilicen el conocimiento adquirido en las clases. De este modo, se podrán extraer conclusiones en relación a la secuencia didáctica diseñada e implementada y, al mismo tiempo, acerca de su incidencia en la modificación de los esquemas de asimilación de los estudiantes en el campo conceptual desarrollado.

Con el fin de interpretar y comprender el proceso de conceptualización seguido por el conjunto de los estudiantes, y con el propósito de analizar conocimientos en relación a dichos fenómenos, se planteó una actividad de carácter grupal en la que los alumnos debían explicar el día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna mediante un dibujo y, si querían, acompañarlo de un texto. Estas explicaciones fueron entregadas al docente, quien las digitalizó para luego exponerlas en el aula con el fin de que alumnos integrantes de otros grupos pudiesen analizar y reflexionar acerca de la validez o no de las mismas, proponiendo modificaciones y agregados, a partir de lo desarrollado en las clases.

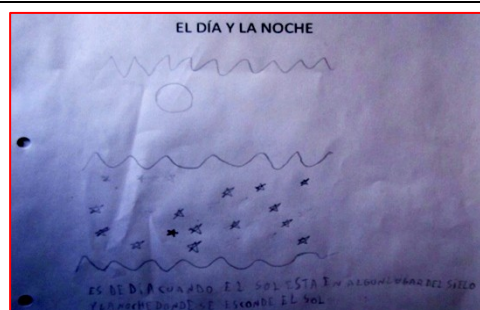
#### 7.3.10.1. Explicando el día y la noche en forma grupal

Los trabajos explicativos grupales en relación al día y la noche se presentan en la **Figura 7-15**, los cuales fueron discutidos posteriormente con los alumnos en el frente.

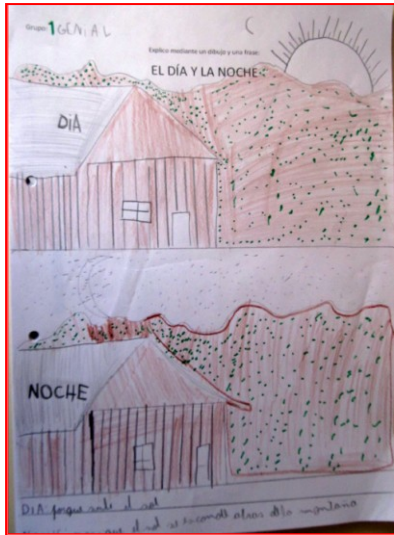
**Figura 7-15:** Dibujos y frases elaboradas en grupo que explican el día y la noche.



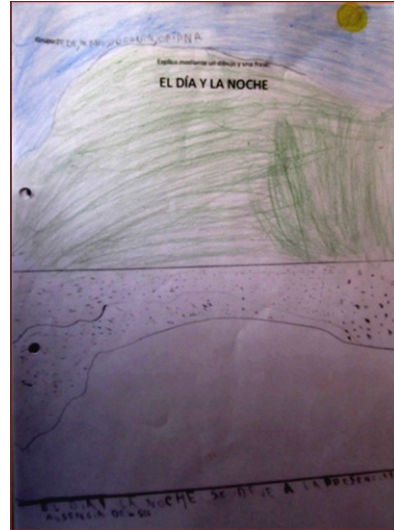
A. Sin texto explicativo



B. "Es de día cuando el Sol está en algún lugar del cielo y de noche cuando se esconde"



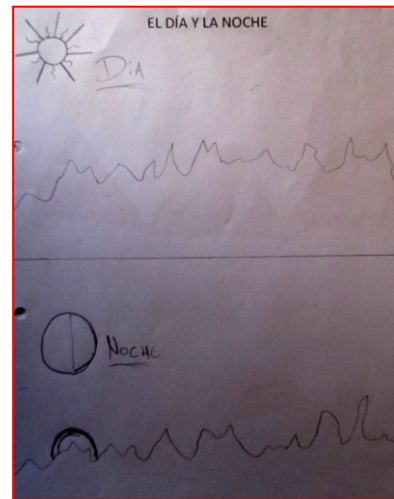
C. "Día porque sale el Sol. Noche porque el Sol se esconde detrás de la montaña"



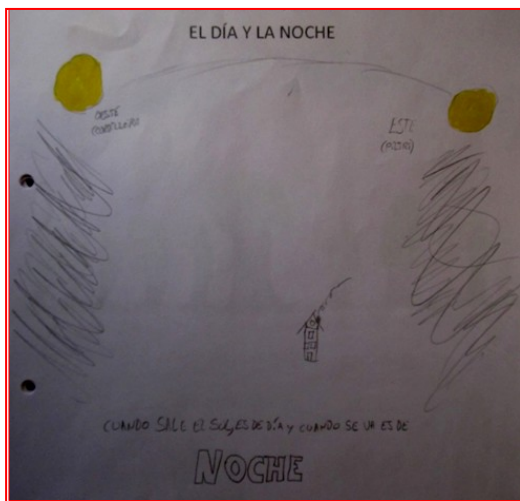
D. "El día y la noche se debe a la presencia o ausencia del Sol"



E. Sin texto explicativo



F. Sin texto explicativo



G. "Cuando sale el Sol es de día y cuando se va es de noche"



H. Sin texto explicativo

Como puede notarse, la mayoría de los dibujos y la totalidad de las explicaciones no incluyen a la Luna, lo cual resulta adecuado a partir de lo desarrollado en las clases, mostrando una evolución de los modelos utilizados para explicar el día y la noche. Como ya se ha visto, más allá de que la Luna es visible muchas noches al mes, incluirla como parte de la explicación del día y la noche representa conceptualmente erróneo en función de que la misma no guarda relación con este fenómeno.

A partir de la proyección de los dibujos en el frente, se propuso a un integrante de cada grupo que explique oralmente qué quisieron representar en relación a la causa del día y la noche. A partir de allí, el docente reiteró la explicación topocéntrica del fenómeno y se detectaron algunas cuestiones que debían ser modificadas en los dibujos.

Durante estas explicaciones orales, el docente interviene para comentar dos cuestiones que surgen durante las mismas. Por un lado, se aclara que para explicar los fenómenos astronómicos cotidianos siempre se supone un cielo despejado, aclaración que tiene sentido dado que algunos estudiantes a veces asocian la noche, y la ausencia del Sol en el cielo, con que éste se encuentre tapado por las nubes. Por otro lado, el docente recuerda que siempre hay estrellas presentes en el cielo, pero que las mismas no pueden verse durante el día debido a la presencia del Sol (y al aire que dispersa su luz).

*D: Buen día. Vamos a ver los carteles que hicieron el otro día, explicando día y noche, estaciones y fases. La idea es que veamos entre todos lo que hicimos y que nos queden claros los temas... Vamos con los dibujos. El primero, alguien del grupo levante la mano y explique el día y la noche con este dibujo.*

*A: De día es cuando se ve el Sol. No siempre...*

*D: ¿Por qué decís no siempre?*

*A: Porque a veces está nublado...*

(C<sub>15</sub>; 1)

*D: Entonces sí, siempre se cumple. Si es de día es porque está el Sol. Que yo no lo vea porque hay nubes no importa, porque no estamos teniendo en cuenta las nubes. El Sol está [arriba del horizonte local], es de día. ¿Y de noche?*

*A: Hicimos las estrellas. A veces está la Luna nueva...*

*D: Entonces, ¿por qué es de noche acá?*

*A: Porque están las estrellas y las estrellas en el día no se ven.*

*D: ¿Eso quiere decir que acá en el cielo [de día] las estrellas no están?*

*A: Sí están... no las veo porque está el Sol.*

*D: Claro, están de fondo, no las puedo ver porque el Sol ilumina tanto que el cielo se vuelve celeste y no puedo ver las estrellas, pero cuando el Sol se va puedo ver las estrellas.*

A continuación, el docente va pasando los distintos dibujos y pidiendo a los estudiantes que los expliquen mientras, al mismo tiempo, cuestiona algunos de ellos y realiza aclaraciones generales sobre los mismos.

*D: Vamos a este dibujo, ¿Quién lo cuenta? [Figura 7-15.C.]*

*A: En este es de día porque está el Sol y es de noche porque se oscureció.*

*D: ¿Por qué se oscureció?*

(C<sub>15</sub>; 11)

*A: Porque se esconde el Sol, se pone.*

*D: Como se pone el Sol puedo ver las estrellas. Pero acá... [El docente señala la parte inferior del dibujo, donde se ve una Luna tapada por estrellas]*

*A: Había dibujado una Luna, pero no está.*

D: Ah, ¿está borrada?

A: Sí.

D: Bien. Yo quiero decir esto que es importante. Cuando uno tiene que explicar el día y la noche, la Luna no la tiene que poner, porque poner la Luna de noche da a entender que tiene algo que ver con la noche y si yo quiero explicarlo bien, no la necesito. Por eso no hay que ponerla, pese a que en algunas noches se ve la Luna. Pero para explicar día y noche no la necesito. Sería como dibujar un auto, está pero no tiene que ver con el día. Entonces, dibujo lo que tiene que ver con el día y la noche, el Sol o la ausencia de Sol. Día sería presencia de Sol y noche, ausencia de Sol. Sigamos con los dibujos. ¿Qué dibujaron acá?

A: Sol en el día y las estrellas en la noche. **[Figura 7-15.B.]**

D: Y acá pusieron "es de día cuando el Sol está en el cielo y es de noche cuando se esconde el Sol". ¿Y este? **[Figura 7-15.D.]**

A: Acá, es de día porque está la presencia del Sol y es de noche porque no está.

Dado que la alternancia del día y la noche tiene relación con el movimiento diario del Sol, y dado que algunos dibujos representan de algún modo este movimiento, el docente aprovecha para analizar si los estudiantes comprenden el modo en que se desplaza dicho astro en el cielo.

D: Repasemos cómo se mueve el Sol durante el día.

A: De este a oeste, pero siempre inclinado un poco para el norte.

D: De este a oeste, ¿está bien dicho eso?

A: De algún lugar... Parte del este... De un punto del este.

D: ¿Está bien decir sale por el este?

A: No.

D: No.

A: Sólo dos días al año sale por el este.

D: Eso, muy bien. Tenemos que decir [que el Sol sale] por algún lugar del este, o por algún lugar del [cerro] Piltri, o mirando hacia el este... El Sol hace su recorrido inclinado hacia el norte, al mediodía siempre está hacia el norte, y luego se pone en algún lugar del oeste. [El docente acompaña la explicación con el movimiento de su brazo para representar la trayectoria]. Vamos con más dibujos. ¿Este? **[Figura 7-15.E.]**

(C<sub>15</sub>; 23) A: Es de día cuando el Sol está arriba y de noche cuando se escondió.

D: Bien. Pero no dibujaron el día y la noche, sino el comienzo y el fin del día, cuando sale y cuando se está poniendo el Sol.

[Un poco después, el docente analiza otra figura que también muestra el desplazamiento diario del Sol]

A: Ese es el Sol, ¿no? Ahí es cuando sale el Sol y después cuando se pone el Sol en la Cordillera... **[Figura 7-15.G.]**

D: Bien. Aunque dice "Este" y no habría que poner "Este" justo [el lugar de salida del Sol]... Está bueno porque entre paréntesis dice Piltri, para indicar que sale por algún lugar del Piltri. Y dice oeste, que no es justo oeste, pero dice Cordillera. Una pregunta: ¿hacia dónde mira la persona en la casa para ver este recorrido así?

A: Para el norte.

D: Bien. Esto es mirando hacia el norte. Está muy bien dibujado esto. Miran y dibujan al Sol yendo de derecha a izquierda [mirando hacia el norte]. Este dibujo también indica que nunca pasa el Sol por arriba de nuestras cabezas. Dice: "cuando sale el Sol es de día y cuando se va es de noche".

La **Figura 7-15.F.** es la que más claramente muestra una escasa evolución de las ideas de los estudiantes en función de mostrar la presencia de una enorme Luna durante la noche, mientras al mismo tiempo se está poniendo el Sol. Como ya se ha mencionado, la Luna llena es estrictamente nocturna, pero su inclusión resulta inadecuada si se desea explicar el día y la noche.

D: *Acá hay otro. ¿A ver?*

A: *El día es cuando el Sol está arriba nuestro y la noche es cuando está la Luna.*

D: *¿Está bien eso?*

A: *No. No está siempre la Luna.*

(C15; 33) D: *Si no está siempre la Luna quiere decir que no se identifica con la noche. Este dibujo habría que corregirlo, no hay que poner la Luna en la noche para explicarla, porque no identifica la Luna a la noche. A ver, un ejemplo: ¿yo [el docente/investigador] identifico a la Escuela 318? Y, no... Porque yo a veces vengo y muchas otras veces no.*

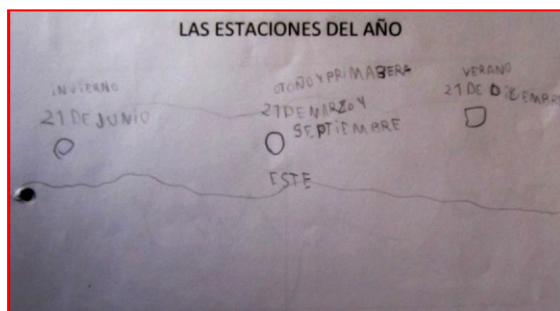
A: *Nosotros.*

D: *Claro, ustedes identifican a la Escuela 318 porque vienen todos los días. Y porque son indispensables para la escuela. El edificio la identifica... Algo que a veces está y a veces no, no suele ser algo que identifica.*

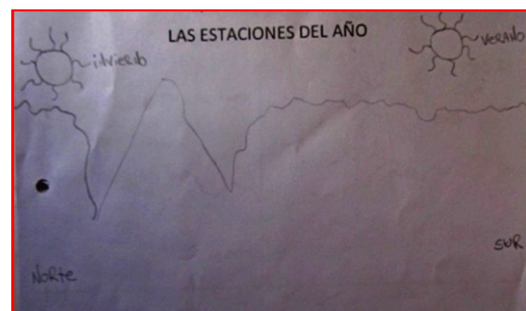
### 7.3.10.2. Explicando las estaciones del año en forma grupal

Los trabajos explicativos grupales en relación a las estaciones del año se presentan en la **Figura 7-16**, los cuales fueron discutidos luego con todo el grupo de clase.

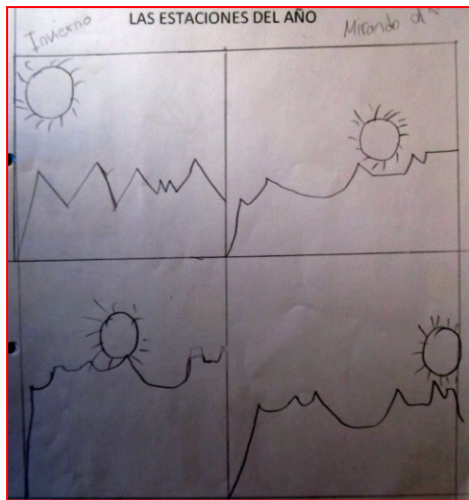
**Figura 7-16:** Dibujos elaborados en grupo que explican las estaciones del año. Dado que la mayoría no incluye frases explicativas, debajo de cada dibujo se brinda una descripción sintética del mismo.



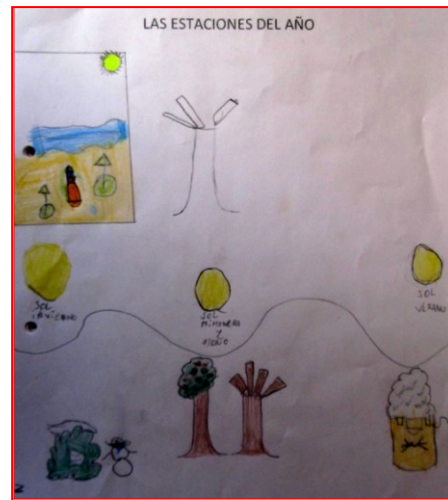
A. Muestra las fechas de comienzo de cada estación y el lugar correspondiente a la salida del Sol en cada una.



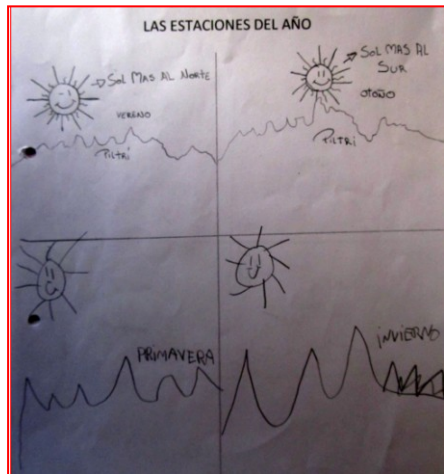
B. Muestra la salida del Sol hacia el sur en verano y hacia el norte en invierno.



C. Muestra posiciones distintas del Sol (en la salida o la puesta).



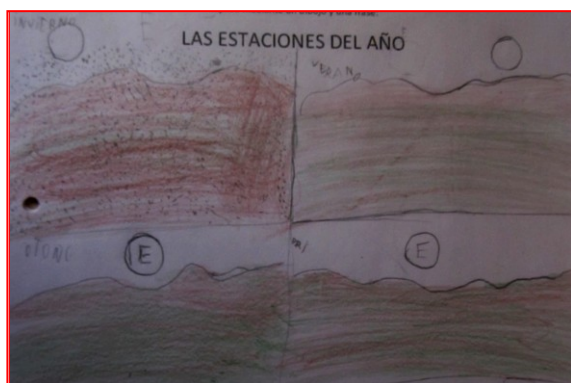
D. Muestra posiciones distintas de salida del Sol y su relación con las estaciones (abajo).



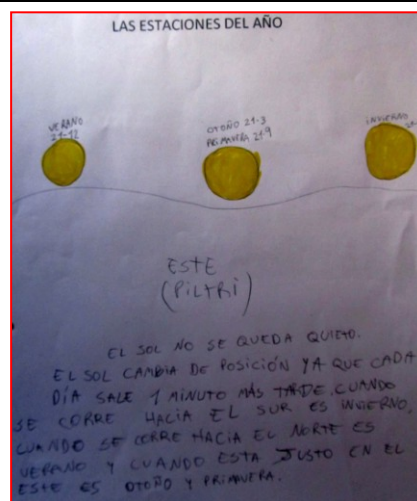
E. Muestra el cambio de lugar de salida del Sol: al norte en verano y al sur en otoño. Aparece el Sol alto en invierno.



F. No parece mostrar cambios en la posición y altura del Sol en las distintas estaciones.



G. Muestra el cambio de lugar de salida del Sol: a la izquierda del este en invierno y a la derecha en verano. Dos días sale por el este.



H. Muestra el cambio de lugar de salida del Sol, pero invertido: a la izquierda del este en verano y a la derecha en invierno.

La gran mayoría de los dibujos evidencian la relación entre las estaciones del año y el cambio anual en la posición del Sol en el cielo, lo que está representado por el cambio en su lugar de salida: al norte en invierno y al sur en verano. Esto representa una evolución conceptual en relación a los modelos utilizados por los mismos estudiantes para explicar las estaciones antes del comienzo del desarrollo de la secuencia didáctica.

Pese a la relación evidenciada entre el lugar de salida del Sol y las estaciones en gran parte de los dibujos, algunos de los esquemas presentan cuestiones erróneas a ser revisadas y corregidas (dibujos E, F y H). Para ello, las representaciones fueron proyectadas en el frente, lo que permitió su explicación por parte de los integrantes de los grupos y el cuestionamiento de algunos aspectos por parte del docente y de los propios alumnos del curso.

D: *¿Qué dibujaste acá? [Figura 7-16.A.]*

A<sub>10</sub>: *Dibujé las estaciones del año...*

(C<sub>15</sub>; 50) D: *Bien, veamos... Estás dibujando la salida del Sol. Esto es estaciones del año, el Sol saliendo por diferentes lugares a lo largo del año y sólo dos días del año saliendo por el este. Como dice acá, 21 de marzo y de septiembre. Entonces, las estaciones del año están asociadas con el movimiento del Sol hacia el norte y hacia el sur. Ahora, si miro al este, ¿en invierno para dónde va el Sol?*

A: *Para el norte.*

D: *Bien. Si vivo en el sur de la Tierra es invierno porque el Sol se fue al norte. Es lo que dibujaron acá: más a la izquierda del este. Presten atención y van a ver cuánto se corre el Sol hacia allá [el norte] ahora. El 21 de junio llega a lo máximo del norte. Luego empieza a volver, se empieza a ir cada vez más al sur hasta que llega el 21 de diciembre, que empieza el verano. Como nosotros vivimos al sur, vemos el Sol más alto. En cambio, cuando se va al norte, lo vemos más bajo.*

---

D: *Acá, ¿qué dibujaron? [Figura 7-16.B.]*

(C<sub>15</sub>; 68) A<sub>6</sub>: *La montaña y el Sol en invierno y en verano.*

D: *¿En qué dirección está la montaña esta?*

A<sub>6</sub>: *Hacia el este.*

---

D: *A ver... ¿Este dibujo qué representa? [Figura 7-16.G.]*

(C<sub>15</sub>; 88) A<sub>10</sub>: *Un Sol al norte, de invierno. Uno de verano que está más al sur. Y en el medio de primavera y otoño.*

D: *A ver... Bien al norte, comienzo del invierno. Bien al sur, comienzo del verano y al centro comienzo del otoño y la primavera. Perfecto.*

La **Figura 7-16.D.** es la que mejor representa las estaciones del año al mostrar los cambios anuales en la salida del Sol (arriba), junto con las consecuencias perceptibles en la superficie terrestre (abajo), caracterizadas por la presencia de nieve en invierno y el consumo de helado en verano. El docente aprovecha la exposición oral para mostrar estos dos puntos de vista representados en el mismo dibujo.

D: *Bueno, miren este otro que me gustó mucho. A ver... [Figura 7-16.D.]*

A<sub>24</sub>: *Son 3 soles. Uno de verano, otro de otoño y primavera y uno de invierno.*

(C<sub>15</sub>; 66) D: *Los señalo. Lo que se agregó es que acá abajo, relacionaron lo que se observa en el cielo con lo que pasa en la Tierra. ¿Vieron que en general los libros siempre muestran lo de acá abajo (montaña con nieve, árbol florido, árbol sin hojas, un helado), pero no explican que esto que percibimos tiene relación con lo que pasa en el cielo? Lo que hicieron fue juntar las dos cosas. Muy buena la idea del grupo.*

El análisis de la **Figura 7-16.C.** parecería mostrar adecuadamente que la salida del Sol se corre hacia la izquierda (el norte) en invierno y hacia la derecha en verano. Sin embargo, los mismos estudiantes que realizaron el dibujo no parecen comprenderlo.

- (C<sub>15</sub>; 56)
- D: *¿Quién explica este otro dibujo? [Figura 7-16.C.]*  
A: *En invierno está más al norte y después se va moviendo más hacia el sur.*  
D: *Bien. Cuando dibujaste el Sol, ¿por qué dibujaste uno acá y uno acá? ¿Hay uno que es de invierno y uno que no? ¿Son de la misma época del año?*  
A: *No.*  
D: *No. ¿Cuál de estos es invierno? ¿Entienden este dibujo?*  
A<sub>3</sub>: *No.*  
D: *Te pregunto, entonces, ¿sale todos los días por el mismo lugar el Sol?*  
A<sub>3</sub>: *No.*  
D: *Bien, ahora en invierno, ¿por qué parte del [cerro] Piltri va a salir el Sol?*  
A<sub>3</sub>: *A la izquierda.*  
D: *Bien. ¿No está mostrando eso el dibujo de ustedes?... Miren... Parece que se corrió para la izquierda [Sol de invierno en el dibujo], este se corrió a la derecha [Sol de verano en el dibujo] y estos dos están en el medio [Sol de equinoccios].*

A continuación, el docente se centra en identificar con los estudiantes los errores presentes en los esquemas de la **Figura 7-16.E, F y H.** Para ello, se intenta que sean los mismos alumnos que hicieron el dibujo quienes puedan reconocerlos y proponer las correcciones pertinentes en función de lo desarrollado en las clases.

- (C<sub>15</sub>; 74)
- D: *Seguimos. ¿Qué dibujaron? [Figura 7-16.E.]*  
A<sub>16</sub>: *Ahí, un Sol en invierno. [Muestran el cuadro de arriba a la izquierda]*  
D: *Sol más al norte, dice acá. Bien. Pero acá también dice...*  
A: *Dice verano... No está bien.*  
D: *Sí. Ahí hay un error. Sol más al norte, acá deberías poner invierno. Y Sol más al sur, debería decir verano. En este pasa algo parecido. [Figura 7-16.F.] ¿Qué quisieron dibujar acá? ¿Por qué es verano o invierno?*  
A<sub>4</sub>: *Porque...*  
D: *¿No se acuerdan? ¿Cambiarían algo del dibujo ahora?...*  
A<sub>4</sub>: *En invierno primero.*  
D: *En realidad no importa mucho qué va primero. Más allá de eso, ¿qué pondrías? ¿Cómo diferenciarían el invierno del verano en el dibujo?*  
A<sub>4</sub>: *Para que sea verano para el sur.*  
D: *Bien. Si este es el Piltri y es verano, tengo que verlo [el Sol] para la derecha del Piltri. ¿Y en invierno?*  
A: *A la derecha.*  
D: *¿En invierno a la derecha?*  
A<sub>4</sub>: *No, para mí va al norte. Para la izquierda.*  
D: *Bien. Para la izquierda en invierno, hacia el norte. Otra forma de ver esto sería dibujando el Sol al mediodía. En invierno bien bajo y en verano más alto, no arriba de mi cabeza, pero sí más alto. Como una linterna iluminando una pared: si la coloco recta [perpendicular] a la pared ilumina mejor, si la pongo inclinada [respecto a la perpendicular] mucho peor. A ver, ¿quién hizo este? [Figura 7-16.H.]*  
A<sub>18</sub>: *Es como el primero que vimos. Ahí está para qué lado se va. Cuando se va para el norte es verano, cuando se va para el sur es invierno.*  
D: *Eso que estás diciendo, ¿está bien?*



A: No. Es al revés.

D: Repetilo, A<sub>18</sub>, a ver...

A<sub>18</sub>: Cuando se va para el norte es verano, cuando se va para el sur es invierno.

D: ¿Está bien?

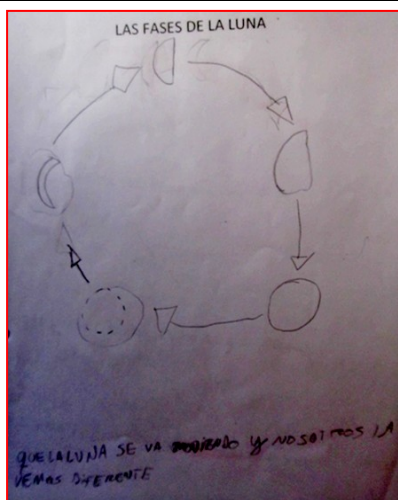
A: No. Es al revés. Al norte, invierno. Al sur, verano.

D: Acá [en la figura] está al revés. Hay que corregirlo.

### 7.3.10.3. Explicando las fases de la Luna en forma grupal

Los trabajos explicativos grupales en relación a las fases lunares se presentan en la **Figura 7-17**, los cuales fueron discutidos posteriormente con todo el grupo de clase. Como puede apreciarse, no todos los grupos lograron elaborar esquemas explicativos acerca del fenómeno, lo que parece mostrar una menor comprensión si se compara con lo sucedido con el día y la noche y las estaciones. Sin embargo, las fases de la Luna fue el fenómeno que más tiempo demandó dentro de la secuencia de actividades (5 clases). Esto podría indicar ciertas dificultades de comprensión propias del fenómeno en sí, lo que encuentra respaldo en muchas de las investigaciones previas.

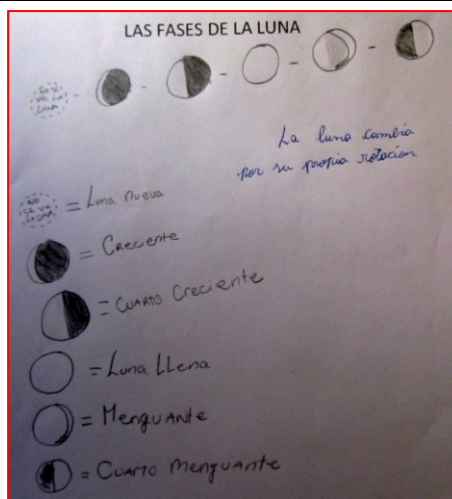
**Figura 7-17:** Dibujos y textos elaborados en grupo para explicar las fases de la Luna.



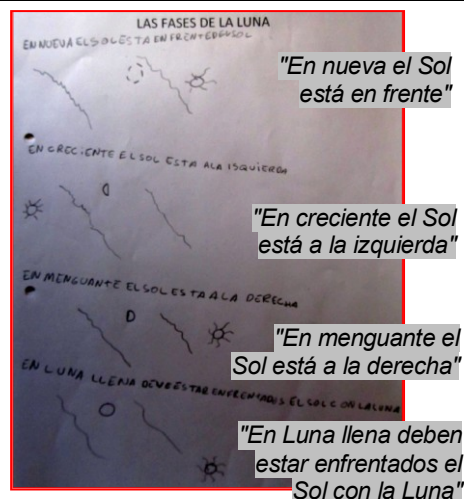
A. "La Luna se va corriendo y nosotros la vemos diferente"



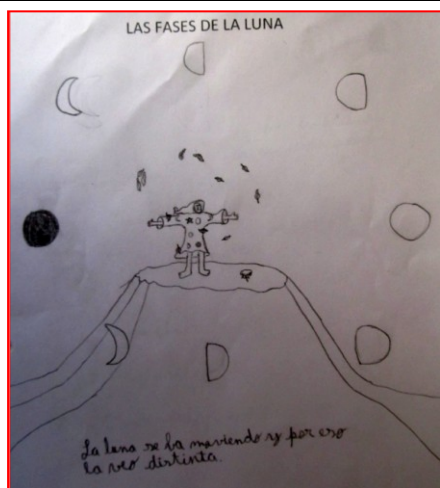
B. Muestra las distintas fases lunares pero no explica por qué cambia la fase



C. Muestra las distintas fases lunares. Explica: "La Luna cambia por su propia rotación"



D. Explica la posición relativa de la Luna respecto al Sol en cada fase



E. "La Luna se va moviendo y por eso la veo distinta"

Como puede apreciarse, aproximadamente la mitad de los dibujos muestran una relación entre el cambio de posición de la Luna en el cielo y su cambio de forma visible desde la superficie terrestre. A su vez, la totalidad de los esquemas representan adecuadamente las distintas fases lunares, relacionando la fase creciente de la Luna con su lado izquierdo iluminado y la fase menguante con su lado contrario. Estas representaciones marcan un salto conceptual significativo en relación a lo sucedido antes del inicio de la secuencia de actividades, donde la gran mayoría estudiantes no podía brindar ninguna explicación acerca del fenómeno ni describir adecuadamente cómo va cambiando de forma la Luna.

Dado que los dibujos realizados pueden haber sido el producto de la comprensión del fenómeno por parte de sólo una parte de los estudiantes que conforman el grupo, la proyección y discusión de los mismos en el frente brinda la posibilidad de que los alumnos reflexionen acerca de sus propias concepciones sobre el tema y que puedan cuestionar o incorporar las ideas de otros integrantes del espacio aúlico. Por ello, el docente propone a cada grupo que exponga y explique su esquema.

- D: A ver, ¿qué dibujaron acá? **[Figura 7-17.A.]**  
 A<sub>2</sub>: Dibujamos las fases de la Luna. De nueva va pasando a creciente, hasta menguante...  
 D: Ojo. Esta sigue siendo creciente porque tiene el lado izquierdo iluminado. [El docente muestra la Luna siguiente a la de cuarto creciente]. Esta sería...  
 A<sub>2</sub>: Llena.  
 D: Sí y faltaría la parte menguante. No hacía falta igual dibujar todas las fases. Lo que quiero saber es algo que no está en el dibujo: ¿por qué veo así la Luna [cuarto creciente] y unos días después la veo llena? ¿A qué se debe?  
 (C<sub>15</sub>: 108) A: A que va girando...  
 D: Ojo cuando dicen va girando. ¿A qué se refieren?  
 A: Va moviéndose para allá mientras que también gira...  
 D: No metamos un giro que tal vez no influye en nada...  
 A: Nosotros la vemos desde distintos puntos haciendo que se vea distinta cuando la miramos.  
 D: Bien. Mejor...

En función de las respuestas obtenidas por parte de los estudiantes, el docente decide realizar un breve repaso de la explicación de las fases lunares. En el mismo se remarca que este fenómeno se debe al movimiento propio de la Luna, a diferencia del día y la noche y las estaciones del año, que se producen debido al desplazamiento del Sol.

- A: [Las fases lunares se producen] ¡Porque va cambiando de lugar el Sol!  
 D: ¿El Sol?  
 A: No, el Sol no cambia de lugar.  
 (C<sub>15</sub>: 118) D: Recuerden esto: en las fases de la Luna, sólo importa la Luna. En el día y la noche sólo importa el Sol. En las estaciones del año, sólo importa el Sol. En las fases de la Luna, sólo importa la Luna.  
 A: Y nosotros.  
 D: Y nosotros, obviamente, que somos los que vemos la Luna.

- 
- D: Entonces, ¿por qué la veo diferente? [A la Luna]  
 A: Porque se va moviendo a ese lado y se va iluminando más.  
 D: Salvo la última parte, estabas bien... Dijiste que se fue cambiando de lugar, pero la pregunta es: ¿la Luna está más iluminada en Luna llena?  
 A: No. Nosotros vemos toda la parte iluminada. Claro, vemos la parte iluminada.  
 D: ¿Cuánto de la Luna está iluminada?  
 A: La mitad.  
 D: ¿Siempre?  
 (C<sub>15</sub>: 129) A: No. Sí, siempre, porque va cambiando de posición y tiene que ver con cómo nosotros la vemos.  
 D: Siempre la Luna así [muestra la esfera pintada mitad de blanco, mitad de negro], la pienso iluminada siempre por la mitad. Cómo yo la vea no tiene nada que ver con el Sol. Es decir, el Sol siempre ilumina a la Luna por la mitad. ¿Por qué acá la veo así y acá así?... Porque cambió de lugar en el cielo. Porque cuando se pone el Sol [y la Luna está en esa dirección], lo que a mí me da es la parte no iluminada. Es lo que hicimos con la pelotita. Si esta parte de la pelotita está iluminada [parte blanca] y esta parte está oscura [parte negra], y yo miro desde acá [desde el lado pintado de negro de la esfera], ¿veo la Luna?

A: No, no la ves.  
 D: ¿Y si miro de acá? [desde el lado pintado de blanco]  
 A: Sí, ves Luna llena.  
 Sí. ¿Y desde acá? [de "costado"]  
 A: Cuarto menguante.  
 D: No... Creciente... Porque tiene el lado izquierdo iluminado. Y desde acá es menguante.  
 D: Resumimos: siempre la Luna mitad iluminada y moviéndose, corriéndose en el cielo. Al cambiar de lugar la veo distinta. Tiene que ver con dónde está la Luna respecto a mí y al Sol.

Luego de reiterar la explicación del fenómeno, el docente continúa solicitando a los distintos grupos que comenten sus esquemas, reflexionando acerca de ellos y de las explicaciones que dan los estudiantes. Como puede notarse, en varias ocasiones los alumnos vuelven a explicitar ideas que ya han sido puestas en cuestionamiento anteriormente, lo que parece indicar, como ya se ha mencionado, ciertas dificultades de comprensión intrínsecas a este fenómeno.

D: Este dibujo, ¿qué grupo lo hizo? Bien. ¿Esto que está dibujado es decir qué son las fases o decir por qué ocurren las fases? [Figura 7-17.B.]

A: Son las fases.

D: Exacto. Esto no explica por qué son las fases. Si quiero dibujar por qué pasan las fases de la Luna, seguro tengo que decir que la Luna se corrió de lugar en el cielo. Eso tendría que agregarlo acá. A ver... Acá dice, la Luna cambia por su propia rotación, ¿está bien eso? [Figura 7-17.C.]

A<sub>17</sub>: Pondría ahí que nosotros siempre vemos la mitad, la misma mitad iluminada...

D: ¿Por qué no vemos siempre la mitad?

A<sub>17</sub>: Depende de dónde le pegue el Sol, de cuál sea la parte iluminada...

(C<sub>15</sub>; 154) D: A ver... ¿Por qué no veo siempre igual la Luna si siempre está iluminada por la mitad?

A<sub>17</sub>: Porque ella misma se va moviendo.

D: Bien. ¿La Luna está siempre iluminada por la mitad desde el espacio?

A: No. No... Sí...

D: Sí. Bien... Siempre iluminada por la mitad. Presten atención, ¿la Luna está siempre iluminada por la mitad?

A<sub>5</sub>: Sí.

D: Perfecto. ¿Por qué no veo siempre la mitad iluminada? ¿Qué pasa en el cielo con la Luna de un día al otro?

A<sub>5</sub>: Se mueve.

D: Muy bien. Simplemente eso. Se mueve.

La **Figura 7-17.D.** merece una atención especial ya que muestra una adecuada comprensión del fenómeno en función de mostrar la relación entre la fase lunar y la posición relativa que ocupa la Luna respecto al Sol cuando se la observa desde la superficie terrestre. Al respecto, una forma de mejorar esa representación sería incluyendo algún indicador de cuál sería la posición del observador en cada uno de los dibujos explicativos de cada fase.

- D: *A ver, este dibujo, ¿quién lo hizo? [Figura 7-17.D.]*
- A<sub>7</sub>: *En Luna nueva la Luna se va moviendo y está en frente del Sol y no ves la parte iluminada. Después en creciente, el Sol está a la izquierda. En menguante el Sol está hacia la derecha.*
- (C<sub>15</sub>; 168)
- D: *Bien. Es de mañana y está iluminada la parte que da al Sol*
- A<sub>7</sub>: *Y Luna llena, la Luna está enfrentada y se ve llena.*

Por su parte, la **Figura 7-17.E.** es la que mejor representa las fases de la Luna al asociar su posición en el cielo con la forma en que la ve un observador terrestre. En particular, el esquema muestra las distintas posiciones de la Luna en el horario de puesta del Sol, siendo la Luna nueva la que se ubica hacia el oeste a esa hora, la llena hacia el este y el cuarto creciente hacia el norte. Una forma posible de mejorar esta representación sería incluyendo, para cada posición, otro dibujo con la Luna con su mitad que apunta hacia el Sol iluminada.

- D: *Bien, ¿qué dibujaron acá? [Figura 7-17.E.]*
- A<sub>23</sub>: *Son todas las fases de la Luna y cómo van cambiando, en orden. Y ahí hay como un mago que sería quien está viendo la Luna. Abajo dice: "la Luna se va moviendo y por eso la veo distinta".*
- D: *Ahí está resumido muy bien lo que son las fases de la Luna. Lo que está dibujado, ¿es la Luna tal cual está iluminada o como la vemos nosotros?*
- (C<sub>15</sub>; 172)
- A<sub>23</sub>: *Como la vemos nosotros.*
- D: *Bien. Se dibujó la Luna corriéndose y tal cual cómo la vemos nosotros. ¿En este dibujo dónde está el Sol? Piensen...*
- A: *A la izquierda.*
- D: *Bien.*

Por último, algunos estudiantes manifestaron haber observado y prestado atención a la fase lunar visible en el cielo, lo cual era uno de los propósitos iniciales de la secuencia didáctica que no pudo ser cumplido completamente debido a haber contado con muchos días nublados a lo largo del desarrollo de las clases.

- A: *Hoy a la mañana [la Luna] estaba menguante.*
- (C<sub>15</sub>; 124) D: *Claro, ¿qué lado tenía iluminado?*
- A: *El derecho.*

- 
- A: *El domingo vi la Luna, estaba viendo la parte oscura y vi apenas un pedacito...*
- (C<sub>15</sub>; 151) D: *¿De qué lado estaba la parte iluminada?*
- A: *De este lado apenas. [Indica el lado derecho]*
- D: *Lado derecho... Porque está menguando. Perfecto.*

Como puede verse, pese a las dificultades meteorológicas mencionadas, estos alumnos comenzaron a desarrollar hábitos de observación y registro no presentes al comienzo de las clases. En este sentido, no sólo prestaron atención a la presencia de la Luna en el cielo durante el día, idea contraria a sus concepciones iniciales, sino que también pudieron analizar cuál era su lado iluminado con el fin de identificar la fase lunar correspondiente.

### 7.3.10.4. Evolución individual de los conocimientos en relación al día y la noche

La primera actividad final individual detallada en la **Sección 6.5.10**, propone que cada estudiante responda nuevamente la indagación realizada en la primera clase utilizando ahora los nuevos conocimientos adquiridos. Una vez finalizada esta instancia, a cada alumno se le repartió su propia indagación inicial para que la analice con el fin de tratar de reconocer en ella cuestiones que ahora saben que deberían ser modificadas.

Los modelos sobre el día y la noche detectados en las respuestas iniciales dadas por los alumnos para explicar dicho fenómeno ( $M_{D/N}$ ) fueron (**Sección 7.3.1.1**):

$M_{D/N-1}$	"La presencia del Sol en el cielo identifica al día y la de la Luna a la noche".
$M_{D/N-2}$	"La rotación de la Tierra provoca el día y la noche".
$M_{D/N-3}$	"La Luna y el Sol, opuestos en el espacio, giran alrededor de la Tierra".

Al responder nuevamente la indagación inicial se detecta un nuevo modelo, no presente al inicio, el cual representa la explicación sobre el día y la noche construida a lo largo de la secuencia de actividades:

$M_{D/N-4}$	"La presencia del Sol en el cielo identifica al día y su ausencia a la noche".
-------------	--

Los distintos modelos sobre el día y la noche utilizados por los estudiantes al inicio y al final de la secuencia de actividades, y la comparación del porcentaje de alumnos que utilizan cada uno antes y después, se encuentra detallada en la **Tabla 7-8**.

**Tabla 7-8:** Porcentaje de alumnos del curso en los que se han identificado los distintos modelos sobre el día y la noche al inicio y la final de la secuencia didáctica.

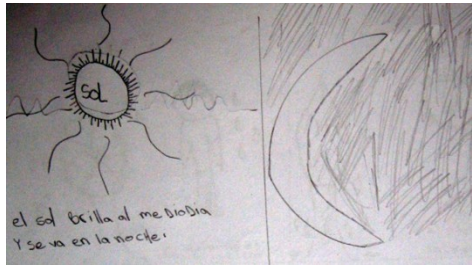
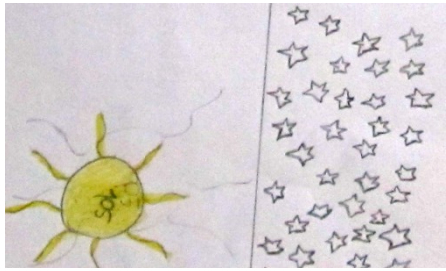

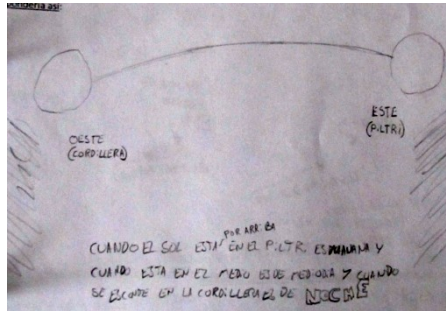

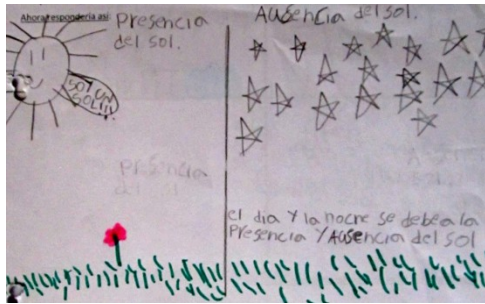
Modelos sobre el día y la noche (porcentaje de alumnos)			
Indicador	Modelo explicativo	Inicio	Final
$M_{D/N-1}$	"La presencia del Sol en el cielo identifica al día y la de la Luna a la noche".	65,4%	12,5%
$M_{D/N-2}$	"La rotación de la Tierra provoca el día y la noche".	23,1%	0%
$M_{D/N-3}$	"La Luna y el Sol, opuestos en el espacio, giran alrededor de la Tierra".	7,7%	4,2%
$M_{D/N-4}$	"La presencia del Sol en el cielo identifica al día y su ausencia a la noche".	0%	79,2%
-	Otros (confusos)	3,8%	4,2%

Como puede apreciarse, la proporción de alumnos que utilizan modelos en los cuales la noche queda caracterizada por la Luna,  $M_{D/N-1}$  y  $M_{D/N-3}$ , descendió desde un 73,1% al inicio de las clases a un 16,7% al finalizar las mismas. A su vez, la proporción de alumnos que logra relacionar el día y la noche con la presencia o ausencia del Sol en el cielo ( $M_{D/N-4}$ ) ha pasado de ser nula a estar presente en un 79,2% de los estudiantes.

Sin embargo, la proporción de alumnos que identificaba a la noche con la Luna al inicio de la secuencia de actividades era aún mayor que la indicada anteriormente, llegando incluso a un 88,5%, debido a que varios estudiantes que utilizaron el modelo  $M_{D/N-2}$  incluían en sus dibujos o textos la presencia de la Luna opuesta al Sol junto a la Tierra rotando sobre su eje. Por lo tanto, es posible indicar que ha habido una gran evolución conceptual en relación a la explicación del día y la noche, donde se ha pasado de casi un 90% de los alumnos identificando a la Luna con la noche, a sólo un 16,7%. A su vez, las respuestas finales sobre el día y la noche muestran la utilización adecuada del sistema de referencia topocéntrico por parte de la totalidad de los alumnos.

En la **Figura 7-18** se presentan dibujos y frases de algunos de los alumnos del curso representativos de la evolución conceptual evidenciada en la mayoría de ellos en relación a la explicación del fenómeno del día y la noche.

**Figura 7-18:** Dibujo inicial y final de un mismo alumno sobre día/noche al inicio y al final de la secuencia. Se incluye la reflexión final del alumno respecto a su dibujo inicial.

Alumno	Al inicio	Al final
A <sub>6</sub>		
<i>"Estaba mal porque puse la Luna de noche"</i>		
A <sub>8</sub>		
<i>"Corregiría: La Luna no tiene que ver con el día y la noche"</i>		
A <sub>21</sub>		
<i>"A mi dibujo anterior lo cambiaría porque la Luna no tiene nada que ver con el fenómeno del día y la noche"</i>		

### 7.3.10.5. Evolución individual de los conocimientos en relación a las estaciones

Los modelos sobre las estaciones del año detectados en las respuestas iniciales dadas por los alumnos para explicar dicho fenómeno fueron (**Sección 7.3.1.2.**):

M <sub>EA-1</sub>	<i>"Las estaciones se deben a cambios en el ambiente (temperatura, nubes, lluvias, vientos, calentamiento distinto del Sol, caída de las hojas, etc)".</i>
M <sub>EA-2</sub>	<i>"Las estaciones se deben a cambios en la distancia al Sol. El Sol se acerca en verano y se aleja en invierno".</i>
M <sub>EA-3</sub>	<i>"Las estaciones se deben a cambios en la velocidad del Sol. El Sol marcha más lento y se queda más tiempo en otro lugar, poniéndose más frío acá y más caliente allá".</i>

Al responder nuevamente la indagación inicial se pudo detectar un modelo, no presente al inicio, el cual representa la explicación sobre las estaciones del año construida a lo largo de la secuencia de actividades:

M <sub>EA-4</sub>	<i>"El movimiento anual del Sol en el cielo, más al norte o más al sur, determina las estaciones del año".</i>
-------------------	--

Este modelo es explicitado de distintas formas por los estudiantes, generalmente asociando el movimiento anual del Sol con el cambio en su lugar de salida: al norte del este al comienzo del invierno, al sur del este al inicio del verano y justo por el este cuando comienzan el otoño y la primavera.

Los distintos modelos sobre las estaciones utilizados por los estudiantes al inicio y al final de la secuencia de actividades, y la comparación del porcentaje de alumnos que utilizan cada uno antes y después, se encuentra detallada en la **Tabla 7-8.**

**Tabla 7-8:** Porcentaje de alumnos del curso en los que se han identificado los distintos modelos sobre las estaciones al inicio y la final de la secuencia didáctica.

Modelos sobre las estaciones del año (porcentaje de alumnos)			
Indicador	Modelo explicativo	Inicio	Final
M <sub>EA-1</sub>	<i>"Las estaciones se deben a cambios en el ambiente (temperatura, nubes, lluvias, vientos, calentamiento distinto del Sol, caída de las hojas, etc)".</i>	42,3%	8,3%
M <sub>EA-2</sub>	<i>"Las estaciones se deben a cambios en la distancia al Sol. El Sol se acerca en verano y se aleja en invierno".</i>	38,5%	4,2%
M <sub>EA-3</sub>	<i>"Las estaciones se deben a cambios en la velocidad del Sol. El Sol marcha más lento y se queda más tiempo en otro lugar, poniéndose más frío acá y más caliente allá".</i>	3,8%	0%
M <sub>EA-4</sub>	<i>"El movimiento anual del Sol en el cielo, más al norte o más al sur, determina las estaciones del año".</i>	0%	70,8%
-	<i>Otros (confusos o no contestan)</i>	15,4%	16,7%



Como puede verse, la proporción de alumnos que utiliza el modelo que sostiene que las estaciones del año se deben a cambios en el ambiente ( $M_{EA-1}$ ), descendió desde un 42,3% al inicio de las clases al 8,3% al finalizar las mismas. A su vez, la proporción de alumnos que asocia las estaciones del año con la distancia variable al Sol ( $M_{EA-2}$ ), también descendió considerablemente: del 38,5% al 4,2%. En contraposición, el modelo que asocia las estaciones del año con la posición del Sol en el cielo ( $M_{EA-4}$ ), más al norte o más al sur, fue utilizado por el 70,8% de los alumnos al finalizar la secuencia de actividades.

Más allá que la mayoría de los alumnos no indica en sus producciones que el cambio en el lugar de salida del Sol está asociado con un cambio en su recorrido diario, más alto o más bajo, y que esto provoca las estaciones, el modelo  $M_{EA-4}$  marca una evolución conceptual de las concepciones de los alumnos, muchos de los cuales no establecía ninguna relación entre las estaciones del año y la ubicación del Sol en el cielo al inicio de las clases. Por otro lado, quienes lo hacían sostenían esta relación en función de la distancia al Sol, como si se lo "viese" más grande o más chico. Por lo tanto, es posible indicar que ha habido una importante evolución conceptual en relación a las estaciones del año, donde se ha pasado de un 100% de respuestas inadecuadas, al comenzar la secuencia de actividades, a un 29,2% al finalizar la misma. A su vez, del mismo modo que con el día y la noche, las respuestas finales sobre las estaciones del año muestran una utilización adecuada del sistema de referencia topocéntrico por parte de la mayoría de los alumnos.

Pese a este gran salto conceptual de una proporción importante de los estudiantes, que ha logrado relacionar el movimiento anual del Sol con las estaciones del año, resta analizar individualmente el grado de comprensión conceptual del fenómeno.

En la **Figura 7-19** se presentan dibujos y frases de algunos de los alumnos del curso representativos de la evolución conceptual evidenciada en gran parte de ellos en relación a la explicación de las estaciones del año.

**Figura 7-19:** Dibujos sobre las estaciones del año realizados por estudiantes al inicio y al final de la secuencia de actividades. Se incluye la reflexión final del alumno respecto a su dibujo inicial.

Alumno	Al inicio	Al final
A <sub>10</sub>		
<i>"No expliqué el movimiento del Sol de norte a sur"</i>		

<p>A<sub>18</sub></p>		
<p><i>"Yo lo había hecho súper mal. Había puesto que el Sol alumbraba a los árboles y que los días fríos se debían a las nubes"</i></p>		
<p>A<sub>20</sub></p>		
<p><i>"Yo pensaba que depende qué tan cerca está el Sol de la Tierra. Pero aprendí que las estaciones dependen de por dónde salga el Sol"</i></p>		

En la **Figura 7-19**, el dibujo final de A<sub>10</sub> muestra adecuadamente la relación entre el cambio del lugar de salida del Sol (en la parte superior) y los cambios estacionales percibidos en la superficie terrestre (en la parte inferior). Estos últimos son representados por un muñeco de nieve para el invierno, por un helado para el verano y por la caída de las hojas de los árboles para el otoño. De este modo, se evidencia comprensión de la relación causa-efecto que fue desarrollada durante las clases. Por otro lado, los dibujos de A<sub>18</sub> y de A<sub>20</sub> muestran esta misma comprensión, aunque en este caso lo hacen por medio de un texto (A<sub>20</sub>):

*"Cuando el Sol sale más al norte estamos en invierno. Cuando sale más al sur estamos en verano. Cuando sale justo por el este estamos en otoño y primavera"*

Si bien la frase anterior no es estrictamente correcta, parecería que los estudiantes desean expresar la idea de que las estaciones más frías ocurren cuando el Sol sale hacia el norte del este, mientras que las más cálidas ocurren durante el tiempo en que dicho astro sale al sur del este. En este sentido, las salidas del Sol al norte del este pueden corresponder tanto al invierno como al otoño y, del mismo modo, las salidas al sur del este pueden corresponderse con el verano, pero también con la primavera. Por ese motivo, la explicación anterior debería revisarse con los estudiantes con el fin de que puedan indicar que las salidas del Sol lo más al norte o lo más al sur del este corresponden al inicio del invierno o del verano, respectivamente.

Pese a esto, la comparación entre las respuestas iniciales y finales de los estudiantes evidencian una gran evolución de sus conocimientos en relación a las estaciones del año, los cuales han sido adquiridos como parte de la ECPE ya que no se encontraban presentes al inicio de las clases.

### 7.3.10.6. Evolución individual de los conocimientos en relación a las fases

Los modelos sobre las fases lunares detectados en las respuestas iniciales dadas por los alumnos para explicar dicho fenómeno fueron (**Sección 7.3.1.3.**):

M <sub>FL-1</sub>	<i>"Las fases de la Luna se deben a la posición del Sol respecto a la Luna".</i>
M <sub>FL-2</sub>	<i>"Las fases lunares se deben a la sombra de la Tierra sobre la Luna".</i>
M <sub>FL-3</sub>	<i>"Las fases de la Luna se deben a que el Sol cambia de lugar".</i>
M <sub>FL-4</sub>	<i>"La Luna cambia de forma según las estaciones del año o según cómo esté el tiempo (despejado o nublado)".</i>

Sin embargo, la utilización de estos modelos fue minoritaria dentro del grupo de clase (34,6%) ya que más de la mitad de los estudiantes no lograron esbozar ninguna explicación acerca del fenómeno (53,9%). Como ya se ha mencionado, esta falta de explicación no indica que los alumnos no conozcan el fenómeno dado que una gran mayoría de ellos (84,6%) logra dibujar adecuadamente alguna/s de la/s fases.

Al responder nuevamente la indagación inicial se pudo detectar un nuevo modelo no presente al inicio, el cual representa la explicación sobre las fases lunares construida a lo largo de la secuencia de actividades:

M <sub>FL-5</sub>	<i>"El movimiento de la Luna de un día al otro provoca que desde la superficie terrestre se la vea de diferentes formas".</i>
-------------------	---

Este modelo es explicitado de distintas formas por una proporción importante de los estudiantes (50%), generalmente asociando las fases con el cambio de posición de la Luna. A su vez, algunos alumnos agregan que las fases se deben a "cómo vemos nosotros la Luna" pese a que "siempre está iluminada por la mitad". Los distintos modelos sobre las fases lunares utilizados por los estudiantes al inicio y al final de la secuencia de actividades, y la comparación del porcentaje de alumnos que utilizan cada uno antes y después, se encuentra detallada en la **Tabla 7-9**. Se incluye la proporción de alumnos que dibuja el fenómeno, pero que no lo explica, y también el de aquellos que no logran ni dibujarlo ni explicarlo.

**Tabla 7-9:** Porcentaje de alumnos del curso en los que se han identificado los distintos modelos sobre las fases de la Luna al inicio y la final de la secuencia didáctica.

Modelos sobre las fases de la Luna (porcentaje de alumnos)			
Indicador	Modelo explicativo	Inicio	Final
-	<i>Dibujan la Luna en distintas fases pero no explican.</i>	38,5%	20,8%

-	<i>No dibujan la Luna ni explican las fases.</i>	15,4%	4,2%
M <sub>FL-1</sub>	<i>"Las fases de la Luna se deben a la posición del Sol respecto a la Luna".</i>	11,5%	12,5%
M <sub>FL-2</sub>	<i>"Las fases lunares se deben a la sombra de la Tierra sobre la Luna".</i>	7,7%	4,2%
M <sub>FL-3</sub>	<i>"Las fases de la Luna se deben a que el Sol cambia de lugar".</i>	7,7%	0%
M <sub>FL-4</sub>	<i>"La Luna cambia de forma según las estaciones del año o según el tiempo".</i>	7,7%	0%
M <sub>FL-5</sub>	<i>"El movimiento de la Luna de un día al otro provoca que desde la superficie terrestre se la vea de diferentes formas".</i>	0%	50%
-	<i>Otros (confusos o no contestan)</i>	11,5%	8,3%

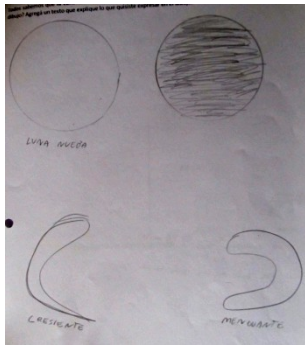
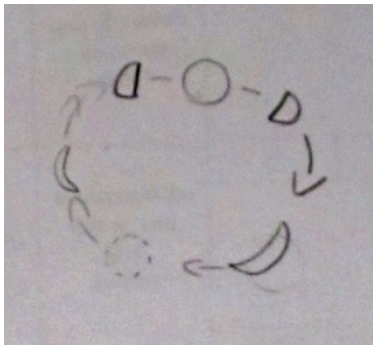
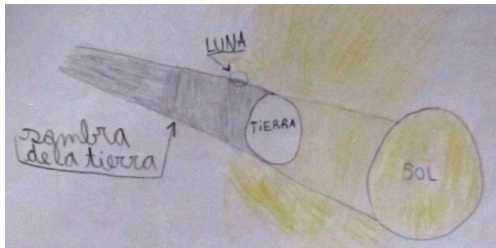
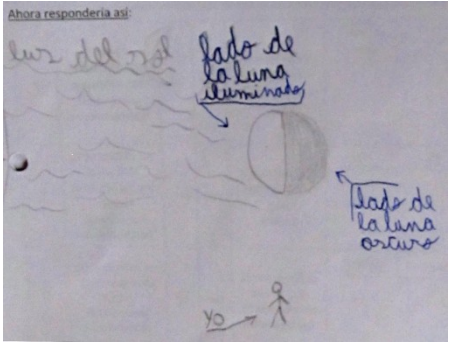
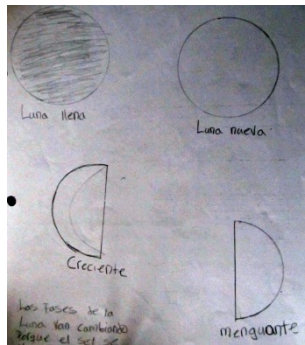
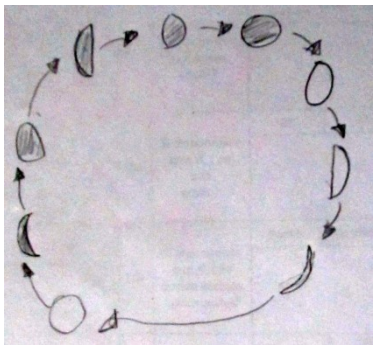
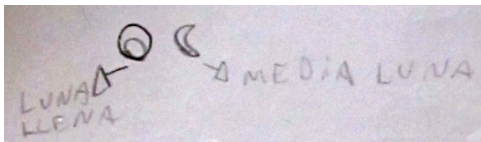
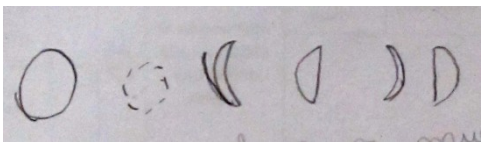
Como puede observarse, la proporción de alumnos que no logra brindar ninguna explicación sobre la causa de las fases lunares descendió considerablemente desde un 53,9% inicial a un 25% al final de la secuencia de actividades (primeras dos filas de **Tabla 7-9**). Al mismo tiempo, el modelo que asocia adecuadamente las fases lunares con el cambio de posición de la Luna en el cielo de un día al otro (M<sub>FL-5</sub>) pasó de no estar presente al inicio, a ser utilizado por la mitad de los alumnos del curso. En este sentido, vale aclarar que el modelo M<sub>FL-1</sub> no es análogo al M<sub>FL-5</sub> dado que los alumnos que utilizan M<sub>FL-1</sub> indican que "las fases se deben un cambio de posición del Sol respecto a la Luna" a partir de un movimiento propio del Sol. En cambio, quienes utilizan M<sub>FL-5</sub> manifiestan, explícitamente, que las fases lunares se deben al cambio de posición de la Luna en el cielo debido a un movimiento propio, y no a uno correspondiente al Sol.

La presencia del modelo M<sub>FL-5</sub> en una proporción importante de los estudiantes muestra una evolución conceptual de los alumnos, muchos de los cuales no podían esbozar una explicación para este fenómeno al inicio de las clases. A su vez, desconocían el cambio rápido de posición que realiza la Luna de un día al otro. Sin embargo, esto no indica que los alumnos hayan logrado comprender adecuadamente cómo se produce todo el ciclo lunar asociado a las fases, incluyendo los cambios en el horario en que ésta se encuentra visible en el cielo local.

Por su parte, algunos resultados obtenidos luego del desarrollo de la secuencia de actividades, como la presencia de respuestas inadecuadas en un 25% de los estudiantes, o la imposibilidad de brindar explicaciones por parte de otro 25%, parecerían indicar que el fenómeno de las fases lunares presenta mayores dificultades para su comprensión que el día y la noche y las estaciones del año.

En la **Figura 7-20** se presentan dibujos y frases de algunos de los alumnos del curso representativos de la evolución conceptual evidenciada en una parte de ellos en relación a la explicación de las fases de la Luna. En algunos casos, los estudiantes llamaron al movimiento propio de la Luna en el cielo como su "rotación" alrededor de la Tierra, quedando en evidencia esta confusión al observar sus dibujos (A<sub>13</sub>).

**Figura 7-20:** Dibujos sobre las fases lunares realizados por estudiantes al inicio y al final de la secuencia de actividades. Se incluyen frases propias representativas de la evolución conceptual de los estudiantes.

Alumno	Al inicio	Al final
A <sub>13</sub>		
	"La Luna se pone así por la rotación del Sol"	"Por la rotación de la Luna y desde qué punto de vista la vemos"
A <sub>23</sub>		
	"Antes estaba mal porque puse que la Tierra le hace sombra a la Luna. Depende donde esté la Luna nosotros vemos distintas partes iluminadas"	
A <sub>20</sub>		
	"Antes puse que las fases iban cambiando porque el Sol se iba moviendo pero aprendí que la Luna se ve distinta porque se va moviendo"	
A <sub>26</sub>		
	Sin explicación	"Cuando la Luna se mueve cambia de lado que le da la luz. Por eso se ve de diferente forma aunque la Luna siempre está así [iluminada por la mitad]"

### 7.3.10.7. Análisis del nivel de evolución conceptual del grupo de clase

La segunda actividad final individual detallada en la **Sección 6.5.10.** consistió en la resolución de un trabajo escrito de "completar las frases" con el fin de cuantificar de algún modo el nivel de comprensión conceptual alcanzado por los estudiantes a partir de la resolución de consignas similares a las desarrolladas por los alumnos durante las clases. En este sentido, la parte 1 estaba centrada en el movimiento diario del Sol y en su relación con el fenómeno del día y la noche. En los ítems 2 y 3 se indagó acerca del movimiento anual del Sol y de su relación con las estaciones del año. Por último, el ítem 4 se centró en la relación entre el movimiento propio de la Luna y sus fases.

La corrección de esta segunda actividad se realizó contando la cantidad de respuestas correctas dadas por cada estudiante en relación con la cantidad de respuestas totales solicitadas. A su vez, como un modo de analizar el grado de dificultad de esta tarea, se comparó el resultado obtenido por cada alumno en las distintas actividades con el puntaje máximo obtenido por alguno de los alumnos del curso en esa misma actividad. En la **Tabla 7-10** se detalla, para cada fenómeno, la cantidad de respuestas solicitadas a cada estudiante y, al mismo tiempo, la cantidad máxima de respuestas correctas dada por algún alumno del curso respecto a ese mismo fenómeno.

**Tabla 7-10:** Cantidad de respuestas solicitadas en la segunda actividad final. Comparación con la cantidad máxima de respuestas correctas dadas por algún alumno.

Tema	Ítems	Cantidad de respuestas solicitadas	Cantidad máxima de respuestas correctas
Movimiento diario del Sol. Día y noche.	1	17	17
Movimiento anual del Sol. Estaciones del año.	2 y 3	19	16
Movimiento propio de la Luna. Fases lunares.	4	8	8
Total de toda la actividad	1 a 4	44	40

Como puede verse, la mayor dificultad para resolver la totalidad de las consignas se detectó en relación a las estaciones del año, donde ningún alumno pudo responder correctamente todo lo solicitado. Esto ocurrió debido a que muchos estudiantes tuvieron dificultades para indicar las fechas de comienzo de las estaciones y/o para relacionar el lugar de salida del Sol, con su horario y estación. Dado que la cantidad máxima de respuestas correctas por tema corresponde a distintos estudiantes, la última fila no coincide con el puntaje máximo obtenido en toda la actividad por alguno de los alumnos.

En la **Tabla 7-11** se presentan los resultados obtenidos por la totalidad del curso al resolver los distintos ítems. Como un modo de poder dejar de lado la dificultad de la tarea solicitada, se supuso que un alumno obtuvo puntaje "10" cuando la cantidad de respuestas respondidas correctamente coincidía con la cantidad máxima de respuestas correctas dadas por algún alumno del curso (100% de respuestas correctas). Por ejemplo, en relación a las estaciones del año se consideró que un estudiante obtuvo un "10" si dio 16 respuestas correctas o, proporcionalmente, que 13 respuestas correctas corresponde a un "8,1". A su vez, como una forma de clasificar estos puntajes, se consideró que un alumno había tenido una evolución conceptual importante si su

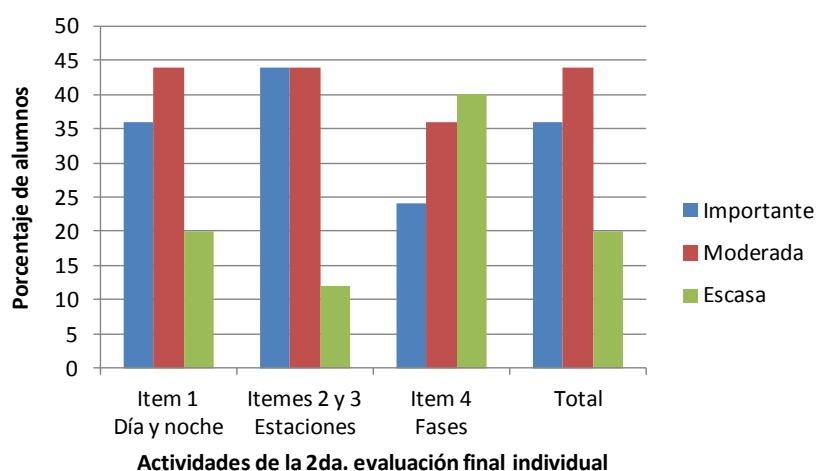
puntaje estaba entre 7 (inclusive) y 10, una evolución moderada si estaba entre 4 (inclusive) y 7, y una evolución escasa si se encontraba por debajo de 4.

**Tabla 7-11:** Resultados obtenidos por los alumnos del curso al resolver la segunda actividad final individual. Proporción de alumnos del curso que han tenido una evolución conceptual importante (puntaje 7 a 10), moderada (puntaje 4 a 7) o escasa (menor a 4).

Tema	Ítems	Evolución importante	Evolución moderada	Evolución escasa
Movimiento diario del Sol. Día y noche.	1	36%	44%	20%
Movimiento anual del Sol. Estaciones del año.	2 y 3	44%	44%	12%
Movimiento propio de la Luna. Fases lunares.	4	24%	36%	40%
Total de toda la actividad	1 a 4	36%	44%	20%

Los datos de la **Tabla 7-11** se encuentran representados en la **Figura 7-21** como una forma de visualizar mejor los resultados obtenidos en esta segunda actividad final. Sin embargo, vale mencionar que estos resultados revisten un carácter relativo en función de que la actividad planteada debe ser tomada como uno más de los indicadores de evolución conceptual, y no como un instrumento objetivo de evaluación de la efectividad de la propuesta llevada a cabo. En este sentido, las secciones que deben responderse sin opciones pueden infravalorar los conocimientos de los estudiantes, especialmente en niños, al poder obtenerse respuestas incorrectas por una falta de comprensión de la consigna a responder o del lenguaje utilizado al redactar una determinada frase. Esto puede haber sucedido en los ítems 1 y 3, y en la segunda parte del ítem 4. En contraposición, las actividades en las que se plantea la elección entre distintas opciones pueden sobrevalorar las respuestas positivas ya que resulta más sencillo reconocer la opción correcta cuando la misma se encuentra presente, que cuando no lo está. Esto puede haber ocurrido en el ítem 2 y en la primera parte del ítem 4.

**Figura 7-21:** Evolución conceptual del grupo de clase a partir de los resultados obtenidos en la segunda actividad final. Proporción de alumnos que ha tenido una evolución importante, moderada o escasa en cada ítem y en el total de la actividad.



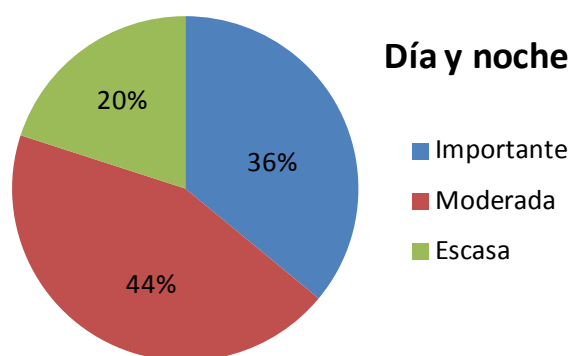
La **Figura 7-21** permite visualizar de un modo cualitativo, a partir de la segunda actividad individual, cómo ha evolucionado conceptualmente el grupo de alumnos luego de la implementación de la propuesta. Como puede advertirse, esta evolución no es de ninguna manera similar en los distintos ítems, lo que implica la presencia de estudiantes que han tenido una evolución conceptual similar en los tres fenómenos astronómicos abordados, mientras que otros han evolucionado en forma diferenciada en función del fenómeno. A su vez, el análisis de la columna de la derecha de la figura muestra que la mayor parte de los estudiantes del grupo ha tenido una evolución conceptual importante o moderada respecto a la totalidad de lo evaluado en esta actividad.

Es importante recordar que, al inicio de las clases, la mayor parte de los estudiantes utilizaba modelos inadecuados desde el punto de vista científico para explicar el día y la noche y que, al mismo tiempo, no se detectaron alumnos que puedan explicar adecuadamente las estaciones del año o las fases lunares (**Sección 7.3.1.**). Esta comparación con el punto de partida es crucial a la hora de analizar la efectividad de la propuesta implementada dado que el proceso de conceptualización se produce siempre en forma gradual y es netamente personal.

En la **Figura 7-22** se visualiza el grado de evolución conceptual en relación al movimiento diario del Sol y a su relación con el fenómeno del día y la noche obtenido a partir de lo respondido en el ítem 1 de la segunda actividad final individual. En este sentido, 9 alumnos del curso (36%) han tenido una importante evolución conceptual al lograr dar 12 o más respuestas correctas de las 17 solicitadas. A su vez, 11 alumnos (44%) han evolucionado en forma moderada al dar entre 7 y 11 respuestas correctas en este mismo ítem. Por último, 5 estudiantes del curso (20%) han tenido una escasa evolución conceptual dado que no han logrado dar más de 6 respuestas correctas. Algunas de las posibles razones por las cuales estos alumnos han evolucionado tan poco en relación a este fenómeno serán analizadas más adelante.

Cabe recordar que este ítem (ítem 1 de la actividad final individual 2) carecía de opciones para elegir la respuesta, por lo que su resolución requería una cierta comprensión conceptual mayor que la correspondiente a otros puntos. A su vez, incluía determinados conocimientos técnicos, como el horario local correspondiente al mediodía solar (13.45 hs), lo cual no fue desarrollado en profundidad durante las clases. Por ese motivo, no resulta llamativo que la mayoría de los estudiantes no haya podido brindar correctamente este dato.

**Figura 7-22:** Evolución conceptual de la totalidad de los alumnos del curso en relación al movimiento diario del Sol y al fenómeno del día y la noche (ítem 1).

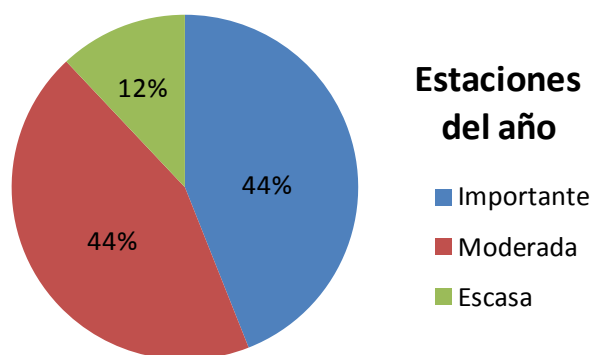




En la **Figura 7-23** se visualiza la evolución conceptual en relación al movimiento anual del Sol y a su relación con el fenómeno de las estaciones del año obtenido a partir de lo respondido en los ítems 2 y 3. Al respecto, 11 alumnos del curso (44%) han tenido una importante evolución conceptual al dar entre 12 y 16 respuestas correctas. A su vez, otros 11 alumnos (44%) han evolucionado moderadamente al dar entre 7 y 11 respuestas correctas. Por último, se ha detectado que sólo 3 estudiantes del curso (12%) han tenido una escasa evolución conceptual en relación a este fenómeno en función de no haber dado más de 6 respuestas correctas.

Dado que el ítem 2 disponía de opciones para elegir la respuesta, es posible que esta sea una de las razones por las cuales se ha detectado una mejor comprensión conceptual de las estaciones del año (12% con escasa evolución conceptual) que del fenómeno del día y la noche (20% de evolución conceptual escasa). Otra posible causa puede ser que los estudiantes estén convencidos de comprender el fenómeno del día y la noche antes del comienzo de las clases, lo cual no sucede con las estaciones, lo que puede provocar gran persistencia de sus modelos y que, por lo tanto, los alumnos los sostengan sin modificaciones aún después de un período intensivo de enseñanza.

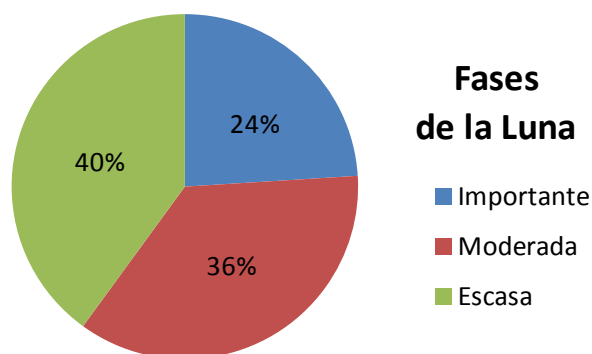
**Figura 7-23:** Evolución conceptual de la totalidad de los alumnos del curso en relación al movimiento anual del Sol y al fenómeno de las estaciones del año (ítems 2 y 3).



En la **Figura 7-24** se visualiza la evolución conceptual en relación al movimiento propio de la Luna y a su relación con el fenómeno de las fases lunares obtenido a partir de lo respondido en el ítem 4. El gráfico muestra que 6 alumnos del curso (24%) han tenido una importante evolución conceptual al dar 7 u 8 respuestas correctas. A su vez, 9 alumnos (36%) han tenido una evolución moderada al dar entre 3 y 6 respuestas correctas. Por último, 10 estudiantes del curso (40%) han tenido una escasa evolución conceptual en relación a este fenómeno en función de no haber podido dar más de 3 respuestas correctas.

Al igual que con las estaciones del año, el ítem 4 correspondiente a las fases lunares poseía opciones entre las cuales los alumnos podían elegir la respuesta. Sin embargo, el porcentaje de alumnos que muestra una escasa evolución conceptual es mucho mayor para el fenómeno de las fases (40%) que para las estaciones (12%), a pesar que la cantidad de clases dedicadas a cada uno de los fenómenos fue similar, e incluso un poco mayor para el primero de ellos. Esto parece reforzar algo ya señalado anteriormente: que el fenómeno de las fases lunares se caracteriza por tener una mayor complejidad conceptual que el día y la noche y las estaciones del año.

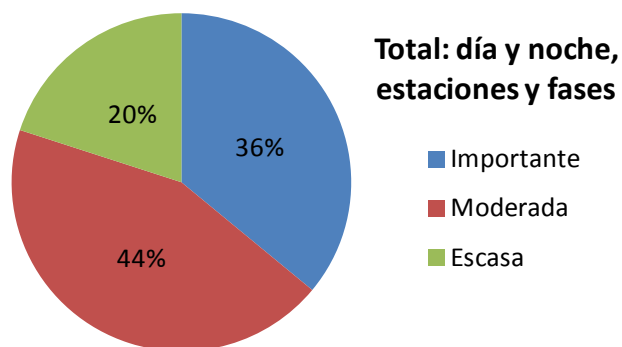
**Figura 7-24:** Evolución conceptual de los alumnos del curso en relación al movimiento propio de la Luna y al fenómeno de las fases lunares (ítem 4).



En la **Figura 7-25** se representa la evolución conceptual de los alumnos del curso en relación a los tres fenómenos astronómicos desarrollados: día y noche, estaciones del año y fases de la Luna. Para ello se tomó en cuenta la cantidad total de respuestas correctas dadas por cada alumno al realizar todas las consignas de la segunda actividad final individual. El gráfico muestra que 9 alumnos del curso (36%) han tenido una importante evolución conceptual al dar entre 28 y 40 respuestas correctas. A su vez, 11 alumnos (44%) han tenido una evolución moderada al dar entre 16 y 27 respuestas correctas. Por último, 5 estudiantes del curso (20%) han tenido una escasa evolución conceptual en relación a estos 3 fenómenos en función de no haber podido dar más de 15 respuestas correctas.

Sin embargo, dado que este resultado total es la suma de todos los puntajes sin discriminar a qué fenómeno corresponde, algunos de los alumnos que han tenido un determinado tipo de evolución conceptual total, es posible que tengan otro tipo de evolución conceptual en relación a alguno de los fenómenos. Por ejemplo, los alumnos  $A_3$  y  $A_5$  han sido identificados con una evolución conceptual escasa en relación a la totalidad de lo evaluado en esta actividad final, aunque fueron clasificados como de una evolución conceptual moderada, aunque ciertamente pobre, en relación a las estaciones del año y a las fases lunares.

**Figura 7-25:** Evolución conceptual de los alumnos del curso en relación a los fenómenos astronómicos cotidianos: día/noche, estaciones y fases (ítemes 1 a 4).



En la **Tabla 7-12** se presenta a la totalidad de los alumnos del curso con su nivel de evolución conceptual correspondiente a cada fenómeno, y a los tres fenómenos juntos, a partir de los resultados de la segunda actividad final individual. Allí puede notarse algo que ha caracterizado a varios de los estudiantes: la evolución conceptual diferenciada por fenómeno. Por ejemplo, llama la atención el desempeño de los alumnos A<sub>12</sub> y A<sub>14</sub>, quienes manifiestan evoluciones conceptualmente distintas para cada fenómeno. Otro caso llamativo es el de los estudiantes A<sub>13</sub>, A<sub>19</sub> y A<sub>20</sub>, quienes muestran una evolución conceptual importante en dos de los fenómenos, y una evolución escasa en el restante. Esto indica la presencia de una gran diversidad de variables dentro del aula, por lo que parece resultar poco factible, y bastante aventurado, extraer conclusiones generales y cuantitativas sobre el grado de efectividad de esta implementación.

**Tabla 7-12:** Clasificación del nivel de evolución conceptual de cada alumno del curso sobre cada uno de los fenómenos astronómicos cotidianos a partir de la resolución de la segunda actividad final individual: evolución importante (IMP), moderada (MOD) o escasa (ESC). En la última columna se incluye el grado de evolución conceptual a partir de los resultados de toda la actividad. Para visualizar mejor los resultados se ha optado por incluir una escala de colores: evolución importante (verde), moderada (amarillo) o escasa (rojo). El alumno A<sub>9</sub> no está en la tabla porque estuvo ausente ese día.

Alumno	Día y noche	Estaciones	Fases lunares	Total
A <sub>1</sub>	MOD	IMP	ESC	MOD
A <sub>2</sub>	MOD	IMP	MOD	MOD
A <sub>3</sub>	ESC	MOD	MOD	ESC
A <sub>4</sub>	ESC	MOD	MOD	MOD
A <sub>5</sub>	ESC	MOD	MOD	ESC
A <sub>6</sub>	MOD	ESC	ESC	ESC
A <sub>7</sub>	IMP	MOD	IMP	IMP
A <sub>8</sub>	IMP	IMP	MOD	IMP
A <sub>10</sub>	IMP	IMP	IMP	IMP
A <sub>11</sub>	ESC	MOD	ESC	ESC
A <sub>12</sub>	IMP	MOD	ESC	MOD
A <sub>13</sub>	IMP	ESC	IMP	IMP
A <sub>14</sub>	MOD	IMP	ESC	MOD
A <sub>15</sub>	ESC	ESC	ESC	ESC
A <sub>16</sub>	MOD	MOD	IMP	MOD
A <sub>17</sub>	MOD	IMP	MOD	MOD
A <sub>18</sub>	IMP	IMP	MOD	IMP
A <sub>19</sub>	IMP	IMP	ESC	IMP
A <sub>20</sub>	IMP	IMP	ESC	IMP
A <sub>21</sub>	MOD	MOD	IMP	IMP
A <sub>22</sub>	MOD	MOD	ESC	MOD
A <sub>23</sub>	IMP	IMP	IMP	IMP
A <sub>24</sub>	MOD	MOD	MOD	MOD
A <sub>25</sub>	MOD	MOD	ESC	MOD
A <sub>26</sub>	MOD	IMP	MOD	MOD

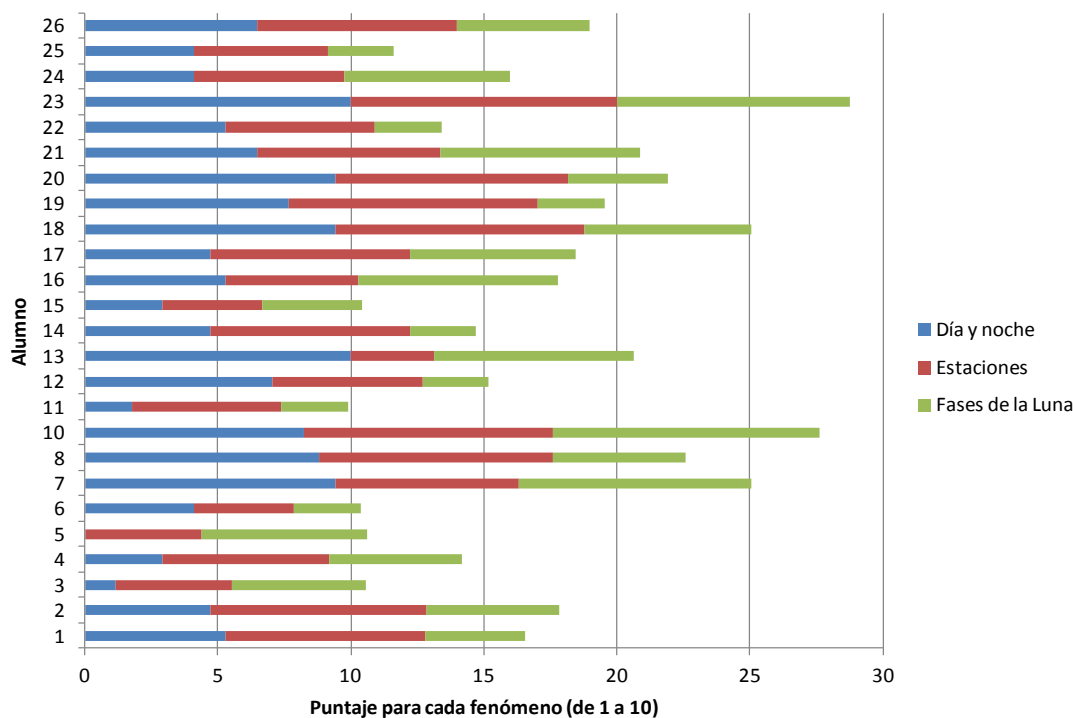
En resumen, 8 alumnos (32%) han mostrado una evolución conceptual importante en uno solo de los fenómenos, 6 los estudiantes (24%) han tenido este mismo tipo de evolución en dos de los fenómenos y, por último, 2 alumnos (8%) manifestaron esta evolución importante en los tres fenómenos. Como ya se ha visto, las estaciones ha sido el fenómeno que presenta la evolución más favorable: 44% de los alumnos con evolución importante y sólo 12% de los estudiantes con evolución escasa.

En contraposición, 11 alumnos (44%) han manifestado una evolución conceptual escasa en alguno de los fenómenos, detectándose a su vez 2 estudiantes (8%) con este tipo de evolución en dos de ellos y 1 alumno (4%) con escasa evolución en los tres fenómenos. Como ya se ha indicado, las fases de la Luna es el fenómeno que presenta la evolución más desfavorable: 40% de los alumnos con evolución escasa, lo que representa una proporción mayor que la correspondiente a los estudiantes con evolución importante (24%) o con evolución moderada (36%).

Por último, la proporción de alumnos que tuvo una evolución conceptual moderada fue prácticamente igual en los tres fenómenos, ubicándose cercana al 40%.

En la **Figura 7-26** puede visualizarse el puntaje obtenido por cada estudiante al responder a los ítems correspondientes a cada fenómeno en la segunda actividad final individual. Se consideró una escala del 1 al 10 para cada uno de los fenómenos, siendo 10 el puntaje asignado si el alumno respondía correctamente todo lo solicitado. En función de ello, el puntaje máximo correspondiente a toda la actividad es 30.

**Figura 7-26:** Puntajes del 1 al 10 obtenidos por cada alumno al realizar la segunda consigna final individual. No se incluye al alumno A<sub>9</sub> debido a que estuvo ausente.



Analizando el puntaje total obtenido por los estudiantes puede notarse que 16 alumnos (64%) ha logrado responder correctamente más de la mitad de lo solicitado en toda la actividad (puntaje superior a 15). Esto evidencia una cierta evolución conceptual favorable de una proporción importante de los estudiantes. En contraposición, sólo uno de los alumnos (A<sub>11</sub>) no logró responder correctamente más de 1/3 de lo solicitado (puntaje menor a 10).

A continuación se detallan algunos datos correspondientes al desempeño particular de algunos estudiantes a partir del análisis de la **Figura 7-26**:

- A<sub>7</sub>, A<sub>10</sub>, A<sub>18</sub> y A<sub>23</sub>: muy buen puntaje en los tres fenómenos (ítems 1 a 4). Evidencian una gran evolución conceptual. Es posible que ciertos rasgos personales influyan en este desempeño.
- A<sub>3</sub>, A<sub>5</sub>, A<sub>6</sub>, A<sub>11</sub> y A<sub>15</sub>: muy bajo puntaje en el total de la actividad. Es posible que ciertos rasgos personales influyan en este desempeño.
- A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, A<sub>5</sub>, A<sub>11</sub> y A<sub>15</sub>: muy bajo puntaje en día y noche (ítem 1). A<sub>5</sub> no respondió este ítem.
- A<sub>6</sub>, A<sub>13</sub> y A<sub>15</sub>: bajo puntaje en estaciones del año (ítems 2 y 3). Sin embargo, A<sub>13</sub> obtuvo muy buenos puntajes en día y noche y fases de la Luna.
- A<sub>6</sub>, A<sub>11</sub>, A<sub>12</sub>, A<sub>14</sub>, A<sub>15</sub>, A<sub>19</sub>, A<sub>22</sub> y A<sub>25</sub>: bajo puntaje en fases de la Luna (ítem 4). Sin embargo, A<sub>18</sub> tuvo muy buen desempeño en día y noche y estaciones.

El análisis de las distintas variables involucradas dentro del desarrollo de la propuesta, y de su incidencia en los aprendizajes de los estudiantes, debe ser complementado mediante la realización de entrevistas individuales. Este es un insumo relevante para analizar la relación entre los resultados obtenidos y el diseño de la ECPE con el fin de sugerir posibles aspectos que deberían ser modificados. Por ese motivo, se llevaron a cabo entrevistas con algunos de los alumnos del curso luego de finalizada la secuencia de clases, las cuales han permitido continuar analizando cómo ha sido el proceso de evolución conceptual por parte de ellos.

#### **7.4. Análisis del proceso de conceptualización a partir de entrevistas individuales**

Al finalizar la implementación de la secuencia de actividades, se realizaron entrevistas semiestructuradas a diez estudiantes del curso, los cuales se ofrecieron voluntariamente para participar de las mismas. Esta selección, que incluyó a alumnos que habían asistido a la mayoría de las clases y participado activamente en ellas, no tuvo en cuenta el desempeño de los mismos en las actividades finales individuales, por lo cual algunas entrevistas muestran una escasa evolución conceptual en relación a alguno de los tres fenómenos abordados.

Este modo de selección de los alumnos no resulta problemático metodológicamente dado que esta tesis no busca arribar a conclusiones generales y cuantitativas sino que, por el contrario, intenta poner en discusión una metodología alternativa de enseñanza de los fenómenos astronómicos cuya efectividad masiva deberá ser validada por futuras investigaciones a partir de su adaptación e implementación en otros contextos aúlicos.

Las entrevistas estaban planteadas en función de la comparación entre las explicaciones dadas al principio de la secuencia didáctica para explicar los fenómenos astronómicos cotidianos, y su modificación o no al finalizar la misma. En este sentido, se planteó que los estudiantes expliquen la primera actividad final individual, que solicitaba realizar en forma escrita esta misma comparación. Para ello, cada estudiante pudo observar sus propios dibujos y explicaciones iniciales y finales con el fin de que los analicen, puntualizando cuestiones que se deberían modificar. El entrevistador planteó la siguiente consigna al inicio de cada una de las entrevistas:

*"La idea es que mires tus dibujos y que cuentes qué aprendiste sobre el día y noche, las estaciones y las fases: qué era lo que habías respondido antes, qué cosas se podrían modificar, qué es lo que seguro habría que sacar y cómo lo explicarías ahora."*

A continuación se analizan las respuestas dadas en las entrevistas en relación a cada uno de los tres fenómenos astronómicos desarrollados (día y noche, estaciones del año y fases de la Luna) y al movimiento celeste asociado con cada uno de ellos (movimiento diario del Sol, movimiento anual del Sol y movimiento propio de la Luna). Para este análisis se transcriben algunas partes de las entrevistas y se indica cuál fue el alumno entrevistado y en qué nivel de evolución conceptual (importante IMP, moderada MOD o escasa ESC) fue catalogado a partir de sus respuestas dadas en la segunda actividad final individual (ver **Tabla 7-12**)

#### 7.4.1. Evolución conceptual sobre el día y la noche y el movimiento diario del Sol

En cuanto al día y la noche, casi todos los entrevistados pudieron indicar adecuadamente que la noche se debe a la ausencia del Sol, en contraposición a las explicaciones iniciales de la mayor parte de los alumnos, en donde sostenían que la noche estaba identificada con la presencia de la Luna.

(E <sub>1</sub> ; A <sub>7</sub> ; 4) IMP	<p>A: <i>Es de día cuando nosotros vemos el Sol y de noche cuando no está el Sol.</i>  D: <i>¿Antes de empezar las clases qué hubieses puesto?</i>  A: <i>Lo mismo.</i>  D: <i>Fijate acá, a ver si pusiste lo mismo [al inicio de las clases]. Pusiste: "La Luna está algunas veces cuando el Sol sale". ¿No está la Luna siempre de noche?</i>  A: <i>No.</i>  D: <i>Lo que habías puesto antes estaba bien, entonces, porque no decía que estaba todas las noches.</i></p>
(E <sub>2</sub> ; A <sub>16</sub> ; 4) MOD	<p>A: <i>La noche es la ausencia de Sol y el día cuando está el Sol.</i>  D: <i>¿Y antes que pensabas?</i>  A: <i>Cuando era de noche estaba la Luna.</i></p>
(E <sub>4</sub> ; A <sub>18</sub> ; 2) IMP	<p>A: <i>El Sol sale por algún lugar del este, sólo dos veces al año sale por el este, y da toda la vuelta... O sea, sale el Sol y se hace de día. Y cuando se pone el Sol se hace de noche porque ya no hay nada que ilumine.</i>  D: <i>Bien, veamos qué habías dibujado antes y si le harías alguna modificación.</i>  Pusiste: <i>"El Sol sale por el este (cerro Piltri) y se pone por el oeste (cordillera) y sale la Luna alumbrada por el Sol".</i>  A: <i>No, eso estaba mal, lo de la Luna, pero después no estaba tan mal, excepto por esto de que no sale por el este, sino por algún lugar del este...</i>  D: <i>Bien. ¿Por qué hay que sacar la Luna?</i>  A: <i>Porque la luna no tiene nada que ver con la noche.</i></p>
(E <sub>5</sub> ; A <sub>14</sub> ; 2) MOD	<p>A: <i>Es de día porque el Sol está arriba y alumbra al planeta y es de noche cuando el Sol se pone por algún lugar de la Cordillera.</i>  D: <i>Y antes, ¿estaba bien eso que pusiste? Tenías que explicar el día y la noche, hiciste ese dibujo, ¿estaba bien? ¿Lo modificarías?</i>  A: <i>Sí, lo cambiaría.</i>  D: <i>¿Por qué? ¿Hay algo que está mal ahí?</i>  A: <i>Sí, dónde se esconde el Sol y dónde está saliendo.</i>  D: <i>Acá involucraste las nubes para el día y la noche, ¿tiene algo que ver?</i>  A: <i>No.</i></p>

D: *Bien. Ese sería el cambio fundamental que tendrías que hacer. ¿Acá pusiste que harías a la Luna de vuelta?... ¿Eso dice acá? ¿Tendrías que dibujar la Luna para explicar el día y la noche?*

A: *No*

---

(E<sub>6</sub>; A<sub>26</sub>; 2)

MOD

A: *El día es cuando está el Sol y la noche cuando se va.*

D: *Veamos qué habías puesto antes y si cambiarías algo. Habías puesto: "cuando es de día todo es más cálido y tranquilo, sin embargo, la noche es fría y desastrosa a veces". Bueno, ¿cambiarías algo en estos dibujos?*

A: *Borraría la Luna, porque no tiene que ver.*

---

(E<sub>7</sub>; A<sub>10</sub>; 1)

IMP

A: *El día y la noche... A mí me parece ahora que es de día cuando sale el Sol y de noche cuando se oculta por debajo de nuestro horizonte.*

D: *¿La Luna tiene algo que ver con el día y la noche?*

A: *No.*

---

(E<sub>8</sub>; A<sub>15</sub>; 2)

ESC

A: *Es de día porque está el Sol y es de noche porque se esconde y se va.*

D: *Bien. Vamos a revisar día y noche para ver qué habías puesto antes.*

A: *Le cambiaría algo acá: la Luna. Porque no tiene nada que ver con la noche.*

---

(E<sub>9</sub>; A<sub>17</sub>; 2)

MOD

A: *Antes yo ni siquiera sabía que el Sol salía por el este. Sabía que salía por el Piltri, pero no por el este.*

D: *O sea, no sabías que el Piltri estaba hacia el este.*

A: *Claro.*

D: *¿Qué pensabas sobre el día y la noche? ¿Por qué era de día y por qué era de noche?*

A: *Yo no sabía que la Luna no tenía que ver con el día y la noche.*

D: *Leamos lo que escribiste antes. Habías hecho este dibujo. Y dice: "Cuando la Tierra da vueltas queda el Sol de un lado y la Luna del otro. Cuando la Tierra da la media vuelta pega del lado de la Luna". ¿Qué modificarías?*

A: *Que cuando el Sol está arriba del horizonte es cuando es de día y cuando está por debajo es cuando es de noche.*

D: *Está bien, pero en este dibujo que hiciste antes, ¿qué habría que cambiar?*

A: *La Luna.*

D: *Cuando hablabas del Sol saliendo y poniéndose, decías sale del este. ¿Te referís a que sale siempre por el mismo lugar?*

A: *No. Porque siempre va a salir por el este, pero nunca exactamente por el este. Sale más al sur o más al norte.*

---

(E<sub>10</sub>; A<sub>23</sub>; 1)

IMP

D: *Tenés que contarme lo que dibujaste antes. Cómo cambiarías lo que habías hecho y cómo explicarías el día y la noche y el recorrido del Sol.*

A: *Acá puse una casa, como si acá estuviésemos nosotros parados, puse el horizonte y los puntos cardinales y puse el recorrido del Sol, cómo pasa por arriba del horizonte y por el otro lado del horizonte, por abajo. Ahí con algunas palabras expliqué qué era cada uno. Esta línea es el recorrido que hace el Sol por arriba de nuestro horizonte, en ese momento sería de día y cuando se esconde y pasa por debajo de nuestro horizonte, sería de noche.*

D: *¿Antes cómo lo habías explicado? Lo habías explicado de otra manera, ¿no?*

A: *Antes había explicado viendo desde afuera de la Tierra: que la luz del Sol alumbra sólo la mitad de la Tierra haciendo que el otro lado sea de noche. Escribí: "La luz del Sol alumbra sólo un lado de la Tierra".*

D: *Bien, ¿habría que modificar algo de ese dibujo que hiciste?*

A: *No tendría que haberle dibujado la Luna...*

D: *¿Por qué?*

A: *Porque la Luna no tiene nada que ver. También lo podría dibujar desde el punto visto desde la Tierra y así lo podría explicar y entender mejor.*

---

En las transcripciones anteriores queda en evidencia la evolución conceptual en relación al fenómeno del día y la noche por parte de nueve de los estudiantes entrevistados, destacándose algunas cuestiones particulares:

- (E<sub>4</sub>) A<sub>18</sub> evidencia una gran evolución conceptual a partir de poder explicitar sus aprendizajes en relación a que la Luna no tiene que ver con el día y la noche y que la salida del Sol no es "por el este", sino "por algún lugar del este".
- (E<sub>8</sub>) A<sub>15</sub> muestra una mayor evolución conceptual oralmente que al realizar la segunda actividad final escrita individual, donde su desempeño hizo que se lo catalogara con una escasa evolución. Esto puede deberse a dificultades de comprensión de lo solicitado en la actividad individual "de completar frases".
- (E<sub>9</sub>) A<sub>17</sub> muestra claramente su evolución conceptual a partir de poder explicitar que al inicio de las clases no sabía que el cerro "Piltri" se encuentra hacia el este y que *"ahora sabe que Luna no tiene relación con el día y la noche"*.
- (E<sub>10</sub>) A<sub>23</sub> demuestra una gran evolución conceptual en relación a la utilización y valoración del sistema de referencia topocéntrico.

Por su parte, un solo estudiante entrevistado (A<sub>2</sub>) continuó identificando el inicio de la noche con la salida de la Luna, lo que pareciera confirmar la persistencia de este modelo tan utilizado por la mayoría de los niños, y también por muchos adultos.

---

(E <sub>3</sub> ; A <sub>2</sub> :6)	D: <i>¿Por qué se hace de noche?</i>
MOD	A: <i>Se hace de noche cuando el Sol baja y sale la Luna y se ven estrellas.</i>

---

En relación al movimiento diario del Sol, la mayor parte de los alumnos entrevistados logró describirlo adecuadamente cuando se los consultó acerca de los lugares de salida y puesta del Sol y de su posición al mediodía (solar). Varios estudiantes incluso indicaron que las salidas y las puestas no se producen justo por el este o por el oeste todos los días del año. Sin embargo, algunos de los alumnos no pudieron decir cuál es el horario local en que ocurre el mediodía solar.

---

	A: <i>El Sol sale por el este y se pone por el oeste.</i>
	D: <i>¿Justo por el este y el oeste todo el año?</i>
(E <sub>1</sub> ; A <sub>7</sub> : 13)	A: <i>No, no, algunas veces nomás, creo que un día, dijimos.</i>
	D: <i>¿Y al mediodía? ¿Hacia dónde se ubica el Sol?</i>
IMP	A: <i>Allá.</i>
	D: <i>¿Hacia el norte sería? ¿O hacia el sur?</i>
	A: <i>Hacia el norte.</i>

---

	A: <i>Sale por el este y se pone por el oeste.</i>
(E <sub>2</sub> ; A <sub>16</sub> : 8)	D: <i>¿Es justo por el este que sale?</i>
	A: <i>No, no siempre.</i>
MOD	D: <i>¿Te acordás más o menos el horario del mediodía?</i>
	A: <i>Doce y media, una.</i>

---

	D: <i>Bien. Se pone por algún lugar del oeste... ¿Y al mediodía hacia donde tengo que mirar para verlo?</i>
(E <sub>4</sub> ; A <sub>18</sub> : 3)	A: <i>Hacia el norte.</i>
IMP	D: <i>¿Te acordás del horario del mediodía?</i>
	A: <i>Sí, creo que era 13.45.</i>

---



(E <sub>5</sub> ; A <sub>14</sub> ; 12)	<p>D: Y al mediodía, ¿hacia donde tengo que mirar el Sol?</p> <p>A: Al mediodía... ¿acá?</p> <p>D: ¿Justo arriba de mi cabeza? Dijiste que sale allá [hacia el este], se pone acá [hacia el oeste] y señalaste el medio... ¿Hacia dónde busco el Sol al mediodía?</p> <p>A: Hacia allá. Sí, para allá. [señala el norte]</p>
MOD	
(E <sub>6</sub> ; A <sub>26</sub> ; 4)	<p>A: De día el Sol sale por alguna parte del este y se pone por el oeste.</p> <p>D: ¿Hacia dónde tenés que mirar al mediodía para ver el Sol?</p> <p>A: Para el norte.</p> <p>D: ¿Te acordás el horario del mediodía?</p> <p>A: Doce y media, por ahí.</p>
MOD	
(E <sub>7</sub> ; A <sub>10</sub> ; 3)	<p>A: El Sol sale por el este, se oculta por el oeste. En el punto más alto del Sol se encuentra justo mirando hacia el norte y la sombra es la más corta del día.</p> <p>D: ¿A qué hora es el mediodía?</p> <p>A: A las 13.45.</p>
IMP	
(E <sub>8</sub> ; A <sub>15</sub> ; 4)	<p>A: El Sol sale por el este y se esconde por el oeste.</p> <p>D: Para verlo al mediodía, ¿para dónde lo tengo que buscar?</p> <p>A: Estaría más o menos por acá...</p> <p>D: ¿Qué punto cardinal es?... ¿Por dónde sale el Sol?</p> <p>A: Por el este.</p> <p>D: ¿Dónde queda? Señálalo.</p> <p>A: Allá. [Señala hacia el este]</p> <p>D: Bien. ¿Y hacia allá qué punto queda?</p> <p>A: El norte.</p> <p>D: Bien. Entonces, al mediodía, ¿para dónde mirás el Sol?</p> <p>A: Al norte.</p> <p>D: ¿Te acordás a qué hora el Sol está en la mitad de su recorrido?</p> <p>A: No.</p> <p>D: Cuando vos dijiste que el Sol sale por el este y se pone por el oeste, ¿sale justo por el este y se pone justo por el oeste todo el año?</p> <p>A: No.</p>
ESC	
(E <sub>9</sub> ; A <sub>17</sub> ; 16)	<p>A: El Sol hace un recorrido desde una parte del este al oeste y se va hacia el norte y al mediodía está más cerca del norte...no sé cómo explicarte...</p> <p>D: ¿Para dónde tengo que mirar para ver el Sol al mediodía?</p> <p>A: Hacia el norte.</p> <p>D: ¿Te acordás del horario del mediodía?</p> <p>A: Aproximadamente, acá en El Bolsón, a las 13.45.</p>
MOD	
(E <sub>10</sub> ; A <sub>23</sub> ; 9)	<p>D: Y el recorrido del Sol, ¿al mediodía hacia dónde tengo que observarlo?</p> <p>A: Hacia el norte.</p> <p>D: Bien. ¿Te acordás a qué hora es el mediodía?</p> <p>A: A las 13 y 40 minutos, algo así...</p>
IMP	

Del mismo modo que con la explicación del día y la noche, A<sub>2</sub> también mostró una escasa evolución conceptual respecto al movimiento diario del Sol, lo cual se contradice con su desempeño en la actividad escrita individual de cierre, la cual pudo haber sido resuelta a partir de respuestas memorísticas. Esto parece indicar ciertas dificultades individuales de comprensión por parte del alumno, que estuvo presente en las clases y participó activamente de las actividades:

- 
- (E<sub>3</sub>; A<sub>2</sub>; 20)  
MOD
- A: *[El Sol] Sale por el este, no tan por el este, sale al sur del este.*  
 D: *¿Todo el año sale al sur del este?*  
 A: *No. Se va cambiando de posición.*  
 D: *¿Y se pone?*  
 A: *Y se pone por algún lugar del oeste.*  
 D: *¿Y al mediodía? ¿Mirando hacia dónde lo verías?*  
 A: *Mirando hacia el oeste.*  
 D: *¿Y el horario del mediodía solar?*  
 A: *Era a las doce y algo.*
- 

Como ha quedado en evidencia, la información recabada mediante entrevistas no coincide necesariamente con la obtenida a partir de actividades escritas, lo cual justifica su realización y evidencia las dificultades intrínsecas relacionadas con el análisis del proceso de conceptualización. Sin embargo, la comparación entre las respuestas iniciales y lo expresado en las actividades y en las entrevistas finales, permite identificar una evolución conceptual positiva sobre el fenómeno del día y la noche en la mayoría de los estudiantes.

#### 7.4.2. Evolución conceptual sobre las estaciones y el movimiento anual del Sol

En cuanto a las estaciones del año, todos los estudiantes entrevistados pudieron asociar adecuadamente este fenómeno con el corrimiento anual del Sol hacia el norte y hacia el sur. Sin embargo, sólo algunos alumnos pudieron asociar explícitamente dicho corrimiento con el cambio en la altura del Sol al mediodía y con la variación de la inclinación de los rayos solares. En contraposición a esto, al inicio de las clases ningún estudiante había podido brindar una explicación adecuada acerca de este fenómeno.

- 
- (E<sub>1</sub>; A<sub>7</sub>; 27)  
MOD
- D: *Me hablaste de cambios en la salida del Sol, que no salía siempre justo en el este, que iba cambiando más al norte y más al sur. La pregunta es: ¿eso tiene algo que ver con las estaciones del año?*  
 A: *Sí, es que nosotros como estamos más al sur, está más lejos y eso hace que...no sé.*  
 D: *Pero, "está más lejos", ¿qué querés decir?*  
 A: *Como que está más al norte. [el Sol]*  
 D: *¿Y en verano?*  
 A: *Más al sur.*
- 

- (E<sub>2</sub>; A<sub>16</sub>; 11)  
MOD
- D: *¿Y te acordás en esta época del año [junio] para qué lado se mueve el Sol?*  
 A: *Ahora, más al norte.*  
 D: *¿A la izquierda o a la derecha?*  
 A: *A la izquierda. [del este]*  
 D: *Bien. ¿Eso tiene algo que ver con las estaciones del año?*  
 A: *Sí, porque cuando se mueve para allá [el norte] es como que se aleja el Sol, nos alumbra, no nos llegan tanto los rayos de Sol a la Tierra.*  
 D: *¿Eso es por qué está más lejos en distancia de la Tierra?*  
 A: *No, es que está tipo más inclinado...*  
 D: *¿Tiene relación con la altura del Sol? ¿Si está más alto o más bajo?*  
 A: *No.*
- 

- (E<sub>3</sub>; A<sub>2</sub>; 14)  
IMP
- A: *En verano el Sol sale más temprano y llega a su punto más alto en el cielo, o sea, no está arriba de nuestras cabezas, está a un costado de la cabeza y en el invierno es cuando se va casi a la punta del noreste.*  
 D: *¿Por dónde sale en verano?*  
 A: *Sale hacia el sureste y se acuesta hacia el suroeste.*

D: Y que el Sol se vaya hacia el norte... ¿por qué es invierno?  
A: Es invierno porque no está en su posición más alta, está en la posición más baja donde los rayos tienen menos calor y hace más frío.

---

(E<sub>4</sub>; A<sub>18</sub>; 12)  
IMP  
A: Es verano cuando el Sol se inclina hacia el sur y es invierno cuando se inclina hacia el norte y primavera y otoño es cuando está justo por el este.  
D: Acá pusiste que el 21 de junio, cuando comienza el invierno, sale al norte del este, ¿por dónde se pone?  
A: Al norte del oeste.  
D: ¿Por qué estar al norte genera que sea invierno?  
A: Porque es su recorrido más bajo y porque el Sol nos llega menos a nosotros, o sea, los rayos nos llegan menos, entonces hace más frío.  
D: Con decir "nos llegan menos", ¿a qué te referís? ¿Dónde ves el Sol?  
A: Más bajo. No llegan tan bien como cuando está ahí arriba, cuando es verano.  
D: Cuando decís que en verano está "ahí arriba", ¿estás diciendo que está arriba de nuestras cabezas en verano?  
A: No, nunca el Sol está arriba de nuestras cabezas.  
D: Bien. A ver qué habías hecho antes de estaciones. Dice: "Cambia porque en invierno las nubes tapan el Sol".  
A: Es malísimo, lo que sucede es que yo estaba... Yo ahí pensaba que eran las nubes las que tapaban el Sol.

---

(E<sub>6</sub>; A<sub>26</sub>; 16)  
IMP  
A: Verano es cuando el Sol está más al sur y nos dan más los rayos. Cuando está al norte es invierno. Cuando está en el medio es otoño o primavera.  
D: Bien. Decís que cuando se va al norte es invierno. ¿Por qué hace más frío en invierno?  
A: Porque llegan los rayos muy inclinados.  
D: ¿Y las horas de luz?  
A: Son pocas.

---

Por otro lado, a partir de los resultados de la segunda actividad escrita individual y de lo manifestado en las entrevistas, es posible evidenciar que algunos estudiantes tuvieron una evolución conceptual muy importante, tomando conciencia sobre cómo debían ser modificadas sus explicaciones anteriores y pudiendo describir con precisión el movimiento anual del Sol y, en función del mismo, explicar las estaciones del año:

---

(E<sub>7</sub>; A<sub>10</sub>; 16)  
IMP  
D: Hiciste un dibujo [Figura 7-19]. ¿Cuándo es invierno y cuándo es verano?  
A: Comienza el invierno cuando el Sol sale más al norte del este. Es otoño y primavera cuando está justo en el este y en verano cuando está al sur del este.  
D: Bien. Antes dijiste que está más al norte del este cuando empieza el invierno. ¿Cuándo el Sol está justo en el este es todo el otoño?  
A: No. Es cuando comienza. Y más al sur del este cuando comienza el verano.  
D: ¿Te acordás qué día es cuando sale más al norte del este?  
A: El 21 de junio.  
D: ¿Hoy la puesta del Sol por donde es?  
A: Por el norte del oeste.  
D: ¿Y el día del comienzo del verano?  
A: Por el sur del oeste.  
D: ¿Y por qué que el Sol esté saliendo más al norte genera que sea invierno?  
A: Porque hace el recorrido más corto del año y por eso el Sol no ilumina tanto.  
D: ¿Es sólo eso o hay algo más?...  
A: Sí, hay pocas, muy pocas horas de luz.  
D: Si mirás el Sol al mediodía... ¿hay diferencia entre el verano y el invierno?  
A: En invierno cuando mirás al mediodía la sombra es mas larga porque el Sol está mas inclinado hacia el norte.  
D: ¿Y en verano?  
A: El Sol en verano al mediodía hace un recorrido más alto, está más alto y la sombra es mucho mas corta.

D: *¿Cuándo está en su parte más alta, pasa por sobre nuestras cabezas?*

A: No.

D: *Antes habías puesto que tiene que ver con la distancia entre el Sol y la Tierra.*

*Mirá, ¿cómo habías representado las estaciones? [Al inicio de las clases]*

A: *Lo había representado haciendo el Sol o más chiquito o más grande.*

D: *Acá decís que el Sol se ve más grande en verano y más chico en invierno.*

*¿Eso implica que el Sol esté más lejos nuestro? ¿Qué se alejó de la Tierra?*

A: No.

---

A: *Aprendí que [el Sol] va saliendo más al norte del este o más al sur...*

D: *¿Qué estación genera cuando va al norte? ¿Y cuándo va al sur?*

A: *Cuando sale más al norte, acá, que vivimos en el sur, esos días es invierno, porque los rayos llegan más inclinados. Y cuando sale más al sur sería verano...porque llegan más... ¿verticales?*

(E<sub>9</sub>; A<sub>17</sub>; 18)

D: *Más cerca de la vertical.*

IMP

D: *¿Te acordás cómo se llama cuando está más al sur, o en el medio?*

A: *Cuando está en el medio es 21 de marzo y de septiembre, que sería otoño y primavera, y cuando sale más al norte es el 21 de junio y es cuando empieza el invierno y cuando sale más al sur es el 21 de diciembre, que empieza el verano.*

D: *¿Te acordás que tiene un nombre cada uno de esos instantes?*

A: Sí. *Solsticios y equinoccios.*

---

A: *Estaciones ahora lo expliqué con el Sol, dibujé una montaña, como si fuera el Piltri, y dibujé un Sol de verano, más hacia el sur, un Sol de primavera y otoño, justo en el este y uno de invierno hacia el norte.*

D: *Y, ¿esto de que en invierno esté más al norte, qué provoca?*

A: *Como nosotros estamos al sur de la Tierra y los rayos del Sol nos pegan inclinados, hace que sintamos menos calor.*

D: *Esta es la salida del Sol el 21 de junio, pusiste que el Sol sale al norte del este, ¿se pone por dónde?*

A: *Al norte del oeste.*

D: *¿Y el 21 de diciembre?*

(E<sub>10</sub>; A<sub>23</sub>; 14)

A: *Al sur del oeste.*

IMP

D: *Y a lo que habías dibujado antes, ¿qué le cambiarías?*

A: *Y...muchas cosas. Acá dibujé cómo me parecía que se provocaban las estaciones del año. No tenía mucha idea e hice que el recorrido de la Tierra alrededor del Sol sea ovalado, haciendo que hayan dos veranos y dos inviernos, en toda la Tierra la misma estación.*

D: *¿Cambiaste ya esta idea?*

A: Sí.

D: *¿Qué te resulta más sencillo de entender? Más allá de que esta, de afuera de la Tierra, no la trabajamos...esta que sí trabajamos, desde adentro de la Tierra, ¿te resulta más sencilla, más complicada?*

A: *Más fácil es pensarlo así [desde adentro].*

---

Al igual que con el día y la noche, el alumno A<sub>15</sub> mostró una evolución conceptual importante en relación a la estaciones del año y al movimiento anual del Sol en la entrevista, mientras que en la actividad individual escrita su evolución había sido catalogada como "escasa". Esto puede deberse a dificultades propias para la comprensión de consignas escritas, lo cual puede haber ocurrido de igual modo con algunos otros de los estudiantes que no han sido entrevistados:

- 
- (E<sub>8</sub>; A<sub>15</sub>; 39)  
ESC
- A: *Verano es porque el Sol está un poquito más cerca y te dan más los rayos. Invierno es porque está más para allá, más lejos y da poquito y otoño... sería en el medio de esos. [Realiza gestos con el brazo variando la altura del Sol]*  
D: *Dijiste recién que en verano está más alto el Sol...*  
A: *Sí. Y entonces hacía más calor.*  
D: *En invierno está más bajo y en otoño estaría en el medio. En alturas, por lo que señalaste recién con las manos.*  
A: *Sí.*  
D: *Ahora, también dijiste que el Sol estaba más lejos, ¿Se va más lejos el Sol?*  
A: *No.*  
D: *Y qué esté más bajo el Sol, ¿tiene algo que ver con el cambio en su salida?*  
A: *Sí. Qué no sale en el mismo lugar, se mueve para este costado o para este.*  
D: *Bien. Cuándo la salida se mueve a la izquierda, ¿qué estación tenemos?*  
A: *Otoño, no, verano. Cuando se mueve para acá [indica la derecha] es verano.*  
D: *Entonces, cuando se mueve hacia acá la salida, a la izquierda, ¿qué es?*  
A: *Invierno.*  
D: *¿Y en otoño?*  
A: *Sale por el medio.*  
D: *En algún momento del año, ¿tengo al Sol al mediodía sobre mi cabeza?*  
A: *No. Nunca. En El Bolsón, nunca.*  
D: *Miremos tu dibujo anterior de estaciones, a ver si le modificarías algo. Antes habías dibujado la playa, la nieve... ¿Le agregarías o modificarías algo ahora?*  
A: *Creo que nada.*  
D: *¿Cuál sería la diferencia entre estaciones? ¿Pasa algo en el cielo?*  
A: *Sí. El Sol se mueve de lugar.*  
D: *Bien. ¿Qué podrías agregar, entonces, en tu dibujo anterior?*  
A: *Que el Sol esté más arriba en verano. Y en invierno, que esté más bajo.*
- 

Por su parte, el alumno A<sub>14</sub>, que ha tenido una evolución conceptual importante en la actividad escrita individual, muestra que todavía no ha logrado construir una explicación completa del fenómeno de las estaciones que relacione la posición del Sol en el cielo con su altura y, en consecuencia, con la inclinación de sus rayos. En este sentido, aunque indica apropiadamente los cambios en el lugar de salida y puesta del Sol, manifiesta inadecuadamente que el Sol está más alto en invierno y más bajo en verano, lo que parece estar asociado con un modelo que relaciona la posición del Sol en el cielo, más al norte o más al sur, con la variación de su distancia a nuestro planeta. Este nuevo modelo podría aparecer en los estudiantes a partir de la síntesis de dos modelos distintos: el que indica inadecuadamente que las estaciones se deben a la distancia variable entre la Tierra y el Sol (detectado en los alumnos antes del inicio de la secuencia de actividades) y el que asocia las estaciones con el cambio anual de la posición del Sol en el cielo (que fue desarrollado en las clases):

- 
- (E<sub>5</sub>; A<sub>14</sub>; 15)  
IMP
- D: *Vos dijiste que el Sol sale por el este, ¿siempre por el mismo lugar del este?*  
A: *No. Se va corriendo con las estaciones.*  
D: *¿Cómo se corre?*  
A: *Se va corriendo así: queda en el medio y se corre más [hacia el sur], queda allá y después cuando viene la primavera, viene volviendo [hacia el norte].*  
D: *Y ahora, en invierno, ¿por dónde sale el Sol?*  
A: *Por algún lugar del este.*  
D: *Sí, pero por el medio, hacia la derecha, hacia la izquierda...*  
A: *A la izquierda.*  
D: *Sería del este al...*  
A: *¿Norte?*  
D: *¿Y en verano?*  
A: *Del este hacia el... sur.*  
D: *¿En otoño?*  
A: *En el medio.*

D: *¿Qué punto cardinal sería?*  
A: *Este.*  
D: *En invierno, que la salida se fue hacia el norte del este, ¿se corrió también la puesta? O sea, ¿por donde es la puesta del Sol en invierno?*  
A: *Corrido del oeste hacia el norte.*  
D: *¿Eso tiene que ver con las estaciones?*  
A: *Sí. Porque se va más allá [al norte] y cada vez va haciendo más frío.*  
D: *¿La altura del Sol cambia a lo largo del año?*  
A: *Sí.*  
D: *¿Cómo cambia? ¿En verano, en invierno? ¿Está más alto, más bajo?*  
A: *En invierno está más arriba y en verano está más abajo.*  
D: *¿Qué esté más abajo hace que tengamos más calor?*  
A: *Sí.*  
D: *¿Qué esté más arriba hace que tengamos menos calor?*  
A: *Sí. Más alejado...*

En función de las entrevistas es posible concluir que la mayoría de los estudiantes han tenido una evolución conceptual favorable en relación a las estaciones del año, evolución que queda en evidencia al comparar sus explicaciones finales con las dadas al inicio de la secuencia. Sin embargo, algunos alumnos confunden la expresión "el Sol se desplaza hacia el sur", utilizada para indicar su cambio de posición en la esfera celeste, con "el Sol se acerca a nosotros", la cual indica un cambio en la distancia entre dicho astro y nuestro planeta. En contraposición, algunos de los estudiantes entrevistados evidencian una evolución conceptual muy importante, llegando incluso a manifestar que les resulta más sencillo pensar estos fenómenos a partir de lo que se observa desde la superficie terrestre que desde el espacio exterior (E<sub>10</sub>; A<sub>23</sub>; 26).

### 7.4.3. Evolución conceptual sobre las fases y el movimiento propio de la Luna

En cuanto a las fases de la Luna, la mayoría de los estudiantes entrevistados pusieron en evidencia conocimientos relacionados con el lado iluminado de la Luna y con el horario de observación correspondiente a cada fase, logrando incluso relacionar esto con la observación de la Luna el mismo día de realización de la entrevista (A<sub>7</sub>, A<sub>2</sub> y A<sub>10</sub>).

(E<sub>1</sub>; A<sub>7</sub>; 41)  
IMP  
D: *¿Te acordás qué lado se ve iluminado en cada fase?*  
A: *Sí. Creciente es el lado izquierdo, menguante el lado derecho.*  
D: *¿En qué momento se ve la creciente?*  
A: *De noche, creo.*  
D: *¿Hoy la viste la Luna a la mañana? ¿De qué lado estaba iluminada?*  
A: *Sí. Derecho. Era menguante.*

(E<sub>3</sub>; A<sub>2</sub>; 45)  
MOD  
D: *¿Viste la Luna esta mañana?*  
A: *Sí. Estaba así y un poquito más.*  
D: *¿Qué lado tenía iluminado?*  
A: *El derecho.*  
D: *¿Eso quiere decir que está creciendo o menguando?*  
A: *Menguando.*

(E<sub>4</sub>; A<sub>18</sub>; 45)  
MOD  
D: *Y si el Sol viniera desde la derecha, ¿cómo estarías viendo la Luna [ubicada hacia el norte]?*  
A: *Cuarto menguante.*  
D: *¿Cómo te diste cuenta?*  
A: *Porque está iluminada del lado derecho.*

---

(E<sub>7</sub>; A<sub>10</sub>; 73) A: Hoy a la mañana, hace un rato, la Luna estaba por allá [hacia el norte].  
 D: ¿Qué lado tenía iluminado?  
 IMP A: Izquierdo. No, derecho.  
 D: ¿Por qué? ¿Dónde estaba el Sol?  
 A: El Sol estaba saliendo por allá [hacia el este, hacia la derecha].  
 D: Si mirás mañana a la misma hora, ¿estará más grande o más chica?  
 A: Más chica.

---

(E<sub>8</sub>; A<sub>15</sub>; 75) D: Mirá, esta [Luna que dibujaste] es Luna nueva, ¿no? Luego pasás a una Luna que ves un cachito [del lado izquierdo]. ¿Te acordás si es creciente o menguante?  
 A: Creciente.  
 ESC D: ¿Y está bien esta Luna [lado derecho iluminado e indicada como creciente]?  
 A: No. Sería menguante.  
 D: ¿Viste esta mañana a la Luna? ¿Cómo estaba?  
 A: Estaba llena... No, más o menos por la mitad.  
 D: ¿Te acordás de qué lado era?  
 A: No.

---

(E<sub>9</sub>; A<sub>17</sub>; 43) D: Por ejemplo, ahora que es de mañana, ¿podría tener un cuarto creciente o un cuarto menguante?  
 MOD A: De mañana, menguante.  
 D: Si estuviera en menguante ahora, ¿qué lado tendría iluminado?  
 A: El derecho.

---

(E<sub>10</sub>; A<sub>23</sub>; 31) D: Y esta posición que dibujaste acá, ¿qué Luna es esa? [Luna con su mitad izquierda iluminada]  
 IMP A: Creciente.

---

Por otro lado, dos estudiantes entrevistados no lograron relacionar la fase con el horario de observación de la Luna o con su lado iluminado. Esto puede estar vinculado con que estos alumnos manifiestan no haber observado la Luna, lo cual llama la atención dado que este astro había sido observado desde la ventana del salón de clases unos días antes. Al respecto, A<sub>16</sub> manifiesta inadecuadamente que la Luna creciente se observa de mañana y la menguante de noche, mientras que A<sub>26</sub> sostiene que la Luna menguante tiene su lado izquierdo iluminado.

---

(E<sub>2</sub>; A<sub>16</sub>; 39) D: ¿Por qué es creciente esta Luna que dibujaste?  
 A: Porque está iluminado el lado izquierdo.  
 D: ¿La Luna creciente se ve de noche o de mañana?  
 IMP A: De mañana.  
 D: ¿Y la menguante?  
 A: De noche. Así es como las vi yo.  
 D: ¿En el cielo? ¿Viste hoy a la mañana la Luna?  
 A: No.

---

(E<sub>6</sub>; A<sub>26</sub>; 59) D: Supongamos que ahora salís y ves la Luna hacia el norte. Si la ves a esta hora [al amanecer], ¿qué lado tiene iluminado?  
 MOD A: Ahora, sería menguante y el lado iluminado sería el izquierdo.

---

Respecto a la explicación de las fases lunares, algunos estudiantes no lograron relacionar adecuadamente este fenómeno con el movimiento propio de la Luna en el cielo a medida que pasan los días. Esto coincide con los resultados obtenidos en la segunda actividad escrita individual, donde el 40% de los alumnos mostró una evolución conceptual escasa en relación a este fenómeno. Esto puede deberse a la relativa

complejidad que implica su explicación, donde debe sostenerse que la Luna siempre está iluminada por la mitad y, al mismo tiempo, que el cambio de su posición en el cielo, respecto al Sol, hace que se la vea de distinta forma. Sin embargo, otros alumnos mostraron una muy buena evolución de sus ideas, más aún si se tiene en cuenta que ningún estudiante pudo dar una explicación adecuada del fenómeno al inicio de las clases.

---

(E <sub>4</sub> ; A <sub>18</sub> ; 34)	<p>A: <i>Lo explicaría así: la Luna está siempre iluminada a la mitad, se va moviendo y depende de nuestro punto de vista, de dónde estemos parados la vemos distinta, pero siempre está iluminada una mitad... Al girar la Luna, uno cuando está del otro lado la ve distinta o simplemente no la ve.</i></p> <p>MOD</p> <p>D: <i>Te hago una pregunta para clarificar lo que me estás diciendo. Cuando vos decís "girar la Luna" ¿hablás de giro o de corrimiento?</i></p> <p>A: <i>No, de que se va corriendo.</i></p>
<hr/>	
(E <sub>6</sub> ; A <sub>26</sub> ; 52)	<p>A: <i>La Luna se va moviendo, la ilumina diferente el Sol y la veo de otra forma.</i></p> <p>D: <i>A ver, la ilumina diferente el Sol...</i></p> <p>MOD</p> <p>A: <i>Nosotros la vemos diferente.</i></p> <p>D: <i>¿Qué es lo que cambió de un día al otro?</i></p> <p>A: <i>Que la Luna se mueve.</i></p>
<hr/>	
(E <sub>7</sub> ; A <sub>10</sub> ; 65)	<p>A: <i>Las fases de la Luna suceden por su movimiento continuo hacia el este y su cercanía [angular] al Sol.</i></p> <p>D: <i>¿Viste la Luna hoy a la mañana?</i></p> <p>IMP</p> <p>A: <i>Sí... se veía en cuarto menguante. También vi que hace unos días la Luna empezaba a aparecer más para el este.</i></p> <p>D: <i>¿Ese corrimiento tiene algo que ver con las fases?</i></p> <p>A: <i>Sí...</i></p> <p>D: <i>¿Cuánto ilumina el Sol de la Luna?</i></p> <p>A: <i>El Sol siempre ilumina una mitad.</i></p>
<hr/>	
(E <sub>10</sub> ; A <sub>23</sub> ; 28)	<p>A: <i>Dibujé al Sol a un lado de la Luna, alumbrando una mitad y yo desde mi punto veo un cuarto de la Luna, o sea yo veo alumbrada la mitad de la mitad y depende desde qué ángulo lo mire va a tener distinta cantidad de alumbrado...voy a ver distinta cantidad de lo iluminado.</i></p> <p>D: <i>Dijiste que estaba alumbrada la mitad...</i></p> <p>IMP</p> <p>A: <i>Siempre está alumbrada la mitad, nosotros lo vemos distinto porque la Luna se va moviendo.</i></p> <p>D: <i>...Estás señalando que la Luna llena sería la opuesta al Sol y la nueva la que queda en dirección hacia el Sol. En el anterior dibujo [al inicio de las clases], ¿cómo lo habías hecho?</i></p> <p>A: <i>Lo expliqué desde afuera de la Tierra. Yo expliqué que las fases de la Luna se daban porque la Tierra le hacía una sombra a la Luna haciendo que veamos así, pero ahora aprendí que eso es sólo en los eclipses.</i></p>

---

Como puede verse en las entrevistas anteriores, los alumnos A<sub>18</sub>, A<sub>10</sub> y A<sub>23</sub> logran asociar las fases con las dos características fundamentales que permiten explicar el fenómeno: a) que la Luna siempre está iluminada por la mitad y b) que se desplaza en el cielo de un día al otro. En este sentido, A<sub>23</sub> logra incluso tomar conciencia que al inicio de las clases confundía las fases con los eclipses, explicando inadecuadamente el primer fenómeno a partir de proyectar la sombra de la Tierra sobre la Luna. Por su parte, A<sub>26</sub> menciona el movimiento de la Luna como causa de las fases, pero no queda claro si comprende que la Luna siempre se encuentra iluminada por la mitad.



En contraposición, más de la mitad de los estudiantes no logran explicar adecuadamente las fases lunares ya que utilizan explicaciones confusas y contradictorias acerca de las causas del fenómeno. Por ejemplo, A<sub>7</sub> asocia en primer lugar las fases lunares con el movimiento de nuestro satélite natural, pero luego menciona inadecuadamente el movimiento del Sol.

- 
- (E<sub>1</sub>; A<sub>7</sub>; 49)  
IMP
- A: *Por el movimiento de la Luna. Si la Luna está ahí [indica hacia el este] y el Sol está saliendo, no la vamos a ver porque le está pegando del otro lado.*  
D: *Bien. ¿Llena cómo sería, entonces?*  
A: *La Luna está un poco más lejos, entonces le pega un poco, la ilumina, haciendo que la veamos llena y los que viven más allá...*  
D: *¿Dónde debería estar la Luna para verse llena ahora [de mañana]?*  
A: *Acá. [Al oeste]*  
D: *¿Eso es porque el Sol la ilumina distinto? ¿O está iluminada siempre igual?*  
A: *Eh...*  
D: *¿Entonces por qué, a veces, la veo en el cielo más grande o más chica?*  
A: *Por el movimiento del Sol.*
- 

Por su parte, A<sub>16</sub> sostiene que la parte que no se ve de la Luna corresponde a la sombra proyectada por algún cuerpo, que no puede identificar. Esto evidencia que no comprendió el trabajo con la esfera de telgopor, mitad blanca y mitad negra, lo que implica que este alumno requeriría un tiempo mayor de dedicación con esta actividad.

- 
- (E<sub>2</sub>; A<sub>16</sub>; 47)  
IMP
- D: *¿Qué es lo que tapa acá la Luna? Vos decís que eso está tapado...*  
A: *Es una sombra.*  
D: *¿Sombra provocada por qué cosa?*  
A: *No sé...*  
D: *¿Te acordás cuando trabajamos con la pelotita? ¿Cómo era la pelotita?*  
A: *Redonda. Mitad negra, mitad blanca.*  
D: *¿Por qué era así?*  
A: *Porque la negra era Luna nueva, la otra era Luna llena y la íbamos moviendo y se iba formando cuarto creciente, menguante...*
- 

En su explicación, A<sub>2</sub> sostiene que el Sol se va moviendo y que, por ese motivo, la Luna se va viendo distinta cada día. En este sentido, parece no haber podido modificar una idea inadecuada bastante común, que sostiene que los objetos se ven tal como son, sin tener en cuenta la perspectiva desde la cual se los observa. Por lo tanto, no logra diferenciar el modo en que está iluminada la Luna en el espacio (una mitad), de la forma en que se la distingue desde una determinada posición de la superficie terrestre (mayor o menor proporción de esa mitad iluminada).

- 
- (E<sub>3</sub>; A<sub>2</sub>; 40)  
MOD
- A: *A medida que pasan los días el Sol se va corriendo. Nosotros vemos la Luna en el cielo que va cambiando hasta que sea creciente, menguante...*  
D: *Pero cuando vos te imaginás la Luna iluminada por el Sol, ¿quiere decir que el Sol a veces ilumina más parte de la Luna y a veces ilumina menos?*  
A: *No. No le da a toda la Luna. Le da a la mitad de la Luna que se ve y a la otra mitad no.*  
D: *¿Cuánto está iluminada la Luna por el Sol?... ¿Toda?... ¿Una parte?...*  
A: *Una parte.*  
D: *Esa parte, ¿cambia de un día al otro?*  
A: *Sí, cambia. Cambia a medida que van pasando los días.*
-

Por otro lado, A<sub>15</sub> y A<sub>17</sub> muestran dificultades para explicar adecuadamente las fases lunares, aunque sus ideas guardan relación con lo desarrollado en las clases. En este sentido, A<sub>15</sub> asocia las fases con cómo está iluminada la Luna por el Sol y A<sub>17</sub> sostiene que la Luna está siempre iluminada por la mitad, pero relaciona las fases con la rotación de la Luna.

---

(E<sub>8</sub>; A<sub>15</sub>; 72)  
ESC  
D: *Acá dibujaste que van cambiando las fases, ¿por qué la ves diferente?*  
A: *Porque el Sol alumbra desde diferentes lados.*  
D: *Entonces, cuando la ves más chiquita... a ver, la parte que no está iluminada, ¿por qué motivo no está iluminada?*  
A: *Porque le alumbra el Sol por este lado.*

---

(E<sub>9</sub>; A<sub>17</sub>; 43)  
MOD  
D: *Podríamos arrancar pensando por qué vemos diferente a la Luna.*  
A: *¿Por su propia rotación?*  
D: *¿A qué llamás rotación?*  
A: *A que gira.*  
D: *¿Gira cómo?*  
A: *No sé explicarlo... por cómo la vemos nosotros y por la luz que le da el Sol.*  
D: *Y, cuando ves la Luna más chica ¿es que el Sol la ilumina menos?*  
A: *No, siempre va a tener iluminada una mitad. Nosotros, a medida que la Tierra gira, la vamos a ver distinta.*  
D: *¿Decís que ver distinta esa mitad tiene que ver con el giro de la Tierra sobre sí misma?*  
A: *No sé.*

---

Por último, la entrevista al alumno A<sub>14</sub> confirma su desempeño en la actividad escrita individual, donde se detectó una evolución conceptual escasa en relación a las fases lunares. Del mismo modo, A<sub>14</sub> esboza respuestas inconexas que muestran que no ha logrado acercarse a una comprensión adecuada del fenómeno.

---

(E<sub>5</sub>; A<sub>14</sub>; 63)  
ESC  
D: *¿Por qué a veces la veo llena y otras veces chiquita a la Luna*  
A: *Porque va cambiando... Porque se va... se pone...*  
D: *La Luna, ¿cambia la cantidad de iluminación que tiene? ¿O siempre está iluminada la misma cantidad de la Luna por el Sol?*  
A: *Siempre está iluminada por el Sol...*  
D: *¿Cuánto de la Luna está siempre iluminada por el Sol?*  
A: *¿Los dos lados?*

---

En función de las entrevistas es posible concluir que muchos de los estudiantes han tenido una evolución conceptual favorable en relación a la descripción de las fases de la Luna (lado iluminado y horario de observación), aunque su evolución no ha sido tan favorable en cuanto a la explicación total del fenómeno. Como ya se ha mencionado, esto puede deberse a que esta explicación posee una complejidad conceptual mayor que la correspondiente a los fenómenos del día y la noche y de las estaciones del año.

Sin embargo, si se comparan las explicaciones iniciales de la mayoría de los estudiantes, que resultaban inadecuadas o directamente nulas, con las dadas al finalizar la secuencia de actividades, se evidencia una evolución sustancial en cuanto a la descripción del fenómeno de las fases, a algunos aspectos relativos a su explicación y, sobre todo, a la utilización del sistema de referencia topocéntrico. En este sentido, prácticamente todos los alumnos utilizaron exclusivamente dicho sistema de referencia para elaborar sus modelos explicativos al finalizar el desarrollo de la ECPE, lo cual puede considerarse un logro de la secuencia de actividades llevada a cabo.

#### 7.4.4. Análisis del proceso de conceptualización

En la **Tabla 7-13** se muestra la evolución conceptual cualitativa de cada uno de los alumnos entrevistados a partir de la comparación entre la información recogida en la actividad inicial de indagación escrita y lo manifestado en las entrevistas en relación a la causa de cada uno de los tres fenómenos desarrollados. Con esta información, se ha catalogado nuevamente el nivel de evolución conceptual correspondiente a cada uno de los estudiantes (IMP, MOD o ESC) con el fin de analizar la correspondencia o no con el nivel en el que fue clasificado cada alumno teniendo en cuenta solamente su desempeño en las actividades escritas individuales. Esta comparación permite triangular la información respecto al resultado alcanzado con los estudiantes a partir del desarrollo de la secuencia de actividades.

**Tabla 7-13:** Descripción sintética de la evolución conceptual de cada uno de los alumnos entrevistados. En la etapa final se subrayan ideas inadecuadas en relación con lo desarrollado en las clases. Se clasificó nuevamente el nivel de evolución conceptual de cada estudiante (en negrita) con el fin de compararlo con la clasificación realizada anteriormente a partir de la resolución de la actividad escrita (entre paréntesis).

Alum-no	Mo-mento	Día y noche	Estaciones del año	Fases de la Luna
<b>A<sub>2</sub></b> <b>MOD</b>  (MOD)	Al inicio	Porque rota la Tierra (no hace dibujo). Asocia la noche con la presencia de la Luna.	En invierno el Sol calienta menos. Está nublado y hace frío. Se caen las hojas.	Muestra algunas formas sobre cómo se ve la Luna (unas bien y otras no). No puede explicar.
	Al final	Por el movimiento diario del Sol. <u>Asocia la noche con la Luna.</u> <u>No reconoce dónde se ubica el Sol al mediodía ni el horario.</u>	Por el cambio de posición del Sol más al norte y más al sur. Reconoce el recorrido del Sol en cada estación. Relaciona con su cambio de altura.	<u>Porque el Sol se va corriendo</u> , aunque siempre ilumina mitad de la Luna. Reconoce fases por lado iluminado y horario.
<b>A<sub>7</sub></b> <b>IMP</b>  (IMP)	Al inicio	Por la presencia o ausencia del Sol debido al giro de la Tierra (sin dibujo). La Luna a veces está de noche y a veces no.	No indica causa. Menciona consecuencias observables: caída de hojas de los árboles o que "hace mucho calor".	Por el cambio de posición del Sol, que la ilumina distinto. La Luna nueva no es alumbrada por el Sol. En Luna llena el Sol le da de frente.
	Al final	Por el movimiento diario del Sol. Reconoce dónde se ubica el Sol al mediodía, <u>pero no el horario.</u>	Por el cambio de posición del Sol más al norte y más al sur. <u>No reconoce los días de cambio de estación.</u>	Por el movimiento de la Luna hacia el este. Reconoce fases por lado iluminado y horario y posición de la Luna respecto al Sol.
<b>A<sub>10</sub></b> <b>IMP</b>  (IMP)	Al inicio	Por la rotación de la Tierra (con dibujo). No asocia la noche con la Luna.	Por la distancia variable entre el Sol y la Tierra. Dibuja el Sol más grande en verano y más chico en invierno.	Por el giro de la Luna alrededor de la Tierra (sin dibujo). Dibuja distintas fases de la Luna, pero no las nombra.
	Al final	Por el movimiento diario del Sol. Reconoce dónde se ubica el Sol al mediodía y el horario.	Por el cambio de posición del Sol más al norte y más al sur. Relaciona con la altura del Sol, el largo de las sombras y las horas de luz.	Por el movimiento de la Luna hacia el este. Reconoce fases por lado iluminado, horario y posición de la Luna respecto al Sol.

<b>A<sub>14</sub></b> <b>ESC</b> (MOD)	Al inicio	Por la presencia del Sol en el día y de la Luna en la noche.	Por la presencia del Sol en verano y de nubes en invierno.	Porque la Luna cambia de forma. No indica causa.
	Al final	Por el movimiento diario del Sol. Reconoce dónde se ubica el Sol al mediodía, <u>pero no el horario.</u>	Por el cambio de posición del Sol más al norte y más al sur. <u>Indica Sol más bajo en verano y más alto en invierno.</u>	<u>Porque la Luna cambia. No logra describir los cambios ni explicarlos.</u>
<b>A<sub>15</sub></b> <b>MOD</b> (ESC)	Al inicio	Por el movimiento de la Tierra (sin dibujo). Asocia la noche con la presencia de la Luna.	No indica causa: mucho Sol en verano y nieve en invierno.	La Luna cambia de forma porque el mundo gira.
	Al final	Por el movimiento diario del Sol. Reconoce dónde se ubica el Sol al mediodía, <u>pero no el horario.</u>	Por el cambio de posición del Sol más al norte y más al sur. Relaciona las estaciones con la altura del Sol.	<u>Porque el Sol ilumina desde distintos lados a la Luna.</u> Reconoce fases por lado iluminado.
<b>A<sub>16</sub></b> <b>MOD</b> (MOD)	Al inicio	Por la presencia del Sol en el día y de la Luna en la noche.	No indica causa. Menciona consecuencias: caída de hojas, nieve o calor.	Muestra y nombra formas de la Luna (no están bien).
	Al final	Por el movimiento diario del Sol. <u>No reconoce el horario del mediodía solar.</u>	Por el cambio de posición del Sol más al norte y más al sur. <u>No asocia con altura del Sol.</u>	<u>Porque algo la tapa.</u> Reconoce fases por lado iluminado, <u>pero no por horario.</u>
<b>A<sub>17</sub></b> <b>IMP</b> (MOD)	Al inicio	Porque la Tierra rota, con el Sol y la Luna opuestos (con dibujo).	El Sol se acerca o se aleja de la Tierra (con dibujo).	Debido a las estaciones.
	Al final	Por el movimiento diario del Sol. Reconoce dónde se ubica el Sol al mediodía y el horario.	Por el cambio de posición del Sol más al norte y más al sur. Relaciona con la altura del Sol. Reconoce los días de cambio de estación.	<u>Debido a la rotación de la Luna (no está claro a qué llama "rotación").</u> Reconoce fases por lado iluminado y horario.
<b>A<sub>18</sub></b> <b>IMP</b> (IMP)	Al inicio	Por el movimiento diario del Sol. Cuando se va, sale la Luna.	Porque en invierno las nubes tapan el Sol.	Cambio de posición del Sol respecto a la Luna (confuso).
	Al final	Por el movimiento diario del Sol. Reconoce dónde se ubica el Sol al mediodía y el horario.	Por el cambio de posición del Sol más al norte y más al sur. Relaciona con la altura del Sol, el largo de las sombras y las horas de luz.	Por el movimiento de la Luna hacia el este. Reconoce fases por lado iluminado y horario.
<b>A<sub>23</sub></b> <b>IMP</b> (IMP)	Al inicio	Porque el Sol ilumina un lado de la Tierra (dibujo con la Tierra y la Luna en el espacio).	Porque la Tierra se traslada alrededor del Sol, variando la distancia entre ellos (con dibujo).	Porque la Tierra hace sombra sobre la Luna (dibujo con la Tierra y la Luna en el espacio).
	Al final	Por el movimiento diario del Sol. Reconoce dónde se ubica el Sol al mediodía y el horario.	Por el cambio de posición del Sol más al norte y más al sur. Relaciona con la altura del Sol, el largo de las sombras y las horas de luz.	Por el movimiento de la Luna hacia el este. Reconoce fases por lado iluminado, horario y posición de la Luna respecto al Sol.

A <sub>26</sub> IMP (MOD)	Al inicio	No explica. Día cálido y noche fría.	No explica. Invierno frío y verano caluroso.	No explica. Dibuja la Luna con distintas formas.
	Al final	Por el movimiento diario del Sol. Reconoce dónde se ubica el Sol al mediodía, <u>pero no el horario.</u>	Por el cambio de posición del Sol más al norte y más al sur. Relaciona con la inclinación de los rayos y las horas de luz.	Por el movimiento de la Luna. Reconoce fases por horario, <u>pero no por lado iluminado.</u>

Al comparar las respuestas iniciales y finales de los mismos alumnos es posible visualizar cambios sustanciales en los modelos que utilizan para explicar estos fenómenos y, en relación a esto, para describir el movimiento del Sol y la Luna en el cielo. En este sentido, de los estudiantes entrevistados sólo A<sub>14</sub> ha mostrado una evolución conceptual escasa, mientras que A<sub>2</sub>, A<sub>15</sub> y A<sub>16</sub> han sido clasificados como de evolución moderada. Por su parte, en los 6 estudiantes restantes se ha identificado una importante evolución conceptual al comparar sus respuestas finales con las dadas al inicio de la secuencia de actividades.

Por su parte, al comparar el nivel de evolución conceptual en el que han sido catalogados los alumnos a partir de la segunda actividad escrita individual en comparación con el correspondiente a las entrevistas, se visualiza que 4 de los estudiantes han sido clasificados de forma distinta. De ellos, A<sub>14</sub> es el único que tuvo un más bajo desempeño en la entrevista, por lo cual fue clasificado como de evolución escasa en esta instancia. En cambio, 3 alumnos tuvieron un mejor desempeño en la entrevista, pasando de ser clasificados como de evolución escasa a moderada (A<sub>15</sub>) o de moderada a importante (A<sub>17</sub> y A<sub>26</sub>). Los 6 estudiantes restantes fueron clasificados de igual modo en la entrevista y en la actividad escrita individual, indicando una evolución conceptual moderada (A<sub>2</sub> y A<sub>16</sub>) o importante (A<sub>7</sub>, A<sub>10</sub>, A<sub>18</sub> y A<sub>23</sub>).

Este mejor desempeño de algunos alumnos en las entrevistas puede deberse a que los mismos se encontrarían trabajando, en términos de Vigotsky, en la Zona de Desarrollo Próximo, donde la interacción con el docente les permite resolver o responder adecuadamente consignas que no serían capaces de realizar en forma individual. De este modo, por medio de las preguntas y repreguntas de la entrevista, las cuales poseen la misma estructura lógica que la desarrollada durante las clases, los estudiantes logran recordar información que poseen, reorganizar y resignificar conceptos y comunicar ideas de las que no eran del todo conscientes.

Por lo tanto, es posible afirmar que las conclusiones obtenidas a partir de la actividad escrita individual guardan relación con el conocimiento efectivamente reconstruido por los estudiantes respecto a los fenómenos astronómicos cotidianos ya que los mismos no resultan de ninguna manera sobreestimados.

En este sentido, pese a que no resulta sencillo categorizar la evolución conceptual individual de algunos de los estudiantes, el análisis de dicha evolución en el conjunto del grupo de clase ha evidenciado cambios positivos vinculados a la utilización de nuevos modelos mentales sobre el día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna, los cuales se encuentran basados, exclusivamente, en la utilización del sistema de referencia topocéntrico.

#### 7.4.5. Evolución del conocimiento puesto en acción por los estudiantes

En la **Tabla 7-14** se indican los elementos más representativos y mayoritarios que han podido ser identificados como parte de los esquemas (Vergnaud, 1994) puestos en juego por los estudiantes al resolver las situaciones propuestas al inicio y al final de la secuencia didáctica. La comparación entre lo expresado en estas instancias por los alumnos permite poner en evidencia la evolución conceptual del grupo de alumnos, el cual mostró una importante comprensión de los fenómenos astronómicos desarrollados a partir de la utilización del sistema de referencia topocéntrico.

**Tabla 7-14:** Elementos más representativos de los esquemas presentes en los estudiantes al inicio y al final de la secuencia de actividades en relación a los fenómenos astronómicos desarrollados. Se indica el porcentaje de alumnos en los que fueron identificados.

<b>Etapas/ Clases</b>	<b>Conceptos-en-acto</b>	<b>Teoremas-en-acto</b>	<b>Inferencias</b>
<b>INICIO</b> C <sub>1,2</sub> (73,1%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Día y noche.</li> <li>Movimientos del Sol y la Luna en el cielo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La Luna está a la noche.</li> <li>La Luna está cuando no está el Sol.</li> <li>El Sol y la Luna se mueven en el cielo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cuando se pone el Sol, sale la Luna. Cuando se va la Luna, sale el Sol.</li> <li>Si está el Sol, es de día. Si está la Luna, es de noche.</li> </ul>
<b>FINAL</b> C <sub>15,16,17</sub> (79,2%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Día y noche.</li> <li>Movimiento diario del Sol.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El Sol, en el día, se mueve del horizonte oriental al occidental.</li> <li>La Luna no tiene relación con el día y la noche.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si el Sol está arriba del horizonte es de día, si está debajo es de noche.</li> <li>Cuando no está el Sol, el cielo se ve estrellado.</li> <li>Si veo la Luna, puede ser de día o de noche.</li> </ul>
<b>INICIO</b> C <sub>1,2</sub> (65,4%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estaciones del año.</li> <li>Calor, distancia.</li> <li>Movimiento del Sol.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las cosas calientan más cuando están más cerca.</li> <li>El paisaje cambia durante el año.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es verano/invierno porque el Sol está más cerca/lejos.</li> <li>Es verano/invierno porque hace calor/frío.</li> </ul>
<b>FINAL</b> C <sub>15,16,17</sub> (70,8%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estaciones del año.</li> <li>Movimiento anual del Sol.</li> <li>Radiación, ángulo de incidencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El Sol no sale ni se pone todos los días por el mismo lugar.</li> <li>La altura del Sol cambia en el año.</li> <li>Las estaciones se deben al cambio en el lugar de salida o puesta del Sol.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cuando el Sol sale al norte/sur del este, se lo ve más bajo/alto.</li> <li>Si el Sol está más bajo/alto, sus rayos calientan menos/más.</li> <li>Si el Sol está más bajo es invierno, si está más alto es verano.</li> </ul>
<b>INICIO</b> C <sub>1,2</sub> (38,5%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fases de la Luna.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La Luna está a la noche.</li> <li>La Luna cambia su forma visible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A medida que pasan las noches, cambia la forma con la que vemos la Luna.</li> </ul>
<b>INICIO</b> C <sub>1,2</sub> (19,2%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fases de la Luna.</li> <li>Iluminación.</li> <li>Movimiento del Sol.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El Sol se mueve en el cielo.</li> <li>Un cuerpo se ilumina en mayor o menor proporción según cómo le de la luz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Como el Sol se mueve, ilumina a la Luna de distintas formas.</li> <li>Según donde esté el Sol, ilumina mucho o poco de la Luna.</li> </ul>

<p><b>FINAL</b> C<sub>15,16,17</sub> (50%)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fases de la Luna.</li> <li>• Iluminación.</li> <li>• Movimiento propio de la Luna.</li> <li>• Orientación visual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Sol ilumina la mitad de la Luna.</li> <li>• La Luna se mueve en el cielo de una noche a otra.</li> <li>• Vista desde la Tierra, La Luna cambia su ángulo respecto al Sol.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Como la Luna se mueve de un día al otro, vemos diferente la mitad iluminada por el Sol.</li> <li>• Si la Luna está ubicada hacia/contra el Sol, vemos nada de/toda su parte iluminada.</li> </ul>
--	---	--	--

En la tabla anterior se han presentado los conceptos-en-acto, teoremas-en-acto e inferencias que se han relevado como más representativos de las conversaciones registradas y de los trabajos llevados a cabo en las clases en relación a los tres fenómenos astronómicos desarrollados: día/noche, estaciones y fases de la Luna. Dado que el contenido del discurso oral y escrito ha sufrido cambios sustanciales en gran parte de los estudiantes, esto ha dado indicios de modificaciones en los esquemas de pensamiento correspondientes a este campo conceptual.

Como se manifiesta en la **Tabla 7-14**, los cambios producidos en los invariantes operatorios asociados con cada situación ha permitido modificar las inferencias que los alumnos pueden realizar a partir de ellos, haciendo posible la transformación de las explicaciones que los estudiantes brindan acerca de cada fenómeno. A su vez, tal como ha sido el planteo a lo largo de la secuencia didáctica, estos invariantes resultan ser absolutamente topocéntricos, mostrando que son viables y comprensibles para los alumnos las explicaciones que han sido utilizadas en las clases.

#### 7.4.6. Análisis cuantitativo del proceso de conceptualización

A continuación se presenta un estudio cuantitativo estadístico de las respuestas dadas por cada uno de los alumnos del curso en las actividades iniciales y finales con el fin de analizar si las diferencias detectadas en forma cualitativa, ya mencionadas anteriormente, pueden ser tomadas como significativas tomando en consideración a todo el grupo de clase.

Para ello se seleccionaron 26 categorías de análisis relacionadas con las ideas y concepciones más comunes detectadas al inicio de la secuencia de clases y, a su vez, con aquellas descripciones, explicaciones e inferencias que fueron consideradas como objetivo principal dentro de la estructura conceptual a reconstruir por los estudiantes. En la **Tabla 7-15** se presentan las diferentes categorías de análisis separadas para cada uno de los tres fenómenos astronómicos desarrollados: el día y la noche (11 categorías), las estaciones del año (7 categorías) y las fases lunares (8 categorías). Se presenta el porcentaje de alumnos que sostiene cada una al inicio y al final, indicando en fondo gris aquellas que son inadecuadas desde un punto de vista científico más allá de si coinciden o no con la estructura conceptual desarrollada. Por ejemplo, la explicación heliocéntrica del día y la noche a partir de la rotación terrestre ha sido considerada adecuada, más allá que ésta no ha sido la explicación del fenómeno construida a lo largo de las clases. Sin embargo, como puede observarse, las explicaciones heliocéntricas prácticamente desaparecen al finalizar la implementación, encontrando casi exclusivamente explicaciones topocéntricas.

**Tabla 7-15:** Categorías de análisis y cantidad de alumnos que sostiene cada una al inicio y al final de la secuencia de actividades (N=26 alumnos). Se indican con fondo gris las categorías inadecuadas desde un punto de vista científico.

Fenómeno	Variable	Categorías de análisis	N <sub>Inicial</sub>	N <sub>Final</sub>
Día y noche. Movimiento diario del Sol	V <sub>1</sub>	<i>La Luna identifica a la noche</i>	21	3
	V <sub>2</sub>	<i>La Luna está cuando no está el Sol</i>	16	2
	V <sub>3</sub>	<i>Cuando el Sol se pone sale la Luna</i>	10	1
	V <sub>4</sub>	<i>El Sol y la Luna opuestos, giran en torno a la Tierra</i>	3	0
	V <sub>5</sub>	<i>La Tierra rota (incluye la Luna)</i>	4	1
	V <sub>6</sub>	<i>Otras explicaciones inadecuadas</i>	4	0
	V <sub>7</sub>	La Tierra rota (no incluye la Luna)	4	0
	V <sub>8</sub>	Cuando el Sol se pone, se hace de noche	1	21
	V <sub>9</sub>	El Sol se mueve del horizonte oriental al occidental	0	20
	V <sub>10</sub>	La Luna no tiene relación con el día y la noche	0	21
	V <sub>11</sub>	Mediodía solar: Sol más alto y sombra más corta	0	12
Estaciones del año. Movimiento anual del Sol	V <sub>12</sub>	<i>Se debe a cambios en la temperatura y el paisaje</i>	14	1
	V <sub>13</sub>	<i>El Sol varía su distancia a la Tierra</i>	8	0
	V <sub>14</sub>	<i>El Sol varía su velocidad</i>	1	0
	V <sub>15</sub>	<i>Otras explicaciones inadecuadas</i>	7	3
	V <sub>16</sub>	Se debe a cambios en posición del Sol (norte-sur)	0	22
	V <sub>17</sub>	Sol cambia su altura: bajo (invierno) - alto (verano)	0	15
	V <sub>18</sub>	Indican las fechas de solsticios y equinoccios	0	14
Fases lunares. Movimiento propio de la Luna	V <sub>19</sub>	<i>Sin explicación</i>	3	0
	V <sub>20</sub>	<i>Dibuja las fases lunares inadecuadamente</i>	11	0
	V <sub>21</sub>	<i>Asocia fases lunares con la sombra de la Tierra</i>	2	0
	V <sub>22</sub>	<i>Otras explicaciones inadecuadas</i>	11	0
	V <sub>23</sub>	Dibuja adecuadamente las fases lunares	4	9
	V <sub>24</sub>	La Luna se mueve hacia el este cada día	0	20
	V <sub>25</sub>	Relaciona fase de la Luna con lado iluminado	0	15
	V <sub>26</sub>	Relaciona fase de la Luna con hora de observación	0	12

Para examinar si las diferencias visualizadas resultaban significativas tomando en consideración a la totalidad del grupo de clase, se construyó una tabla de 26x26 para las 26 categorías (V<sub>1</sub> a V<sub>26</sub>) y para los 26 estudiantes (A<sub>1</sub> a A<sub>26</sub>) en la cual se analizaron las respuestas de cada alumno en relación a los tres fenómenos estudiados. Se le otorgó valor 0 (cero) en una determinada categoría inadecuada si ésta se encontraba presente y valor 1 (uno) en caso contrario. En cambio, se otorgó valor 1 (uno) si se detectó la presencia de una categoría adecuada desde un punto de vista científico y 0 (cero) si ésta se encontraba ausente. De este modo, se obtuvieron dos tablas, una inicial y otra final, con un puntaje total inicial por categoría y por alumno, las cuales se presentan en forma completa en la **Sección 10.11. del Anexo**.

El procedimiento anterior pretende evaluar cuantitativamente el conocimiento obtenido por los estudiantes de dos modos superpuestos: valorizando la presencia de ideas y explicaciones adecuadas y acordes al desarrollo conceptual propuesto como objetivo de la secuencia didáctica y, al mismo tiempo, remarcando la ausencia de las concepciones inadecuadas desde un punto de vista científico detectadas al inicio de las actividades.



A partir de este análisis, en la **Tabla 7-16** se presenta el puntaje obtenido por cada alumno al inicio y al final del desarrollo de la ECPE, los cuales serán utilizados para realizar un análisis estadístico con el fin de establecer si las diferencias han sido significativas o si, por el contrario, pueden deberse solamente a diferencias aleatorias.

**Tabla 7-16:** Puntaje total inicial (Ti) y final (Tf) de cada alumno a partir de la presencia o ausencia de las categorías adecuadas o inadecuadas detalladas en la **Tabla 7-15**.

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>	A <sub>13</sub>	A <sub>14</sub>	A <sub>15</sub>	A <sub>16</sub>	A <sub>17</sub>	A <sub>18</sub>	A <sub>19</sub>	A <sub>20</sub>	A <sub>21</sub>	A <sub>22</sub>	A <sub>23</sub>	A <sub>24</sub>	A <sub>25</sub>	A <sub>26</sub>
<b>Ti</b>	7	10	9	11	9	9	12	11	13	13	9	6	11	10	9	10	7	8	7	10	9	12	13	13	9	11
<b>Tf</b>	23	21	17	16	21	18	24	22	17	25	11	12	21	21	20	24	25	24	21	22	21	21	25	21	19	22

Con los puntajes obtenidos se llevó a cabo la prueba t de Student para dos muestras relacionadas, la cual compara las medias de dos variables de un solo grupo con el fin de contrastar la hipótesis nula de que las muestras proceden de una población en que las medias son iguales o que las diferencias observadas se deben al azar. En este caso, la hipótesis nula (Ho) es que no hay diferencias en el nivel de conocimiento de los alumnos entre la medición del inicio y del final.

La prueba estadística se realizó utilizando el programa SPSS Statistics versión 22.0 (Ferrán, 2001), obteniéndose los siguientes valores:

	N	Media	Desviación estándar	t	gl	p
<b>T<sub>Final</sub></b>	26	20,54	3,625	14,718	25	0,000
<b>T<sub>Inicial</sub></b>	26	9,92	2,018			
<b>T<sub>Final</sub> - T<sub>Inicial</sub></b>	26	10,615	3,678			

En función de los resultados del test t de Student ( $t = 14,7$ ; g.l. = 25;  $p < 0,05$ ), en donde  $p < 0,05$  (valor utilizado normalmente en Ciencias Sociales), se descarta Ho. En consecuencia, es posible concluir que las diferencias obtenidas son estadísticamente significativas a favor de la situación final para el total del grupo de clase.

Para complementar este análisis, se decidió comparar cuantitativamente los puntajes finales obtenidos por los varones y mujeres del grupo con el fin de estudiar la existencia de diferencias por género. Los resultados hallados ( $p > 0,05$ ) indican que no se detectaron diferencias estadísticamente significativas relacionadas con el sexo de los estudiantes.

Por lo tanto, en función de la evolución conceptual observada en los estudiantes, y detallada en este capítulo, queda en evidencia que la propuesta topocéntrica para la enseñanza de la astronomía tal como fue diseñada e implementada en esta ECPE tiene validez disciplinar, epistemológica y didáctica. También confirma su adecuación para, al menos, los últimos años del nivel primario, donde fue testeada.

En el siguiente capítulo se desarrollarán las conclusiones de la investigación llevada a cabo, poniendo especial énfasis en el análisis de los procesos de enseñanza y aprendizaje de los fenómenos astronómicos cotidianos desde un sistema de referencia topocéntrico.



## CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

---

### 8.1. Introducción

En este capítulo se esbozan las conclusiones e implicaciones que se desprenden del trabajo de investigación llevado a cabo, finalizando con las posibles proyecciones futuras relacionadas con el mismo. Como parte de este desarrollo se sintetizan las respuestas a las cuestiones fundamentales que guiaron la investigación, enfatizando el análisis en el proceso de conceptualización seguido por los estudiantes en relación a la explicación de los fenómenos astronómicos cotidianos.

Este capítulo marca el final de un ciclo de investigación de varios años centrado en el desarrollo de una propuesta de enseñanza netamente topocéntrica, con el fin de que los docentes e investigadores puedan disponer de un modo alternativo probado y evaluado sobre cómo es posible enseñar el día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna a alumnos de nivel primario, y a otros niveles educativos, sin necesidad de utilizar el sistema de referencia heliocéntrico, el cual implica "observar imaginariamente" el movimiento de la Tierra desde algún punto del espacio exterior. En contraposición, el "modelo cinemático celeste" que se ha elaborado permite brindar explicaciones sobre dichos fenómenos a partir de una premisa básica: describir los movimientos de los astros desde la superficie terrestre, de modo tal de motivar a los estudiantes a realizar observaciones a simple vista y a extraer regularidades y conclusiones a partir de ellas.

Los resultados alcanzados son discutidos en este capítulo y marcan el comienzo de un nuevo ciclo de investigación futuro centrado en seguir profundizando en el análisis de los logros obtenidos, y de las dificultades detectadas, con el fin de producir mejoras en este nuevo rumbo "topocéntrico" de la enseñanza de la astronomía, de incipiente desarrollo. Sería deseable que esta mirada topocéntrica permita una suerte de "reconexión" de la humanidad con el cielo, provocando ciertos cambios culturales que aumenten el deseo de las personas por disfrutar de este "espectáculo" natural y, al mismo tiempo, de disminuir el proceso paulatino y constante de incremento de la contaminación lumínica, que hace cada vez más difícil la observación del cielo desde las grandes urbes.

### 8.2. La etapa preliminar al diseño de la propuesta didáctica

A continuación se sintetizan los resultados alcanzados en la etapa de investigación previa al desarrollo de la Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos: día y noche, estaciones del año y fases de la Luna. En esta etapa se reconstruyó la Estructura Conceptual de Referencia (ECR) basada en el sistema de referencia topocéntrico y en su utilización para explicar dichos fenómenos. A su vez, se indagaron cuáles son los modelos más comunes que utilizan los alumnos y docentes para explicar estos fenómenos y se analizó cuál es el sistema de referencia astronómico más utilizado. A su vez, se puso la mirada en las imágenes presentes en los libros escolares, lo que permitió identificar desde qué sistema de referencia suele ser desarrollada la temática y, a la vez, analizar si este desarrollo es adecuado desde los marcos de referencia disciplinar y didáctico. En función de esto, las conclusiones a las que se ha arribado son las siguientes:

- Pese a la poca relevancia que se le suele dar en las clases, el concepto de sistema de referencia es central en la Física ya que su elección es arbitraria en función de lograr que un determinado fenómeno natural pueda ser estudiado de la forma más simple posible. Por ese motivo, en esta investigación se utilizó el sistema de referencia astronómico topocéntrico para desarrollar un "modelo cinemático celeste" (MCC), el cual permite explicar los fenómenos astronómicos cotidianos (día y noche, estaciones del año y fases lunares) de una forma sencilla y con un estrecho vínculo con lo observable a simple vista en el cielo, sin necesidad de "trasladarse imaginariamente" al espacio exterior para "ver" cómo se mueve la Tierra.
- El MCC desarrollado constituye un modelo científicamente adecuado ya que se encuentra basado en conocimientos disciplinares validados por la comunidad científica respecto a cómo se desplazan el Sol, la Luna y las estrellas nocturnas en el cielo local, lo que permite describir y predecir adecuadamente sus movimientos y, a partir de esto, brindar explicaciones acerca de los fenómenos astronómicos más cotidianos. En este sentido, el día y la noche puede ser explicado a partir del movimiento diario del Sol, las estaciones del año a partir del movimiento anual del Sol y las fases lunares a partir de comprender el movimiento propio de la Luna. Como todo modelo científico, el mismo no pretende describir todos los movimientos, ni explicar todos los fenómenos celestes, por lo que posee validez limitada.
- Al analizar el modo en que estudiantes pertenecientes a los distintos niveles educativos explican el día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares, quedó en evidencia la presencia de gran cantidad de concepciones inadecuadas desde el punto de vista científico, algunas de las cuales pueden estar asociadas a la utilización mayoritaria del sistema de referencia heliocéntrico tanto en los libros escolares como en los trabajos de investigación. En este sentido, la mayor parte de los textos analizados no indican la posibilidad de describir y explicar adecuadamente estos fenómenos utilizando el sistema de referencia topocéntrico. En contraposición, la mayoría de los alumnos de nivel primario brindan explicaciones de los fenómenos astronómicos cotidianos desde su posición topocéntrica, lo que parece indicar cierta comodidad intelectual al utilizar este sistema de referencia.
- Los artículos de investigación muestran que gran cantidad de estudiantes, e incluso muchos docentes, asocian inadecuadamente el fenómeno del día y la noche con la presencia del Sol y de la Luna, respectivamente, a las estaciones del año con la distancia variable del Sol a la Tierra y a las fases lunares con la sombra de la Tierra sobre nuestro satélite. A su vez, muchos de los alumnos no logran brindar una explicación astronómica acerca de las estaciones del año y las fases lunares. Estas dificultades llaman la atención dado que son temas que suelen ser desarrollados, incluso repetidamente, durante la escolaridad primaria.
- Los libros escolares analizados presentan un desarrollo mayoritario basado en el sistema de referencia heliocéntrico, apreciándose una sobrecarga conceptual en detrimento de aspectos relacionados con lo que los alumnos pueden observar a simple vista en el cielo. A su vez, muchos de estos textos presentan errores, tanto conceptuales como didácticos, por lo que debieron ser descartados para su posible utilización durante la implementación de la secuencia didáctica.
- Varios artículos de investigación analizados mencionan la relevancia de enseñar astronomía desde una perspectiva topocéntrica, aunque la mayoría de ellos plantean esto como un paso intermedio hacia la comprensión de los fenómenos astronómicos desde una perspectiva heliocéntrica. Sin embargo, esta tesis pone en evidencia la poca significativa relevancia que parece tener el sistema de referencia heliocéntrico para la comprensión de los fenómenos astronómicos cotidianos y para que los estudiantes los relacionen con lo que pueden observar a simple vista en el cielo.

### 8.3. El diseño y la implementación de la propuesta didáctica

A partir del modelo cinemático celeste (MCC) desarrollado, se analizó cómo debería ser la transformación del saber científicamente aceptado a un saber que fuera enseñable a alumnos de 6to. año del nivel primario (10 - 11 años), lo que dio lugar a la elaboración de la Estructura Conceptual Propuesta para Enseñar (ECPE) acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos, presente en el **Capítulo 6**. Para ello se generaron las situaciones a abordar por los estudiantes, anticipando cuáles podrían ser las respuestas de los alumnos y las posibles nuevas preguntas que pudiesen aparecer durante la resolución. En este proceso, se tuvieron que llevar a cabo gran cantidad de tareas, las cuales implicaron la toma de múltiples decisiones: los conceptos a abordar, el mecanismo explicativo a utilizar para cada fenómeno, las actividades a llevar a cabo, el diseño de las observaciones del cielo, el modo de uso del programa Stellarium durante las clases, la forma de trabajo en el aula, los modos de evaluación parcial y final, etc.

La dificultad surgida más importante tuvo lugar debido a cuestiones que no pueden ser planificadas previamente: la posibilidad de tener muchos días nublados durante la implementación de la secuencia de actividades. Más allá de que al inicio de las clases se motivó a los estudiantes a tratar de observar el cielo con sus propios ojos, el estado del tiempo provocó que muchas de las observaciones directas deban ser reemplazadas por simulaciones realizadas en clase con el programa Stellarium. La utilización de dicho programa hizo posible que las observaciones del cielo dejaran de ser indispensables dentro de la secuencia, para pasar a ocupar un lugar complementario, aunque igualmente relevante. Dado que el estado del tiempo no es algo que pueda conocerse con demasiada anticipación, y que los docentes no suelen poder alterar ampliamente sus horarios de clase, esta modificación de la secuencia de actividades ha hecho posible que la ECPE diseñada pueda ser implementada incluso en lugares en los que la observación del cielo se torna compleja, como sucede en las grandes ciudades. A su vez, el proceso de implementación efectuado a partir de la utilización del programa Stellarium ha mostrado que la secuencia es factible de ser realizada y que los resultados alcanzados resultan satisfactorios.

Una limitación del análisis del proceso de implementación llevado a cabo es que el mismo fue desarrollado en un único curso de una única escuela primaria, lo que impide expresar conclusiones generales acerca del mismo. Por ese motivo, este trabajo de Tesis no posee rasgos cuantitativos ni prescriptivos, sino que plantea principios orientadores de un modo de pensar distinto al habitual acerca del modo en que puede ser enseñada la astronomía en las escuelas: a partir de lo que es posible observar a simple vista en el cielo y de la elaboración de explicaciones exclusivamente topocéntricas acerca de los fenómenos analizados. Por lo tanto, serán indispensables nuevas implementaciones y nuevos desarrollos didácticos para poder ampliar la generalización de las conclusiones acerca de la aparente "ventaja" conceptual y emocional de este enfoque, el cual ha permitido evidenciar un gran compromiso e interés de los alumnos en las clases y una evolución favorable de los esquemas utilizados por gran parte de ellos.

Finalmente, la secuencia de situaciones propuesta no constituye en modo alguno un producto acabado y cerrado a utilizar sin ningún tipo de modificación. Por el contrario, la secuencia se constituye como un punto de partida a partir del cual los docentes e investigadores en enseñanza de la astronomía puedan discutir, proponer modificaciones, realizar sugerencias y, sobre todo, poner de algún modo en práctica con el fin de evaluar posteriormente los resultados alcanzados.

#### 8.4. Conclusiones del proceso de conceptualización

Las actividades finales de la ECPE llevadas a cabo han permitido evaluar el funcionamiento en concreto de las situaciones diseñadas y de la implementación de las mismas. En este sentido, dado que la conceptualización es un proceso a largo plazo que no puede darse por finalizado en un período de tiempo limitado en el que se implementa la secuencia de situaciones en el aula, el desarrollo conceptual acerca de estos fenómenos astronómicos debe continuar en los años subsiguientes.

Sin embargo, del análisis de las respuestas dadas por los alumnos en las distintas situaciones, es posible establecer conclusiones cuantitativas y cualitativas sobre la relación entre los conceptos clave y las explicaciones a reconstruir por los estudiantes a partir de lo propuesto en la ECPE (**Sección 6.4.**), los modelos identificados en los estudiantes al inicio de las clases (**Secciones 7.3.1. y 7.3.2.**) y los resultados obtenidos en las actividades finales (**Sección 7.3.10.**).

Se esbozan a continuación aquellas conclusiones del proceso de conceptualización a las cuales es posible arribar a partir del análisis exhaustivo y riguroso de las conversaciones desarrolladas en el aula y de los trabajos llevados a cabo por los alumnos a lo largo de las clases, tanto individuales como grupales. Este análisis permite vislumbrar el proceso de desarrollo conceptual seguido por el grupo de clase, elaborando conclusiones generales acerca del proceso personal de modificación de las representaciones internas de cada estudiante acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos.

- En relación a los sistemas de referencia:

Inicialmente, la mayor parte de los estudiantes utilizaron explicaciones que sostienen implícitamente la existencia de un sistema de referencia absoluto, indicando que algo se mueve cuando cambia su posición respecto al suelo o que lo que se observa desde un cuerpo en movimiento "no es real". A su vez, manifestaron que no es correcto decir que el Sol se desplaza en el cielo ya que "en realidad es la Tierra la que se mueve". Pese a esto, la mayoría de ellos utilizaron modelos netamente topocéntricos cuando tuvieron que explicar las causas del día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares, mostrando al Sol y a la Luna tal como son vistos en el cielo desde la superficie terrestre. Sólo unos pocos estudiantes elaboraron explicaciones heliocéntricas, varias de ellas inadecuadas, en las cuales intentaron explicar dichos fenómenos a partir de la descripción de los movimientos del Sol y la Luna vistos desde el espacio.

Posteriormente, la discusión de las situaciones planteadas en la **Sección 6.5.2.** permitió que los estudiantes pudieran asumir la relatividad del movimiento indicando que éste "depende de donde estás parado" y que, por lo tanto, si "yo me paro en la Tierra, veo el movimiento del Sol". De este modo, se legitimó la propuesta topocéntrica a desarrollar en las clases en la cual ya no se hablaría acerca del movimiento de la Tierra y la Luna en el espacio, lo cual hubo que reiterar en diferentes oportunidades al inicio del proceso de implementación. Sin embargo, una vez transcurridas las primeras clases, los alumnos comenzaron a expresarse espontáneamente sobre el desplazamiento del Sol y la Luna en el cielo, lo que pareció dejar en evidencia que este debía ser el "lenguaje natural" en el que los estudiantes se sentían más cómodos para analizar, reflexionar y expresar sus ideas respecto a lo que sucede en el cielo. Esto se vio reflejado al finalizar la secuencia de actividades, donde todos los estudiantes esbozaron explicaciones topocéntricas de los fenómenos astronómicos cotidianos, la mayor parte de las cuales resultaron ser acordes con lo desarrollado en las clases.

- En relación al día y la noche y el movimiento diario del Sol:

Inicialmente, la mayor parte de los estudiantes utilizaron modelos que asociaban al día con la presencia del Sol y a la noche con la presencia de la Luna, realizando esquemas y explicaciones de carácter netamente topocéntrico. Unos pocos alumnos explicaron el fenómeno adecuadamente a partir de la rotación terrestre, aunque la mayoría de ellos incluyeron a la Luna como parte de la noche.

Posteriormente, todas las explicaciones de los estudiantes fueron realizadas utilizando el sistema de referencia topocéntrico, refiriéndose mayoritariamente al movimiento del Sol en el cielo como causante del ciclo día/noche. En este sentido, la observación de la Luna de día, tanto en forma directa como en el programa Stellarium, contribuyó a que la mayor parte de los alumnos dejen de asociar a la noche con la presencia de nuestro satélite natural (68%). A su vez, la mayoría de ellos logró relacionar al fenómeno del día y la noche con la presencia o ausencia del Sol por arriba del horizonte local (80%), explicando esta alternancia a partir del movimiento diario del Sol, desde el horizonte oriental al occidental (72%).

- En relación a las estaciones del año y al movimiento anual del Sol:

Inicialmente, ninguno de los estudiantes del curso podía explicar adecuadamente las estaciones del año, predominando dos tipos de explicaciones. Por un lado, un poco menos de la mitad de los alumnos del curso no asociaba las estaciones con ningún fenómeno astronómico, indicando solamente cambios en el ambiente, tales como "*la caída de las hojas de los árboles*" o que "*hace más frío porque está más nublado*". Por otro lado, un porcentaje similar de alumnos relacionaba dicho fenómeno con la distancia variable entre el Sol y la Tierra, que coincide con la concepción alternativa más común detectada en trabajos de investigación anteriores. Esto pone de manifiesto un importante desconocimiento del tema por parte de los estudiantes.

Posteriormente, al igual que con el fenómeno del día y la noche, todas las explicaciones de los estudiantes fueron realizadas utilizando el sistema de referencia topocéntrico, refiriéndose mayoritariamente al movimiento anual del Sol, hacia el norte y hacia el sur, como causante de las estaciones del año. De este modo, la mayoría de los alumnos lograron vincular dicho movimiento con los cambios estacionales observables en la superficie terrestre (72%). Para lograrlo, fue fundamental poder observar cómo ocurre dicho desplazamiento utilizando el programa Stellarium, lo que permitió reemplazar las observaciones directas, las cuales no pudieron realizarse debido a la presencia de muchos días nublados. Estas "observaciones simuladas" permitieron explicar la relación entre el movimiento anual del Sol y los cambios en su altura, para pasar posteriormente a representar en la maqueta las trayectorias correspondientes a solsticios y equinoccios. Este trabajo y su posterior revisión hizo posible que la mayor parte de los alumnos logre describir la variación anual en el recorrido del Sol en el cielo y relacionarlo con la altura de este astro en cada época del año (60%), pudiendo indicar adecuadamente los cambios en el lugar y horario de salida del Sol y su relación con la estación del año correspondiente (64%).

Sin embargo, pocos alumnos del curso lograron recordar cuáles son las fechas correspondientes a solsticios y equinoccios (32%), por lo cual la mayoría de los estudiantes finalizó las actividades sin conocer los días de inicio de cada estación. Aunque parezca un dato menor, las fechas de cambio de estación son relevantes para que los alumnos puedan continuar relacionando los cambios en el ambiente que visualizan a su alrededor con, por ejemplo, la variación en el lugar de salida o puesta del

Sol cuando lo observan desde sus propias casas. A su vez, los estudiantes que se encuentran finalizando la escuela primaria deberían poder recordar estas fechas en función de la gran cantidad de fenómenos naturales y sociales asociados con ellas.

Es factible que este déficit guarde relación con no haber enfatizado lo suficiente la necesidad de recordar este dato a lo largo del proceso de implementación, aunque el mismo fue desarrollado a lo largo de las clases e incluso volcado en las maquetas al tener que representar las distintas trayectorias del Sol correspondientes a solsticios y equinoccios (ver **Figura 7.5.**). Por otro lado, es posible que los alumnos no hayan visualizado como relevante el recordar estas fechas debido a la cultura escolar actual en la cual se encuentran inmersos, la cual suele desvalorizar los datos memorísticos ya que es sencillo acceder a ellos porque "están en Internet".

- En relación a las fases de la Luna y a su movimiento propio en el cielo:

Inicialmente, aproximadamente la mitad de los estudiantes no logró brindar ninguna explicación acerca de las fases lunares, un fenómeno que han podido observar en el cielo incluso desde la escuela, cuando un par de años antes desarrollaron un trabajo sobre esta temática. Por otro lado, aproximadamente un 40% de los alumnos brindó explicaciones inadecuadas, incluyendo la idea detectada en investigaciones anteriores que asocia este fenómeno con la proyección de sombra de la Tierra sobre la Luna. Por último, sólo un 11% de los estudiantes pudo dar una explicación relativamente acorde del fenómeno, indicando que el mismo se debe al cambio de posición del Sol respecto a la Luna, aunque sin aclarar a qué se debe esto. En consecuencia, puede visualizarse que, además de un desconocimiento acerca del fenómeno, el mismo les resulta de tanta complejidad que muchos de los alumnos no logran ni siquiera pensar una explicación.

Posteriormente, las explicaciones de los alumnos fueron realizadas en su totalidad a partir de la utilización del sistema de referencia topocéntrico, detectándose que una gran proporción importante de ellos logró relacionar este fenómeno con el cambio de posición de la Luna en el cielo de un día al otro (50%). Para ello fue fundamental poder observar este desplazamiento utilizando el programa Stellarium, tanto para la fase creciente como para la fase menguante, lo que permitió presentar posteriormente un esquema explicativo que relaciona el cambio de posición de la Luna respecto al Sol con lo que se puede observar desde la superficie terrestre. A su vez, la mayor parte de los estudiantes pudo identificar la fase correspondiente a partir de reconocer cuál es el lado de la Luna que se encuentra iluminado (64%) y asociar las fases con la observación desde distintas direcciones de un objeto iluminado siempre por la mitad (60%). Para ello fue relevante la actividad didáctica con material concreto de observación desde distintas direcciones de un objeto esférico "iluminado por la mitad" (pintado mitad de blanco y mitad de negro).

Sin embargo, pese a que el porcentaje de alumnos que no logra brindar ninguna explicación acerca de las fases lunares desciende ampliamente (25%), esta proporción continúa situándose en un nivel relativamente alto luego de haber implementado un proceso específico de enseñanza durante varias clases. A su vez, un 40% de los estudiantes no logra identificar cuál es la posición de la Luna respecto al Sol correspondiente a cuarto creciente o a Luna llena, pese a que esto fue representado en las maquetas por los mismos alumnos (ver **Figura 7.15.**). Como ya se ha mencionado, estos resultados parecen indicar que la comprensión de este fenómeno astronómico posee una dificultad conceptual intrínseca mayor a los dos anteriores.



## 8.5. Logros y dificultades relacionados con la conceptualización

Dado que el proceso de conceptualización se encuentra siempre afectado por determinados aspectos que muchas veces no son posibles de anticipar, a continuación se mencionan algunas de las dificultades detectadas durante la implementación de la secuencia y durante su evaluación posterior:

- El estado del tiempo, con gran cantidad de días nublados, no permitió realizar las observaciones a simple vista del cielo que estaban planificadas (**Sección 10.7.**). Esto perjudicó en cierta medida una parte importante de la propuesta: la posibilidad de que los alumnos puedan observar directamente en el cielo los fenómenos cotidianos que estaban siendo estudiados en el aula. Esta imposibilidad fue suplida mediante una mayor utilización del programa Stellarium, lo que no debe descartar, sino aplazar, la realización de las observaciones que estaban pautadas.
- En función de las experiencias escolares previas, y de las informaciones presentes en libros y medios masivos de comunicación, la propuesta didáctica topocéntrica resultó “poco familiar” y “errónea” para algunos de los estudiantes, quienes mostraron cierta resistencia a su utilización durante las primeras clases a pesar de que esta propuesta guarda estrecha relación con lo que ellos mismos pueden observar en el cielo. Sin embargo, la clase dedicada a la relatividad de los sistemas de referencia fue fundamental para poder remitir a ella con el fin de que los alumnos se posicionen en forma topocéntrica, que tomen esto como válido y que comiencen a describir y explicar los fenómenos astronómicos desde este sistema de referencia.
- Los modelos previos al inicio de las actividades en relación al fenómeno del día y la noche resultaron ser más persistentes y difíciles de modificar por parte de los mismos estudiantes que lo que se había pensado durante el proceso de diseño de la ECPE. Esto quedó en evidencia debido a su utilización por parte de algunos de los estudiantes aún después del proceso formal de enseñanza llevado a cabo, el cual estuvo centrado en su continua revisión y cuestionamiento por parte de los propios alumnos.
- La relevante evolución conceptual lograda en relación a las estaciones del año se contrapone con el desconocimiento de las fechas de inicio de cada estación por parte de muchos alumnos. Esto indica la necesidad de destacar en las clases la importancia de recordar ciertos datos memorísticos de relevancia, los cuales hacen posible que los estudiantes puedan comprender mejor los fenómenos naturales que ocurren a su alrededor.
- En relación a la comprensión del fenómeno de las fases lunares por parte de los estudiantes, los resultados obtenidos fueron menores a los que se esperaba lograr al diseñar la secuencia de situaciones didácticas. Esto sugiere la necesidad de una revisión de dichas situaciones, especialmente la que propone observar desde distintos ángulos una esfera iluminada por la mitad (con medio cuerpo pintado de negro), la cual no fue bien interpretada por varios de los alumnos. En este sentido, algunos estudiantes entrevistados manifestaron que la esfera debía corresponder a distintas fases lunares, y no a la Luna misma iluminada por la mitad, lo que sugiere la necesidad de relacionar mejor esta actividad con la correspondiente a la observación del movimiento propio de la Luna utilizando el programa Stellarium.
- Como ha quedado en evidencia, la información recabada mediante entrevistas coincide en gran medida con la recabada a partir de actividades escritas, lo cual justifica su realización y permite validar las conclusiones obtenidas respecto al proceso de conceptualización individual y de todo el grupo de clase.

Por su parte, algunos de los logros que se han podido visualizar son:

- Si se comparan las explicaciones iniciales con las dadas al finalizar la secuencia de actividades por parte de los alumnos, se evidencia una evolución sustancial en cuanto al uso del sistema de referencia topocéntrico, el cual es utilizado por los estudiantes en forma prácticamente exclusiva, y sin cuestionamientos, para elaborar sus nuevas explicaciones de los fenómenos. Esto puede considerarse un logro significativo de la secuencia implementada.
- Se registró una clara evolución conceptual de los alumnos en relación a la comprensión de los fenómenos del día y la noche, las estaciones del año y las fases lunares a partir de la descripción de los movimientos del Sol y la Luna en el cielo. Esto fue evaluado en las actividades finales y en las entrevistas, lo que permitió determinar que más de la mitad de los alumnos tuvo una evolución conceptual acorde con los parámetros esperados al momento del diseño de la propuesta didáctica.
- Se detectó una gran motivación respecto a la temática por parte de la mayor parte de los estudiantes del curso. Esto hizo que el docente decida incluir la realización de una clase adicional luego de finalizada la implementación de la secuencia didáctica planificada con el fin de tratar algunos de los temas que a los alumnos les resultaban interesantes y que no pudieron ser desarrollados durante las clases al no estar directamente relacionados con los temas astronómicos abordados. Por ejemplo, se abordaron cuestiones relacionadas con el desarrollo de las misiones espaciales, con las características del Sistema Solar y con el reconocimiento de algunas constelaciones. Esto evidencia el potencial que posee esta temática para movilizar el interés por la adquisición de nuevos conocimientos por parte de los alumnos.
- El modelo cinemático celeste desarrollado y la ECPE, diseñada a partir de él, han mostrado un potencial importante para su crecimiento y evolución a futuro. En este sentido, es factible la incorporación de otros fenómenos astronómicos que pueden ser explicados topocéntricamente de un modo relativamente sencillo: el movimiento diario de la esfera celeste, el desplazamiento propio de los planetas en el cielo, los eclipses, etc.

El análisis llevado a cabo ha permitido visualizar la evolución conceptual en relación a los fenómenos astronómicos cotidianos que ha sido motorizada por la secuencia didáctica diseñada e implementada. Para ello se ha focalizado en los invariantes operatorios que se han podido identificar y modificar, los cuales han dirigido las acciones de los estudiantes a partir de las situaciones particulares que han sido planteadas. Por lo tanto, este trabajo ha marcado un inicio en el estudio del proceso de conceptualización en relación a la utilización didáctica del sistema de referencia topocéntrico, por lo cual serán necesarias nuevas adaptaciones e implementaciones para poder avanzar en este análisis aquí comenzado.

## **8.6. Reflexiones finales**

En función de los resultados parciales volcados en los capítulos anteriores, se enumeran a continuación en forma sintética las conclusiones finales de esta investigación.

1. La elección del sistema de referencia a utilizar resulta crucial cuando se desea estudiar un determinado fenómeno físico y, en consecuencia, cuando se desea enseñar acerca del mismo. Sin embargo, una gran proporción de alumnos y docentes, y también de investigadores en enseñanza de la astronomía, sostienen implícitamente la existencia de un sistema de referencia absoluto y "privilegiado", el heliocéntrico, en el cual consideran que los fenómenos astronómicos "son enunciados en forma correcta".
2. El análisis de los trabajos de investigación en relación a la enseñanza de la astronomía reveló la utilización predominante del sistema de referencia heliocéntrico, tal como si fuera el único modo de describir el movimiento de los astros y de explicar los fenómenos astronómicos cotidianos relacionados con ellos. Sin embargo, para muchos de los fenómenos observables a simple vista en el cielo, las explicaciones topocéntricas resultan más sencillas y potentes desde un punto de vista descriptivo y predictivo.
3. Las imágenes en relación a los fenómenos astronómicos cotidianos incluidas en los libros escolares revelaron la presencia de errores conceptuales y didácticos, los cuales refuerzan creencias inadecuadas de los estudiantes y transmiten información en forma errónea o inexacta. Pese a que la muestra analizada no fue exhaustiva, es posible que esto represente la realidad de lo que acontece con la mayoría de los textos que utilizan los estudiantes en las clases. Por lo tanto, este importante recurso educativo no puede ser utilizado de modo confiable como parte de las propuestas didácticas de enseñanza de la astronomía que se deseen implementar en las aulas.
4. La mayor parte de los estudiantes de nivel primario y secundario de la zona, a los que se ha accedido con distintas indagaciones, evidenciaron una escasa comprensión sobre el fenómeno del día y la noche. A su vez, en sus explicaciones tienden a utilizar el sistema de referencia topocéntrico, por sobre el heliocéntrico, lo que parece traslucir cierta comodidad intelectual en describir el fenómeno desde donde ellos se encuentran posicionados. Esto brinda sustento a la tesis sostenida en este trabajo, la cual insta a reorientar la enseñanza de la astronomía a partir de la utilización didáctica del sistema de referencia topocéntrico.
5. La gran mayoría de los alumnos de 6to. año del curso en que fue implementada la secuencia de enseñanza utilizaron modelos inadecuados al inicio de la misma, los cuales en su mayoría guardan relación con los resultados hallados en estudios previos realizados en distintas partes del mundo. Sin embargo, en el análisis preliminar llevado a cabo como parte de este estudio se detectó una gran tendencia a utilizar explicaciones topocéntricas, las cuales suelen ser dejadas de lado en la mayoría de los trabajos de investigación que se encuentran publicados.
6. La propuesta didáctica desarrollada e implementada en este investigación resultó ser eficaz ya que mostró una evolución conceptual sustancial en la mayor parte de los estudiantes que participaron en ella, lo cual quedó en evidencia al comparar los modelos utilizados al inicio y al final de la misma para explicar los fenómenos del día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna. En este sentido, los conocimientos expresados por los alumnos en las actividades finales resultan contrapuestos con la escasa comprensión sobre estos fenómenos al inicio de la secuencia.
7. La mayoría de los estudiantes mostraron motivación e interés en el conocimiento acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos, y en la situaciones planteadas para su enseñanza, lo que quedó en evidencia a partir de la continua participación de los alumnos en las clases, mostrando compromiso y predisposición para el aprendizaje.

8. La propuesta de enseñanza desarrollada fomentó la discusión en relación a los sistemas de referencia, lo que favoreció la posibilidad de tomar conciencia acerca de la posibilidad de describir y explicar un mismo fenómeno físico de diversos modos. En este sentido, esta secuencia didáctica permite el abordaje del concepto de modelización, poco desarrollado en las escuelas, el cual es central para la comprensión de las características del trabajo científico.
9. La eficacia de la propuesta llevada a cabo pone en tela de juicio muchos de los diseños elaborados e implementados a lo largo de las últimas décadas con el fin de que los alumnos modifiquen sus esquemas explicativos en relación a los fenómenos astronómicos cotidianos, los cuales se encontraban basados, exclusivamente, en el sistema de referencia heliocéntrico. En este sentido, esta propuesta topocéntrica ha mostrado la factibilidad de lograr avances conceptuales sobre dichos fenómenos sin necesidad de que los estudiantes se trasladen, imaginariamente, fuera de la Tierra.
10. La secuencia didáctica elaborada fomenta el desarrollo de habilidades de observación sistemática, favoreciendo la construcción de descripciones y explicaciones acordes con las mismas. Esto brinda la posibilidad de diseñar, a futuro, nuevas propuestas topocéntricas que puedan ser conceptualmente accesibles para alumnos de otras edades, incluyendo el nivel inicial o los primeros años de la escuela primaria.

### **8.7. Proyecciones futuras**

Como en toda investigación científica, la culminación de esta Tesis permite dar respuesta a una serie de interrogantes, pero a su vez implica la apertura de nuevos problemas que pueden ser objeto de futuras investigaciones. Por lo tanto, esta investigación se podría continuar o profundizar en varios aspectos:

- Realizar modificaciones pertinentes al diseño presente aquí y llevar a cabo nuevas implementaciones con otros grupos de clase, en diferentes escuelas y localidades, con el fin de evaluar la eficacia cuantitativa de la propuesta en diferentes contextos educativos.
- Diseñar otras situaciones que permitan ampliar la variedad de oportunidades de los estudiantes para lograr dominar progresivamente el campo conceptual correspondiente al estudio de los fenómenos astronómicos cotidianos, a partir de la utilización del sistema de referencia topocéntrico.
- Diseñar, implementar y evaluar una nueva propuesta didáctica que desarrolle en forma topocéntrica otros fenómenos astronómicos: el movimiento diario de todo el cielo, los eclipses de Sol y de Luna, el modo en que se desplazan los planetas a través de las constelaciones, etc.
- Analizar el modo adecuado en que se debería realizar la transición desde el sistema de referencia topocéntrico al heliocéntrico, teniendo en cuenta una etapa en la que los estudiantes logren coexistir con ambos modelos y puedan compararlos.
- Difundir las propuestas y conclusiones obtenidas en esta investigación en artículos, presentaciones a congresos y en actividades de capacitación docente.

Vale recordar que, aunque los resultados obtenidos en esta investigación resultan prometedores, son indispensables otros estudios con el fin de ampliar la generalidad de las conclusiones aquí presentadas.

## CAPÍTULO 9: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación química*, 23(Extra 2), 248-256.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), 130-140.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, 4(1), 40-49.

Adúriz-Bravo, A. y Ariza, Y. (2013). Las imágenes de ciencia y de científico. Una puerta de entrada a la naturaleza de la ciencia. En Adúriz-Bravo, A., Dibarboure, M. e Ithurralde, S. (coord.), *El quehacer del científico al aula. Pistas para pensar*, 13-20. Montevideo, Uruguay: QUEDUCA.

Afonso López, R., Bazo González, C., López Hernández, M., Macau Fábrega, M. y Rodríguez Palmero, M. (1995). Una aproximación a las representaciones del alumnado sobre el universo. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(3), 327-335.

Agan L. y Sneider, C. (2004). Learning about the earth's shape and gravity: A guide for teachers and curriculum developers. *Astronomy Education Review*, 2(2), 90-117.

Albanese, A., Danhoni Neves, M. y Vicentini, M. (1997). Models in science and in education: A critical review of research on students' ideas about the earth and its place in the universe. *Science & Education*, 6(6), 573-590.

Anderson, G. y Herr, K. (2007). El docente-investigador: la investigación-acción como una forma válida de generación de conocimientos. En Sverdlick, I. (comp.), *La investigación educativa. Una herramienta de conocimiento y de acción*, 47-70. Buenos Aires: Novedades Educativas.

Angus, M., Olney, H., Ainley, J., Caldwell, B., Burke, G., Selleck, R. y Spinks, J. (2004). *The Sufficiency of Resources for Australian Primary Schools*. Canberra, Australia: Commonwealth Department of Education, Science and Training.

Arriasecq, I. y Greca, I. (2005). Análisis de aspectos relevantes para el abordaje de la Teoría de la Relatividad Especial en los últimos años de la enseñanza media desde una perspectiva contextualizada histórica y epistemológicamente. *Revista de Enseñanza de la Física*, 18(1), 17-28.

Arribas de Costa, A. y Rivière Gómez, V. (1989). La astronomía en la enseñanza obligatoria. *Enseñanza de las ciencias*, 7(2), 201-205.

Atwood, R. y Atwood, V. (1995). Preservice elementary teachers' conceptions of what causes night and day. *School Science & Mathematics*, 95, 290-294.

- Atwood, R. y Atwood, V. (1996). Preservice elementary teachers' conceptions of the causes of seasons. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(5), 553-563.
- Atwood, R. y Atwood, V. (1997). Effects of Instruction on Preservice Elementary Teacher's Conceptions of the Causes of Night and Day and the Seasons. *Journal of Science Teacher Education*, 8(1), 1-13.
- Ausubel, D. (1968). *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Ausubel, D. (1976). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas,
- Aydeniz, M. y Brown, C. (2010). Enhancing pre-service elementary school teachers' understanding of essential science concepts through a reflective conceptual change model. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 2(2), 305-326.
- Bachelard, G. (1991). *La formación del espíritu científico*. México: Siglo XXI Editores.
- Bailey, J. y Slater, T. (2003). A Review of Astronomy Education Research. *The Astronomy Education Review*, 2(2), 20-45.
- Bakulin, P., Kononóvich, E. y Moroz, V. (1987). *Curso de Astronomía General*. Moscú: MIR.
- Barnett, M. y Morran, J. (2002). Addressing children's alternative frameworks of the Moon's phases and eclipses. *International Journal of Science Education*, 24(8), 859-879.
- Bastero Montserrat, J. (2000). *Astronomía sin dejar la Tierra*. Barcelona: Octaedro.
- Baxter, J. (1989). Children's understanding of familiar astronomical events. *International Journal of Science Education*, 11(5), 502-513.
- Bayraktar, S. (2009). Pre-service Primary Teachers' Ideas about Lunar Phases. *Journal of Turkish Science Education*, 6(2), 12-23.
- Bergman-Terrel, E. (1995) [Shareware]. *Astronomy Lab 2. Versión 2.03*. Programa computacional. Descargado de(8/6/2015): <http://www.ericbt.com/Misc/AstronomyLab2>.
- Berrocoso, M., Ramírez, M., Enríquez-Salamanca, J. y Pérez-Peña, A. (2003). *Notas y apuntes de trigonometría esférica y astronomía de posición*. Andalucía: Universidad de Cádiz.
- Bisard, W., Aron, R., Francek, M. y Nelson, B. (1994). Assessing selected physical science and earth science misconceptions of middle school through university preservice teachers. *Journal of College Science Teaching*, 24, 38-42.
- Boilevin, J. (2000). *Conception et analyse du fonctionnement d'un dispositif de formation initiale d'enseignants de physique-chimie utilisant des savoirs issus de la recherche en didactique: un modèle d'activité et des cadres d'analyse des interactions en classe*. Tesis doctoral. Université de Provence.

Bosman, L., Lazzeri, F. y Legitimo, J. (1992). Aspects of understanding the reference frames. *Proceedings of the International Conference on Physics Education*, 349-351. Torun, Poland: Nicholas Copernicus University Press.

Boulter, C. y Buckley, B. (2000). Constructing a Typology of Models for Science Education. En Gilbert, J. y Boulter, C. (Eds.), *Developing Models in Science Education*, 41-57. Dordrecht: Kluwer.

Bravin, C. y Pievi, N. (2008). *Documento metodológico orientador para la investigación educativa*. Argentina: INFOD, Ministerio de Educación de la Nación.

Brewer, W., Chinn, C. y Samarapungavan, A. (2000). Explanation in scientists and children. En Keil, F. y Wilson, R. (Eds.), *Explanation and cognition*, 279-323. Cambridge: MIT Press.

Bruner, J., Olver, R. y Geenfield, P. (1967). *Studies in cognitive growth*. New York: Wiley.

Bryce, T. y Blown, E. (2013). Children's Concepts of the Shape and Size of the Earth, Sun and Moon. *International Journal of Science Education*, 35(3), 388-446.

Callison, P. y Wright, E. (1993). The effect of teaching strategies using models on pre-service elementary teachers' conceptions about Earth-Sun-Moon relationships. *Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching*, Atlanta, Georgia.

Camino, N. (1995). Ideas previas y cambio conceptual en astronomía. Un estudio con maestros de primaria sobre el día y la noche, las estaciones y las fases de la Luna. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 81-96.

Camino, N. (1999). Sobre la didáctica de la astronomía y su inserción en EGB. En Kaufman, M. y Fumagalli L. (comps.), *Enseñar ciencias naturales*, 143-173. Buenos Aires: Paidós.

Camino, N. (2004). Aprender a imaginar para comenzar a comprender. Los "modelos concretos" como herramientas para el aprendizaje de la astronomía. *Revista Alambique*, 42, 81-89.

Camino, N. (2011). La didáctica de la Astronomía como campo de investigación e innovación educativas. *I Simpósio Nacional de Educação em Astronomia*, Rio de Janeiro, Brasil.

Camino, N. y Gangui, A. (2012). Diurnal Astronomy: Using Sticks and Threads to Find Our Latitude on Earth. *The Physics Teacher*, 50, 40-41.

Carr, W. y Kemmis, S. (1988). *Teoría crítica de la enseñanza. La investigación-acción en la formación del profesorado*. Barcelona: Martínez Roca.

Çelikten, O., İpekçioğlu, S., Ertepinar, H. y Geban, Ö. (2012). The effect of the conceptual change oriented instruction through cooperative learning on 4th grade students' understanding of earth and sky concepts. *Science Education International*, 23(1), 84-96.

Chalmers, A. (1987). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Madrid: Siglo XXI.

- Chamizo, J. (2006). Los modelos de la química. *Educación química*, 17(4), 476-482.
- Chamizo, J. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 26-41.
- Chevallard, Y. (1991). La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado. Buenos Aires: Aique.
- Chiras, A. y Valanides, N. (2008). Day/night Cycle: Mental Models of Primary School Children. *Science Education International*, 19(1), 65-83.
- Chi, M. y Roscoe, R. (2002). The process and challenges of conceptual change. En Limon, M. y Mason, L. (Eds.), *Reconsidering conceptual change. Issues in theory and practice*, 3-27. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50(1), 66-71.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 9 (22), 1041-1053.
- Cohen, L. y Manion, L. (1985). *Research Methods in Education*. London: Croom Helm.
- Colmenares, A. y Piñero, M. (2008). La Investigación Acción. Una herramienta metodológica heurística para la comprensión y transformación de realidades y prácticas socio-educativas. *Revista Laurus de Educación*, 14(27), 96-114.
- Corey, S. (1953). *Action Research to improve school practice*. New York: Columbia University.
- Danaia, L. y McKinnon, D. (2007). Common alternative astronomical conceptions encountered in junior secondary science classes: Why is this so? *Astronomy Education Review*, 6(2), 32-53.
- De la Torre, G. (2014). Toward a new cosmic consciousness: Psychoeducational aspects of contact with extraterrestrial civilizations. *Acta Astronautica*, 94(2), 577-583.
- Delizoicov, D., Angotti, J. y Pernambuco, M. (2002). *Ensino de ciências: fundamentos e métodos*. São Paulo: Cortez.
- De Manuel, J. (1995). ¿Por qué hay veranos e inviernos? Representaciones de estudiantes y de futuros maestros sobre algunos aspectos del modelo Sol-Tierra. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), 227-236.
- Diakidoy, I-A., Vosniadou, S. y Hawks, J. (1997). Conceptual change in astronomy: models of the Earth and the day/night cycle in american-Indian children. *European Journal of Psychology of Education*, 12(2), 159-184.
- Diakidoy, I-A. y Kendeou, P. (2001). Facilitating conceptual change in astronomy. A comparison of the effectiveness of two instructional approaches. *Learning and Instruction*, 11, 1-20.



Dicovski, E., Iglesias, M., Karaseur, F., Gangui, A., Cabrera, J. y Godoy, E. (2012). El problema de la posición del observador y el movimiento tridimensional en la explicación de las fases de la Luna en docentes de primaria en formación. *Actas de las III Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales*, 219-230. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de La Plata.

diSessa, A. (1988). Knowledge in Pieces. En Forman, G. y Pufall, P. (eds.), *Constructivism in the Computer Age*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Publishers.

Dove, J. (2002). Does the man in the moon ever sleep? An analysis of student answers about simple astronomical events: a case study. *International Journal of Science Education*, 24(8), 823-834.

Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas in Science*. Glasgow: Open University Press.

Driver, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 3-15.

Dunin-Borkowski, J. y Mank, T. (1992). To stop the sun, to move the Earth – On the computer. *Proceedings of the International Conference on Physics Education*, 454-458. Torun, Poland: Nicholas Copernicus University Press.

Ehrlich, S., Levine, S. y Goldin-Meadow, S. (2006). The Importance of Gesture in Children's Spatial Reasoning. *Developmental Psychology*, 42(6), 1259–1268.

Elliott, J. (1991). Estudio del currículum escolar a través de la investigación interna. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 10, 45-68.

Elliott, J. (1993). *El cambio educativo desde la investigación-acción*. Madrid: Morata.

Erickson, F. (1989). Métodos cualitativos de investigación sobre la enseñanza. En *La investigación de la enseñanza. 2: Métodos cualitativos y de observación*, 195-302. Barcelona: Paidós.

Escudero, C., Moreira, M. y Concesa Caballero, M. (2003). *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), 201-226.

Evans Risco, E. (2010). *Orientaciones metodológicas para la investigación-acción: propuesta para la mejora de la práctica pedagógica*. Lima, Perú: Ministerio de Educación.

Fanaro, M. (2009). *La enseñanza de la Mecánica Cuántica en la Escuela Media*. Tesis Doctoral. Burgos, España: Universidad de Burgos.

Fanaro, M., Otero, M. y Greca, I. (2005). Las imágenes en los materiales educativos: las ideas de los profesores. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), 1-24.

Fanetti, T. (2001). The relationships of scale concepts on college age students' misconceptions about the cause of lunar phases. Tesis de maestría. Ames: Iowa State University.

Feinstein, A. y Tignanelli, H. (2005). *Objetivo Universo*. Buenos Aires: Colihue.

Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A. y Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488.

Fernández Nistal, M. y Peña Boone, S. (2007). Concepciones de maestros de primaria sobre el día y la noche y las estaciones del año. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos. Para la Construcción del Saber*, 37(3-4), 189-220.

Ferrán, M. (2001). *SPSS para Windows. Análisis estadístico*. Madrid: McGraw-Hill.

Fodor, J. (1986). *La Modularidad de la Mente*. Madrid: Morata.

Frede, V. (2008). The seasons explained by Refutational Modeling Activities. *Astronomy Education Review*, 7(1), 44-56.

Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las ciencias*, 19(2), 231-242.

Galindo Bohórquez, A. (2014). *Propuesta Didáctica para la enseñanza de la identificación y posicionamiento de algunos astros, empleando el software Stellarium, en estudiantes de educación media*. Tesis de maestría. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Galperin, D. (2005). La escuela y la Astronomía observacional. *Memorias de la Decimocuarta Reunión Nacional de Educación en Física*. Bariloche, Argentina.

Galperin, D. (2011). Propuestas didácticas para la enseñanza de la Astronomía. En Insaurralde, M. (coord.), *Ciencias Naturales. Líneas de acción didáctica y perspectivas epistemológicas*, 189-229. Buenos Aires: Novedades Educativas.

Galperin, D. (2014). *Fases de la Luna*. Material inédito. El Bolsón, Argentina: Instituto de Formación Docente Continua.

Galperin, D., Raviolo, A., Señorans, L. y Prieto, L. (2012). El día y la noche: dificultades para la comprensión de un fenómeno muy cotidiano. Exposición oral. *Simposio de Investigación en Educación en Física*. Esquel, Argentina.

Galperin, D. y Raviolo, A. (2014). Sistemas de referencia en la enseñanza de la Astronomía. Un análisis a partir de una revisión bibliográfica. *Latin American Journal of Physics Education*, 8(1), 136-148.

Galperin, D., Raviolo, A., Prieto, L. y Señorans, L. (2014). Análisis de imágenes presentes en textos de enseñanza primaria: día y noche y movimiento diario del Sol. *Revista de Enseñanza de la Física*, 26(No. Extra), 121-129.

Galperin, D. y Raviolo, A. (2015). Argentinean students' and teachers' conceptions of day and night: an analysis in relation to astronomical reference systems. *Science Education International*, 26(2), 126-147.

Gallarreta, S. (2003). Estrategias didácticas en Ciencias Biológicas: reflexiones en torno a la enseñanza basada en modelos. *Espacios en blanco*, 13, 89-109. Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Gallego Badillo, R. (2004). Un concepto epistemológico de modelo para la didáctica de las ciencias experimentales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), 301-319.

Gangui, A., Iglesias, M. y Quinteros, C. (2010). Indagación llevada a cabo con docentes de primaria en formación sobre temas básicos de Astronomía. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9(2), 467-486.

García Barros, S., Mondelo, M. y Martínez Losada, C. (1995). ¿Qué vemos en el cielo? Una introducción a la enseñanza de la Astronomía. *Suplemento Aula 44*, 34, 2-18. Barcelona: Graó Educación.

García Barros, S., Martínez Losada, C. y Mondelo, M. (1996). La astronomía en la formación de profesores. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 10, 121-127.

García Barros, S., Martínez Losada, C., Mondelo, M. y Vega Marcote, P. (1997). La Astronomía en textos escolares de educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 225-232.

García Barros, S., Mondelo, M., Martínez Losada, C. y Larrosa Cañestro, I. (2003). La observación del cielo. Un instrumento para estudiar el espacio y el tiempo. *Suplemento Aula 51*, 40, 2-18. Barcelona: Graó Educación.

Gellon, G., Rosenvasser Feher, E., Furman, M. y Golombek, D. (2005). *La ciencia en el aula*. Buenos Aires, Argentina: Paidós.

Gentner, D. y Gentner, D.R. (1983). Flowing waters and teeming crowds: mental models of electricity. En Gentner, D. y Stevens, A. (Eds.), *Mental Models*, 99-129. Hillsdale, NY: Erlbaum.

Giere, R. (1988). *Explaining Science: A Cognitive Approach*. Chicago: University of Chicago Press.

Gilbert, J. y Boulter, C. (2000). *Developing Models in Science Education*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Gilbert, J., Boulter, C. y Rutherford, M. (1998). Models in explanations (Part 2). *International Journal of Science Education*, 2 (20), 187-203.

Gilbert, J. y Watts, D. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10(1), 61-98.

Gilbert, S. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73-79.

Gilbert, S. (2000). The model as a vehicle for understanding the nature and processes of science. En Ruba, P., Rye, J. y Keig, P. (Eds.), *Proceedings of the Annual International Conference of the Association for the Education of Teachers in Science*, 304-343. Austin, Estados Unidos.

Gil Quílez, M. y Martínez Peña, M. (2005). El modelo Sol-Tierra-Luna en el lenguaje iconográfico de estudiantes de magisterio. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(2), 153-166.

- Gobert, J. y Buckley, B. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- González, R. (1990). La Astronomía y la reforma de la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 111-113.
- Greca, I. y Moreira, M. (1996). Tipos de modelos mentales utilizados por físicos en actividad. *Actas del III Simposio de Investigadores en Enseñanza de la Física (SIEF)*, Córdoba, Argentina.
- Greca, I. y Moreira, M. (1997). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 289-303.
- Greca, I. y Moreira, M. (1998). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 15(2), 107-120.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. (1991). Understanding Models and their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 9(28), 799-822.
- Habermas, J. (1981). *Conocimiento e interés*. Madrid: Taurus.
- Hannust, T. y Kikas, E. (2007). Children's knowledge of astronomy and its change in the course of learning. *Early Childhood Research Quarterly*, 22(1), 89-104.
- Hannust, T. y Kikas, E. (2010). Young children's acquisition of knowledge about the Earth: A longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 107(2), 164-180.
- Hannust, T. y Kikas, E. (2012). Changes in children's answers to open questions about the Earth and Gravity. *Child Development Research*, 11-21. Recuperado de (13/4/2015): <http://dx.doi.org/10.1155/2012/613674>.
- Hans, M., Kali, Y. y Yair, Y. (2008). Promoting Middle-School Spatial Perception of the Moon Phases with a Web-Based Module. *Proceedings of the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching*, Baltimore, MD.
- Harle, M. y Towns, M. (2011). A review of spatial ability literature, its connection to chemistry, and implications for instruction. *Journal of Chemical Education*, 88(3), 351-360.
- Harrison, A. y Treagust, D. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 9(22), 1011-1026.
- Hegarty, M. (2010). Components of Spatial Intelligence. *Psychology of Learning and Motivation*, 52, 265-296.
- Helm, H. (1980). Misconceptions in physics amongst South African students. *Physics Education*, 15(2), 92-105.
- Heyer, I. (2012). *Establishing the empirical relationship between non-science majoring undergraduate learners' spatial thinking skills and their conceptual astronomy knowledge*. Disertación doctoral. Laramie, Wyoming: University of Wyoming.

- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Hodson, D. (1986). Philosophy of science and science education. *Journal of Philosophy of Education*, 20(2), 215-225.
- Hopkins, D. (1989). *Investigación en el aula*. Barcelona: PPU.
- Ingham, A. y Gilbert, J. (1991). The use of analog models by students of chemistry at higher education level. *International Journal of Science Education*, 13, 193–202
- Isik-Ercan, Z., Zeynep Inan, H., Nowak, J. y Kim, B. (2014). We put on the glasses and Moon comes closer! Urban Second Graders Exploring the Earth, the Sun and Moon Through 3D Technologies in a Science and Literacy Unit. *International Journal of Science Education*, 36(1), 129-156.
- Islas, S y Pesa, M. (2003). ¿Qué rol asignan los profesores de física de nivel medio a los modelos científicos y a las actividades de modelado? *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, 57-66.
- Islas, S. y Pesa. M. (2004). Estudio comparativo sobre concepciones de modelo científico detectadas en Física. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 15(29), 117-144.
- Izquierdo, I. (2004). La mente humana. *MultiCiencia* 3. Recuperado de (7/5/2015): [https://www.multiciencia.unicamp.br/art01\\_3\\_e.htm](https://www.multiciencia.unicamp.br/art01_3_e.htm).
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M., Pujol R. y Sanmartí N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 79-91.
- Jiménez, J. (2000). El análisis de los libros de texto. En Perales, F. y Cañal, P. (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 307-322. Alcoy, España: Editorial Marfil.
- Jiménez Gómez, E. y Guirao Moya, J. (2007). La conceptualización de la posición por los alumnos de 11 a 16 años: Propuesta de dominio de instrucción. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(1), 45-58.
- Jiménez Liso, R., López-Gay, R. y Martínez Chico, M. (2012). Cómo trabajar en el aula los criterios para aceptar o rechazar modelos científicos. ¿Tirar piedras contra nuestro propio tejado? *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 72, 47-54.
- Johnson-Laird, P. (1983). *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Johnson-Laird, P. (1996). Images, models and propositional representations. En de Vega, M. et al., *Models of Visuospatial Cognition*, 90-127. New York: Oxford University Press.
- Jones, B., Lynch, P. y Reesink, C. (1987). Children's conceptions of the Earth, Sun and Moon. *International Journal of Science Education*, 9(1), 43-53.
- Joshua, S. y Dupin, J. (2005). *Introducción a la didáctica de las ciencias y la matemática*. Buenos Aires: Colihue.

Justi, R. (2000). Teaching with historical models. En Gilbert, J. y Boulter, C. (Eds.), *Developing Models in Science Education*, 209-226. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias*, 24(2), 173–184.

Justi, R. y Gilbert, J. (1999). History and philosophy of science through models: The case of Chemical Kinetics. *Science & Education*, 8, 287-307.

Justi, R. y Gilbert, J. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.

Justi, R. y Gilbert, J. (2003). Models and Modelling in Chemical Education. En Gilbert, J., Jong, O., Justi, R., Treagust, D. y V. Driel, J. (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, 47-68. Dordrecht: Kluwer.

Kalkan, H. y Kiroglu, K. (2007). Science and nonscience students' ideas about basic astronomy concepts in preservice training for elementary school teachers. *Astronomy Education Review*, 6(1), 15-24.

Karmiloff-Smith A. (1994). *Más allá de la Modularidad*. Madrid: Alianza.

Kallery, M. (2011). Astronomical Concepts and Events Awareness for Young Children. *International Journal of Science Education*, 33(3), 341-369

Kikas, E. (1997). The impact of teaching on students's explanations of astronomical phenomena. *Psychology of Language and Communication*, 1(2), 45-52.

Kikas, E. (2003). University students' conceptions of different physical phenomena. *Journal of Adult Development*, 10(3), 139-150.

Kikas, E. (2004). Teachers' conceptions and misconceptions concerning three natural phenomena. *Journal Research Science Teaching*, 41(5), 432-448.

Kikas, E. (2006). The Effect of Verbal and Visuo-Spatial Abilities on the Development of Knowledge of the Earth. *Research in Science Education*, 36(3), 269–283.

Klein, C. (1982). Children's concepts of the Earth and Sun. *Science Education*, 65(1), 95-101.

Kosslyn, S. (1986). *Image and Mind*. Cambridge: Harvard University Press.

Kriner, A. (2004). Las fases de la Luna, ¿cómo y cuándo enseñarlas?. *Ciência & Educação*, 10(1), 111-120.

Kuhn, T. (1957). *La revolución copernicana*. Barcelona: Planeta.

Lanciano, N. (1989). Ver y hablar como Tolomeo y pensar como Copérnico. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 173-182.

- Lanciano, N. (1995). Mirando el cielo: obstáculos conceptuales ante el espacio. Un enfoque transversal. *Uno: Revista de didáctica de las matemáticas*, 6, 85-94.
- Lanciano, N. y Camino, N. (2008): Del ángulo de la geometría a los ángulos en el cielo. Dificultades para la conceptualización de las coordenadas astronómicas acimut y altura. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(1), 77-92.
- Landau, L., Ajezer, A. y Lifshitz, E. (1973). *Curso de Física General. Mecánica y Física molecular*. Moscú: Mir.
- Latorre, A. (2003). *La investigación-acción. Conocer y cambiar la práctica educativa*. Barcelona: GRAO.
- Leite, C. y Hosoume, Y. (2009). Explorando a dimensão espacial na pesquisa em ensino de astronomia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(3), 2009.
- Lewin, K. (1946). Action Research and Minority problems. *Journal of Social Issues*, 2(4), 34-46.
- Limón, M. y Carretero, M. (1996). Las ideas previas de los alumnos. ¿Qué aporta este enfoque a la enseñanza de las ciencias? En Carretero, M., *Construir y enseñar las Ciencias Experimentales*, 19-45. Buenos Aires: Aique.
- Lombardi, O. (1998). La noción de modelo en ciencias. *Educación en Ciencias*, 2(4), 5-13.
- Lombardi, O. (2010). Los modelos como mediadores entre teoría y realidad. En Galagovsky, L. (coord.), *Didáctica de las Ciencias Naturales: el caso de los modelos científicos*, 83-94. Buenos Aires: Lugar.
- López-Gay, R., Jiménez Liso, M., Osuna, L. y Martínez Torregrosa, J. (2009). El aprendizaje del modelo Sol-Tierra. Una oportunidad para la formación de maestros. *Alambique*, 61, 27-37.
- Lucas, K. y Cohen, M. (1999). The Changing Seasons: Teaching for Understanding. *Australian Science Teachers Journal*, 45(4), 9-17.
- Mali, G. y Howe, A. (1979). Development of Earth and gravity concepts among nepali children. *Science Education*, 63(5), 685-691
- Martinand, J. (1989). Pratiques de référence, transposition didactique et savoirs professionnels en sciences et techniques. *Les Sciences de l'éducation*, 2, 22-29.
- Martínez Peña, B. y Gil Quílez, M. (2001). The importance of images in astronomy education. *International Journal of Science Education*, 23(11), 1125-1135.
- Maturana, H. (1990). *Emociones y Lenguaje en Educación y Política*. Santiago, Chile: Dolmen Ediciones.
- Maturana, H. (1995). *La realidad: ¿objetiva o construida? II. Fundamentos biológicos del conocimiento*. Guadalajara, México: Anthropos - Universidad Iberoamericana - ITESO.

Matus Leites, L., Benarroch, A. y Perales, F. (2008). Las imágenes sobre el enlace químico usadas en los libros de texto de educación secundaria. Análisis desde los resultados de la investigación educativa. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), 153-176.

Meeus, J. (1998). *Astronomical Algorithms*. Virginia: Willmann-Bell.

Moreira, M. (1997). Aprendizagem Significativa: um conceito subyacente. En Moreira, M., Caballero Sahelices, C. y Rodríguez Palmero, M. (Eds.), *Actas del II Encuentro Internacional sobre Aprendizaje Significativo*, 19-44. Burgos, España: Universidad de Burgos.

Moreira, M. (1999). *La Teoría del Aprendizaje Significativo*. Texto de apoyo Nro. 6, Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Burgos, España: Universidad de Burgos.

Moreira, M. (2000). Aprendizaje significativo crítico. *Atas do III Encontro Internacional de Aprendizagem Significativa*, 33-45. Peniche, Portugal.

Moreira, M. (2002). La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área. *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*, 7(1), 7-29.

Moreira, M., Greca, I. y Rodríguez Palmero, M. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2(3), 84-96.

Moreno Lorite, M. (1998). A cielo abierto: una experiencia de aprendizaje de astronomía. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 18, 75-83.

Morrison, M. (1999). Models as autonomous agents. En Morgan, M. y Morrison, M., *Models as Mediators: Perspectives on natural and social science*, 38-65. Cambridge: Cambridge University Press.

Morrison, M. y Morgan, M. (1999). Models as mediating instruments. En Morgan, M. y Morrison, M. (Eds.), *Models as mediators: Perspectives on natural and social science*, 10-37. Cambridge: Cambridge University Press.

National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.

Navarrete, A. (2003). *Obstáculos y dificultades en la evolución de las estructuras conceptuales y epistemológicas de los futuros maestros: un estudio de casos sobre el fenómeno de las estaciones*. Tesis doctoral. Cádiz: Universidad de Cádiz.

Navarrete, A., Azcárate, P. y Oliva, J. (2004). Algunas interpretaciones sobre el fenómeno de las estaciones en niños, estudiantes y adultos: revisión de la literatura. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(3), 146-166.

Navarro Pastor, M. (2011). Enseñanza y aprendizaje de Astronomía diurna en primaria mediante "secuencias problematizadas" basadas en "mapas evolutivos". *Enseñanza de las Ciencias*, 29(2), 163-174.



- Newcombe, N. y Frick, A. (2010). Early Education for Spatial Intelligence: Why, What, and How. *Mind, Brain, and Education*, 4(3), 102-111.
- Nobes, G., Martin, A. y Panagiotaki, G. (2005). The development of scientific understanding of the earth. *British Journal of Developmental Psychology*, 23(1), 47-64.
- Novak, J. (1977). An alternative to Piagetian psychology. *Science Education*, 61(4), 453-477.
- Novak, J. (1988). *Teoría y práctica de la educación*. Madrid: Alianza.
- Nussbaum, J. (1979). Childrens conceptions of the Earth as a cosmic body: a cross-age study. *Science Education*, 63(1), 83-93.
- Nussbaum, J. (1989, 1992). La tierra como cuerpo cósmico. En Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A., *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, 259-290, Madrid: Morata.
- Nuvoli, L. (1992). Methodological relevance of reference frames in physics teaching. *Proceedings of the International Conference on Physics Education*, 265-268. Torun, Poland: Nicholas Copernicus University Press.
- Ogan-Bekiroglu, F. (2007). Effects of Model-based Teaching on Pre-service Physics Teacher's Conceptions of the Moon, Moon Phases, and Other Lunar Phenomena. *International Journal of Science Education*, 29(5), 555-593.
- Ojala, J. (1992). The third planet. *International Journal of Science Education*, 14(2), 191-200.
- Olivares Alfonso, J. (2003). Horologium. *Uno: Revista de didáctica de las matemáticas*, 33, 89-98.
- Osborne, R. y Gilbert, J. (1980). A technique for exploring student's view of the world. *Physics Education*, 15, 376-379.
- Osborne, R. y Freyberg, P. (1985). *Learning in Science. The implications of children's science*. Portsmouth: Heinemann.
- Otero, M. (1999). Psicología cognitiva, representaciones mentales e investigación en enseñanza de las ciencias. *Investigações em Ensino de Ciências*, 4(2), 93-119.
- Otero, M. (2006). Emociones, Sentimientos y Razonamientos en Didáctica de las Ciencias. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 1(1), 24-53.
- Otero, M. (2007). Emociones, sentimientos y razonamientos en Educación Matemática. *Actas I Encuentro Nacional de Enseñanza de la Matemática: perspectiva Cognitiva, Didáctica y Epistemológica*. Tandil, Argentina.
- Otero, M., Moreira, M. y Greca, I. (2002). El uso de imágenes en textos de Física para la enseñanza secundaria y universitaria. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(2), 127-154.

- Otero, M. y Greca, I. (2004) Las imágenes en los textos de Física: entre el optimismo y la prudencia. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 21(1), 37-67.
- Ozdemir, O. (2004). *The coexistence of alternative and scientific conceptions in physics*. Disertación doctoral. Ohio: Ohio State University.
- Palomar, R. y Solbes, J. (2015). Evaluación de una propuesta para la enseñanza y el aprendizaje de la astronomía en secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, 33(2), 91-111.
- Panse, S., Ramadas, J. y Kumar, A. (1994). Alternative conceptions in Galilean relativity: frames of reference. *International Journal of Science Education*, 16(1), 63-82.
- Parker, J. y Heywood, D. (1998). The earth and beyond: developing of primary teachers' understanding of basical astronomical events. *International Journal of Science Education*, 20(5), 503-520.
- Peña, L. y Rojas, A. (1997). *Los libros de texto en la política educativa: Bases y propuestas para la formulación de una política de textos en Colombia*. Bogotá: Ministerio de Educación Nacional.
- Perales, F. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 24(1), 13-30.
- Pérez Gómez, A. (1996). Comprender la enseñanza en la escuela. Modelos metodológicos de investigación educativa. En Gimeno Sacristán, J. y Pérez Gómez, A., *Comprender y transformar la enseñanza*, 115-136. Madrid: Morata.
- Pérez Serrano, G. (1990). *Investigación-Acción: aplicaciones al campo de lo social y educativo*. Madrid: Dykinson.
- Pérez Serrano, G. (1994). *Investigación cualitativa I. Retos e interrogantes: Métodos*. Madrid: La Muralla.
- Perrenoud, Ph. (1994). Compétences, habitus et savoirs professionnels. *European Journal of Teacher Education*, 17(1-2), 45-48.
- Piaget, J. (2001). *La representación del mundo en el niño*. 9na. edición. Madrid: Morata.
- Plummer, J. (2008). Students' development of Astronomy Concepts across Time. *Astronomy Education Review*, 7(1), 139-148.
- Plummer, J., Wasko, K. y Slagle, C. (2011). Children learning to explain daily celestial motion: Understanding astronomy across moving frames of reference. *International Journal of Science Education*, 33(14), 1963-1992.
- Plummer, J., Kocareli, A. y Slagle, C. (2014). Learning to explain astronomy across moving frames of reference: Exploring the role of classroom and planetarium-based instructional contexts. *International Journal of Science Education*, 36(7), 1083-1106.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P. y Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.

Pozo, J. y Gómez Crespo, M. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.

Raviolo, A. (2013). *La imagen en la enseñanza de la química*. Conferencia. XVI Reunión de Educadores en la Química, Bahía Blanca, Argentina.

Raviolo, A., Ramírez, P. y López, E. (2010). Enseñanza y aprendizaje del concepto de modelo científico a través de analogías. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(3), 581-612.

Rincón Voelzke, M. y Pereira Gonzaga, E. (2013). Analysis of the astronomical concepts presented by teachers of some Brazilian state. *Journal of Science Education*, 1(14), 23-25.

Rodríguez Palmero, M. (2004). La Teoría del Aprendizaje Significativo. En Cañas, J., Novak, J. y González, F. (Eds.), *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology. Proc. of the First International Conference on Concept Mapping*, 535-544. Pamplona, España.

Rodríguez Palmero, M. (2008). La Teoría del Aprendizaje Significativo. En Rodríguez Palmero, M. (Org.), *La teoría del aprendizaje significativo en la perspectiva de la psicoLogía cognitiva*, 7-45. Barcelona: Octaedro.

Rodríguez Palmero, M. y Moreira, M. (2002). La Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud. *Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias*, Texto de apoyo Nro. 15. Burgos, España: Universidad de Burgos.

Rojas Peña, I. (2010). *Astronomía elemental. Volumen I: Astronomía básica*. Valparaíso, Chile: USM.

Sadler, P. (1987). Misconceptions in astronomy. En Novak, J. (Ed.), *Proceedings of the 2nd international seminar on misconceptions an educational strategies in science and maths*, 422-425. Ithaca: Cornell University Press.

Sadler, P. (1992). *The initial knowledge state of high school astronomy students*. Conferencia. Cambridge: Harvard University.

Salierno, C., Edelson, D., y Sherin, B. (2005). The Development of Student Conceptions of the Earth-Sun Relationship. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 422-431.

Saltiel, E. y Malgrange, J. (1980). 'Spontaneous' ways of reasoning in elementary kinematics. *European Journal of Science Education*, 2(1), 73-80

Samarapungavan, A., Vosniadou, S. y Brewer, W. (1996). Mental models of the Earth, Sun and Moon: indian children's cosmologies. *Cognitive Development*, 11, 491-521.

Sandín Esteban, M. (2003). *Investigación cualitativa en educación: Fundamentos y tradiciones*. Madrid: McGraw Hill.

Schneps, M. y Sadler, P. (1989). *A Private Universe - Preconceptions that Block Learning*. Video. Cambridge, MA: Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics.

Schoon, K. (1992). Students alternative conceptions of Earth and space. *Journal of Geological Education*, 40, 209-214.

Schoon, K. (1995). The origin and extent of alternative conceptions in the Earth and space sciences: a survey of pre-service elementary teachers. *Journal of Elementary Sciences Education*, 7(2), 27-46.

Schoon, K. y Boone, W. (1998). Self-efficacy and alternative conceptions of science of preservice elementary teachers. *Science Education*, 82(5), 553-568.

Sebastià, B. y Torregrosa, J. (2005). Preservice elementary teachers' conceptions of the Sun-Earth Model: A proposal of a Teaching-Learning sequence. *Astronomy Education Review*, 4(1), 121-126.

Sharp, J. (1996). Children's astronomical beliefs: a preliminary study of year 6 children in south-west England. *International Journal of Science Education*, 18(6), 685-712.

Shen, J. y Confrey, J. (2010). Justifying Alternative Models in Learning Astronomy: A study of K-8 science teacher's understanding of frames of reference. *International Journal of Science Education*, 32(1), 1-29.

Skam, K. (1994). Determining Misconceptions About Astronomy. *Australian Science Teachers Journal*, 40(3), 63-67.

Smith, C., Snir, J. y Grosslight, L. (1992). Using conceptual models to facilitate conceptual change: the case of weight-density differentiation. *Cognition and Instruction*, 9(3), 221-283.

Sneider, C. y Pulos, S. (1983). Children's cosmographies: understanding the Earth's shape and gravity. *Science Education*, 67(2), 205-221.

Sneider, C. y Ohadi, M. (1998). Unraveling students' misconceptions about the earth's shape and gravity. *Science Education*, 82(2), 265-284.

Sneider, C., Bar, B. y Kavanagh, C. (2011). Learning about Seasons: A Guide for Teachers and Curriculum Developers. *Astronomy Education Review*, 10(3), 1-22.

Snyder, J. An investigation of the knowledge structures of experts, intermediates and novices in physics. *International Journal of Science Education*, 9(22), 979-992.

Solomon, J. (1983). Thinking in two worlds of knowledge. En Helm, H. y Novak, J. (Eds.), *Proceedings of the International Seminar: Misconceptions in Science and Mathematics*, 127-132. Ithaca: Cornell University.

Spencer, J. (1971). *Fourier series representation of the position of the Sun*. *Search*, 2(5), 172.

Stahly, L., Krockover, G. y Shepardson, D. (1999). Third grade students' ideas about the lunar phases. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 159-177.

Stenhouse, L. (1984). *Investigación y desarrollo del currículum*. Madrid: Morata.

Stenhouse, L. (1987). *La investigación como base de la enseñanza*. Madrid: Morata.

- Suárez Pazos, M. (2002). Algunas reflexiones sobre la investigación-acción colaboradora en la educación. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 40-56.
- Subramaniam, K. y Padalkar, S. (2009). Visualisation and Reasoning in Explaining the Phases of the Moon. *International Journal of Science Education*, 31(3), 395-417.
- Summers, M. y Mant, J. (1995). A survey of British primary school teachers' understanding of the Earth's place in the universe. *Educational Research*, 37(1), 3-19.
- Suzuki, M. (2003). Conversations about the Moon with prospective teachers in Japan. *Science Education*, 87(6), 892-910.
- Szostak, R. (1992). The seasons as a didactical challenge for transforming the frames of reference. *Proceedings of the International Conference on Physics Education*, 491-495. Torun, Poland: Nicholas Copernicus University Press.
- Targan, D. (1988). *The assimilation and accommodation of concepts in astronomy*. Conferencia. Minneapolis: University of Minnesota.
- Ten, A. y Monros, M. (1984). Historia y enseñanza de la Astronomía, I. Los primitivos instrumentos y su utilización pedagógica. *Enseñanza de las Ciencias*, 2, 49-56.
- Ten, A. y Monros, M. (1985). Historia y enseñanza de la Astronomía, II. La posición de los cuerpos celestes. *Enseñanza de las Ciencias*, 3, 47-56.
- Trumper, R. (2001). Assessing students' basic astronomy conceptions from junior high school through university. *Australian Science Teachers Journal*, 47(1), 21-31.
- Trundle, K., Atwood, R. y Christopher, J. (2002). Preservice Elementary Teacher's Conceptions of Moon Phases Before and After Instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 633-658.
- Trundle, K., Atwood, R. y Christopher, J. (2006). Preservice Elementary Teachers' Knowledge of Observable Moon Phases and Pattern of Change in Phases. *Journal of Research in Science Teaching*, 17(2), 87-101.
- Trundle, K., Atwood, R. y Christopher, J. (2007). Fourth-grade Elementary Student's Conceptions of Standards-based Lunar Concepts. *International Journal of Science Education*, 29(5), 595-616.
- Türk, C. y Kalkan, H. (2015). The Effect of Planetariums on Teaching Specific Astronomy Concepts. *Journal of Science Education and Technology*, 24(1), 1-15.
- Uribe, R. (2006). *Programas, compras oficiales y dotación de textos escolares en América Latina*. Bogotá: Centro Regional para el Fomento del Libro en América Latina y el Caribe.
- Van Driel, J. y Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.
- Vega Navarro, A. (1996). Ideas Precopernicanas en nuestros libros de texto. *Revista de Educación*, 311, 339-354.

- Vega Navarro, A. (2001). Tenerife tiene seguro de Sol (y de Luna): Representaciones del profesorado de primaria acerca del día y la noche. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 31-44.
- Vega Navarro, A. (2002). *Sol y Luna, una pareja precopernicana. Estudio del día y la noche en Educación Infantil*. Tesis doctoral. Tenerife: Universidad de La Laguna.
- Vega Navarro, A. (2003). El día y la noche en los cuentos. *Curriculum*, 16, 61-73.
- Vega Navarro, A. (2007). Ideas, conocimientos y teorías de niños y adultos sobre las relaciones Sol-Tierra-Luna. Estado actual de las investigaciones. *Revista de Educación*, 342, 475-500.
- Vergnaud, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. En Carpenter, T., Moser, J. y Romberg, T., *Addition and subtraction. A cognitive perspective*, 39-59. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Vergnaud, G. (1983). Actividad y conocimiento operatorie. En Coll. C. (Ed.), *Psicología genética y aprendizajes escolares*, 91-104. Madrid: Siglo XXI.
- Vergnaud, G. (1990). La teoría de los campos conceptuales. *Récherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23), 133-170. Traducción de Juan Godino.
- Vergnaud, G. (1994). Multiplicative conceptual field: what and why? En Guershon, H. y Confrey, J. (Eds.), *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*, 41-59. Albany, N.Y.: State University of New York Press.
- Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2), 167-181.
- Vílchez-González, J. y Ramos-Tamajón, C. (2015). La enseñanza-aprendizaje de fenómenos astronómicos cotidianos en la Educación Primaria española. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 2-21.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- Vosniadou, S. (2002). On the nature of naive physics. En Limón, M. y Mason, L. (Eds.), *Reconsidering Conceptual Change. Issues in Theory and Practice*, 61-76. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Vosniadou, S. y Brewer, W. (1992). Mental models of the Earth: a study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Vosniadou, S. y Brewer, W. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18, 123-183.
- Vosniadou, S., Skopeliti, I. y Ikospentaki, K. (2005). Reconsidering the role of artifacts in reasoning: Children's understanding of the globe as a model of the Earth. *Learning and Instruction*, 15, 333-351.

Webb, M. (1993). Computer-based modelling in school science. *School Science Review*, 74, 33-47.

Wilbers, J. y Duit, R. (2006). Post-festum and Heuristic Analogies. En Aubusson, P., Harrison, A. y Ritchie, S. (Eds.), *The Role of Analogue Models in the Understanding of the Nature of Models in Chemistry*, 37-49. Dordrecht: Springer.

Wilhelm, J. (2010). Gender differences in lunar-related scientific and mathematical understandings. *International Journal of Science Education*, 31(5), 2105-2122.

Yang, L., Soprano, K. y McAllister, M. (2012). What are elementary and middle school students expected to learn about the sun and moon in Taiwan and the US? *Science Education International*, 23(3), 241-267.

Yuckemberg, A. (1962). Children's understanding of certain concepts of astronomy in the first grade. *Science Education*, 46(2), 148-150.

Zavelski, F. (1990). *Tiempo y su medición*. Moscú: Mir.





# ANEXO

## 10.1. Transformaciones entre sistemas de coordenadas

Esta sección remite al desarrollo sobre sistemas de referencia astronómicos llevado a cabo en la **Sección 2.5.3**. Aquí se presenta el modo en que es posible transformar en forma estricta cualquier coordenada perteneciente a un determinado sistema astronómico a otro de los sistemas de referencia mencionados en dicha sección.

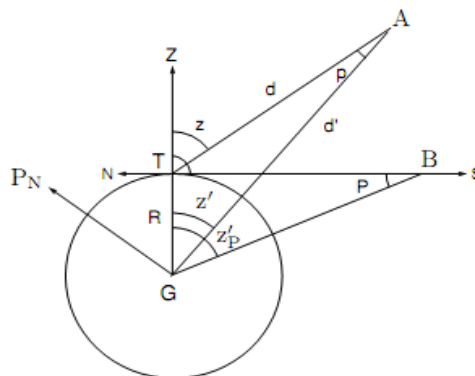
### 10.1.1. La paralaje

Dado que la posición de un astro depende de cuál haya sido el sistema de referencia elegido, el cambiar el origen del sistema provocará un efecto geométrico que hará que el mismo astro se observe en una dirección distinta. Cuando la diferencia en la dirección se debe a haber tomado como origen un punto de la superficie terrestre (sistema topocéntrico) o el centro de masas de la Tierra (sistema geocéntrico), a este fenómeno se lo denomina "paralaje diurna". Salvo para algunos cuerpos del Sistema Solar, este efecto es prácticamente despreciable debido a la enorme distancia a la que se encuentran los astros en comparación con el radio terrestre.

La paralaje diurna ( $p$ ) de un astro también puede definirse como el ángulo bajo el cual se ve el radio terrestre desde dicho astro (**Figura 10-1**). Suponiendo una Tierra esférica, la paralaje puede calcularse en función del radio terrestre ( $R$ ), de la distancia geocéntrica al astro ( $d'$ ) y de la distancia cenital topocéntrica ( $z$ ):

$$p = \frac{R}{d'} \operatorname{sen} z$$

**FIGURA 10-1:** Paralaje diurna ( $p$ ) de un astro A y paralaje horizontal ( $P$ ) de un astro B situado en el horizonte del lugar (Berrocoso et al., 2003, p. 171).



A su vez, la paralaje será máxima cuando el astro se encuentre en el horizonte. En ese caso, la paralaje se denomina “paralaje horizontal” (P) y su valor es igual a:

$$P = \frac{R}{d'}$$

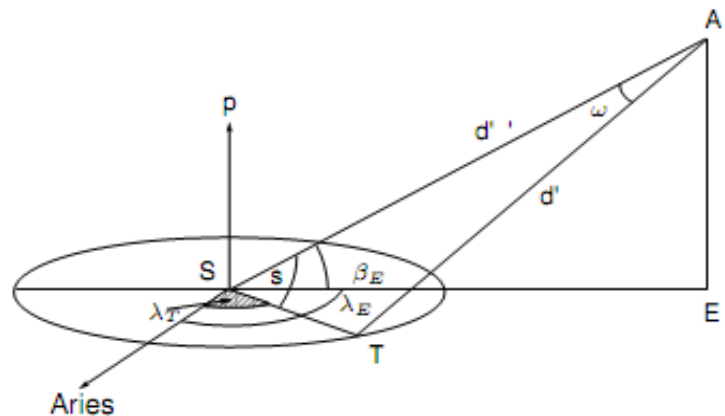
Del mismo modo, la paralaje diurna puede calcularse a partir de la distancia topocéntrica (d) y de la distancia cenital geocéntrica (z'):

$$p = \frac{R}{d} \text{sen } z'$$

En función de las expresiones anteriores, queda claro que la paralaje diurna es mínima cuando el astro se encuentra en el cénit (z ó z'= 0°) o cuando la distancia al astro es mucho mayor que el radio terrestre.

Por otra parte, el fenómeno se denomina “paralaje anual” cuando la diferencia en la dirección es consecuencia del movimiento de traslación de la Tierra, lo que provoca que el astro se observe en distinta dirección desde el centro de masas de nuestro planeta (sistema geocéntrico) que desde el centro de masas del Sol (sistema heliocéntrico). Nuevamente, debido a la enorme distancia a la que se encuentran los astros, este efecto es prácticamente despreciable para la mayoría de ellos (**Figura 10-2**).

**FIGURA 10-2:** Paralaje anual ( $\omega$ ) de un astro A (ibíd., p. 180).



En forma similar a la paralaje diurna, la paralaje anual ( $\omega$ ) de un astro puede definirse como el ángulo bajo el cual se ve el radio de la órbita terrestre desde dicho astro. Suponiendo una órbita circular, la paralaje anual en segundos ( $\omega''$ ) puede calcularse sabiendo la distancia Tierra – Sol (ST) y la distancia geocéntrica al astro (d'), que para la mayoría de los astros es posible aproximarla a la distancia heliocéntrica (d''):

$$\omega'' = \frac{ST}{d'' \cdot \text{sen } 1''}$$

Utilizando estos conocimientos, es posible calcular la distancia geocéntrica ( $d'$ ) a un astro conociendo el radio de la Tierra ( $R$ ) y midiendo las distancias cenitales topocéntricas del astro ( $z_A$  y  $z_B$ ) vistas desde dos lugares distintos de la superficie terrestre ( $A$  y  $B$ ), con latitudes diferentes ( $\varphi_A$  y  $\varphi_B$ ):

$$d' = \frac{R (\text{sen } z_A + \text{sen } z_B)}{z_A + z_B - (\varphi_A + \varphi_B)}$$

Tanto las latitudes como las distancias cenitales deben estar en radianes.

En función de la común necesidad de analizar el mismo fenómeno desde distintos puntos de observación es que toman relevancia las ecuaciones que permiten realizar transformaciones entre coordenadas correspondientes a distintos sistemas de referencia, las cuales se detallarán a continuación. Para poder deducir dichas ecuaciones, se deben tener en cuenta algunas hipótesis que, con bastante aproximación, permiten llevar a cabo los cálculos necesarios. En las transformaciones entre coordenadas topocéntricas y geocéntricas será conveniente simplificar los cálculos considerando un modelo de Tierra esférica con rotación uniforme. En cambio, para las transformaciones entre coordenadas geocéntricas y heliocéntricas será útil postular que la velocidad de traslación de la Tierra alrededor del Sol es uniforme, lo que implica la suposición de una órbita circular perfecta.

### 10.1.2. Transformación de coordenadas topocéntricas a geocéntricas

Dado que las observaciones astronómicas terrestres suelen ser topocéntricas, pero las posiciones de los astros en la esfera celeste suelen darse en coordenadas ecuatoriales, cobra relevancia la transformación de unas coordenadas en otras. Las siguientes expresiones (Meeus, 1998) permiten calcular la declinación de un astro ( $\delta$ ) y su ángulo horario ( $H$ ) conociendo su altura ( $h$ ) y su acimut ( $A$ ) medidos desde una cierta latitud ( $\varphi$ ):

$$\begin{aligned} \text{sen } \delta &= \text{sen } \varphi \text{ sen } h - \text{cos } \varphi \text{ cos } h \text{ cos } A \\ \tan H &= \text{sen } A / (\text{cos } \varphi \text{ tan } h - \text{sen } \varphi \text{ cos } A) \end{aligned}$$

En la expresión anterior, el acimut ( $A$ ) se mide desde la dirección sur en sentido oeste. A su vez, para obtener la ascensión recta ( $\alpha$ ) del astro se debe conocer el tiempo sidéreo ( $TS$ ) correspondiente y utilizar la expresión que lo relaciona con el ángulo horario ( $H$ ):

$$TS = \alpha + H$$

En forma análoga, para calcular las coordenadas horizontales acimut ( $A$ ) y altura ( $h$ ) de un astro para determinada latitud ( $\varphi$ ) conociendo su declinación ( $\delta$ ) y su ascensión recta ( $\alpha$ ), se deberá utilizar la última expresión para transformar la ascensión recta en ángulo horario ( $H$ ) conociendo el tiempo sidéreo. Luego, las expresiones a utilizar son (ibíd.):

$$\begin{aligned} \text{sen } h &= \text{sen } \varphi \text{ sen } \delta + \text{cos } \varphi \text{ cos } \delta \text{ cos } H \\ \tan A &= \text{sen } H / (-\text{cos } \varphi \text{ tan } \delta + \text{sen } \varphi \text{ cos } H) \end{aligned}$$

### 10.1.3. Transformación de coordenadas geocéntricas a heliocéntricas

Las coordenadas ecuatoriales ascensión recta y declinación geocéntricas ( $\alpha, \delta$ ) y heliocéntricas ( $\alpha', \delta'$ ) de un astro pueden transformarse entre sí conociendo las distancias geocéntrica ( $d'$ ) y heliocéntrica ( $d''$ ) de dicho astro, la paralaje anual ( $\omega$ ), la longitud eclíptica geocéntrica del Sol ( $\lambda_\theta$ ) y la oblicuidad de la eclíptica ( $\epsilon$ ):

$$\begin{pmatrix} \cos \alpha \cos \delta \\ \sin \alpha \cos \delta \\ \sin \delta \end{pmatrix} = \frac{d''}{d'} \begin{pmatrix} \cos \alpha' \cos \delta' \\ \sin \alpha' \cos \delta' \\ \sin \delta' \end{pmatrix} + \omega \begin{pmatrix} \cos \lambda_\theta \\ \sin \lambda_\theta \cos \epsilon \\ \sin \lambda_\theta \sin \epsilon \end{pmatrix}$$

En forma similar, las coordenadas eclípticas latitud y longitud geocéntricas ( $\lambda, \beta$ ) y heliocéntricas ( $\lambda', \beta'$ ) pueden transformarse entre sí:

$$\begin{pmatrix} \cos \lambda \cos \beta \\ \sin \lambda \cos \beta \\ \sin \beta \end{pmatrix} = \frac{d''}{d'} \begin{pmatrix} \cos \lambda' \cos \beta' \\ \sin \lambda' \cos \beta' \\ \sin \beta' \end{pmatrix} + \omega \begin{pmatrix} \cos \lambda_\theta \\ \sin \lambda_\theta \\ 0 \end{pmatrix}$$

En estas expresiones, la longitud ( $\lambda$ ) oeste se considera positiva, al igual que la latitud celeste ( $\beta$ ) norte y la latitud norte del lugar ( $\varphi$ ). La ascensión recta ( $\alpha$ ) se calcula a partir del tiempo sidéreo y la oblicuidad de la eclíptica ( $\epsilon$ ) equivale a  $23,4392911^\circ$ . La **Tabla 10-1** sintetiza las expresiones matemáticas correspondientes a las diferentes transformaciones entre coordenadas.

**Tabla 10-1:** Transformaciones entre sistemas de coordenadas astronómicos.

Sistema origen	Coordenadas origen	Sistema destino	Coordenadas destino	Transformación de coordenadas
Horizontal (topocéntrico)	Acimut (A) y Altura (h)	Ecuatorial Horario (geocéntrico)	Ángulo horario (H) y declinación ( $\delta$ )	$\sin \delta = \sin \varphi \sin h - \cos \varphi \cos h \cos A$ $\tan H = \sin A / (\cos \varphi \tan h - \sin \varphi \cos A)$
Ecuatorial Horario (geocéntrico)	Ángulo horario (H) y declinación ( $\delta$ )	Horizontal (topocéntrico)	Acimut (A) y altura (h)	$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos H$ $\tan A = \sin H / (-\cos \varphi \tan \delta + \sin \varphi \cos H)$
Ecuatorial absoluto (geocéntrico)	Ascensión recta ( $\alpha$ ) y declinación ( $\delta$ )	Eclíptico (geocéntrico)	Longitud ( $\lambda$ ) y latitud ( $\beta$ ) celeste	$\tan \lambda = (\tan \delta \sin \epsilon + \cos \epsilon \sin \alpha) / \cos \alpha$ $\sin \beta = \sin \delta \cos \epsilon - \cos \delta \sin \epsilon \sin \alpha$
Eclíptico (geocéntrico)	Longitud ( $\lambda$ ) y latitud ( $\beta$ ) celeste	Ecuatorial absoluto (geocéntrico)	Ascensión recta ( $\alpha$ ) y declinación ( $\delta$ )	$\tan \alpha = (-\tan \beta \sin \epsilon + \cos \epsilon \sin \lambda) / \cos \lambda$ $\sin \delta = \sin \beta \cos \epsilon + \cos \beta \sin \epsilon \sin \lambda$
Eclíptico (geocéntrico)	Longitud ( $\lambda$ ) y latitud ( $\beta$ )	Heliocéntrico	Longitud ( $\lambda'$ ) y latitud ( $\beta'$ )	Ver expresión aquí arriba

## 10.2. Explicación heliocéntrica de los fenómenos astronómicos cotidianos

En esta sección se explican en forma sintética los fenómenos astronómicos cotidianos (día/noche, estaciones y fases de la Luna) desde el sistema de referencia heliocéntrico. Este punto de vista que no será tenido en cuenta en esta investigación reviste dificultades para su comprensión por parte de estudiantes de nivel primario, las cuales se encuentran detalladas en el **Capítulo 4**.

Sin embargo, la explicación "heliocéntrica" de los fenómenos astronómicos cotidianos se desarrolla aquí ya que constituye el siguiente modelo "objetivo" que debería ser alcanzado por los estudiantes durante la escuela media, haciendo posible una paulatina transición desde lo particular y cercano a lo general y lejano.

### 10.2.1. Rotación de la Tierra: el día y la noche

La rotación de la esfera celeste en torno a un observador terrestre constituye uno de los fenómenos astronómicos más evidentes si se presta atención al desplazamiento diario de los astros en el cielo. Este movimiento fue interpretado originalmente como el giro de todo el cielo alrededor de nuestro planeta en un lapso aproximado de 24 horas. Hoy se sabe que este fenómeno es una consecuencia del movimiento de rotación de la Tierra, explicación que empezó a cobrar relevancia a partir de la medición de las distintas distancias a las estrellas, lo que hizo improbable suponer y explicar físicamente el desplazamiento continuo de esa gran esfera celeste. A su vez, a partir de la invención del telescopio fue posible observar que el Sol y algunos planetas poseían movimiento de rotación, por lo que pareció razonable suponer que también la Tierra lo tuviese (Feinstein y Tignanelli, 2005).

Recién en el siglo XIX fue posible diseñar algunos experimentos físicos para demostrar la rotación de la Tierra. El más famoso de ellos fue realizado en el año 1851 por el físico francés León Foucault, quien colgó una bala de cañón de la bóveda del Panteón de París con un cable de acero de casi 70 metros de largo. Adherida a la bala de cañón, Foucault colocó un pequeño estilete que dejaba marcas en el suelo del Panteón, el cual había sido cubierto con arena. Las marcas en la arena se iban desplazando pese a que el plano de oscilación del péndulo no debe cambiar en ausencia de fuerzas externas. Por lo tanto, este fenómeno sólo puede explicarse como una consecuencia de la rotación de la superficie terrestre.

Como resultado de la rotación de la Tierra, a un observador le parecerá que el plano de las oscilaciones del péndulo gira alrededor de la vertical del lugar. La velocidad angular de este giro ( $\omega_\varphi$ ) es igual a la proyección de la velocidad angular de rotación de la Tierra ( $\omega$ ) sobre la vertical del lugar (Bakulin, Kononóvich y Moroz, 1987):

$$\omega_\varphi = \omega \operatorname{sen} \varphi$$

Como la velocidad angular de rotación de la Tierra es de 15°/hora, en la zona donde se realizó esta investigación ( $\varphi=42^\circ$ Sur) el plano de oscilación de un péndulo rota unos 10°/hora.

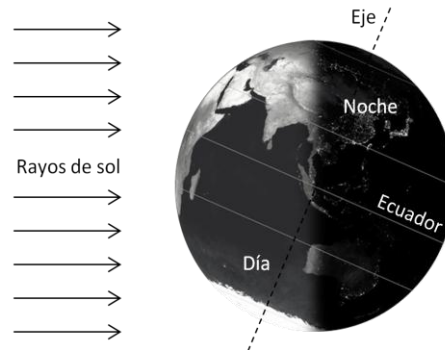
Otro efecto de la rotación de la Tierra, aunque menos evidente que el anterior, es el desvío hacia oriente de los cuerpos en caída libre sobre la Tierra. Esto se debe a que la velocidad lineal oeste-este de un punto sobre la superficie terrestre es mayor cuanto más lejos del eje de rotación se encuentre. Por lo tanto, la punta de una torre alta se desplaza hacia el este a mayor velocidad lineal que su base. En consecuencia, un cuerpo que cae libremente desde lo alto de la torre caerá un poco corrido hacia el este respecto a su base. La expresión siguiente cuantifica este desplazamiento ( $x$ ), donde  $x$  se expresa en mm,  $h$  es la altura de caída en metros y  $\varphi$  es la latitud del lugar (ibíd.):

$$x = 0,022 \cdot h \cdot \sqrt{h} \cos \varphi$$

Esto implica que en la zona donde se realizó esta investigación la caída de un cuerpo desde una altura de 20 metros implica un corrimiento hacia el este de unos 1,5 mm.

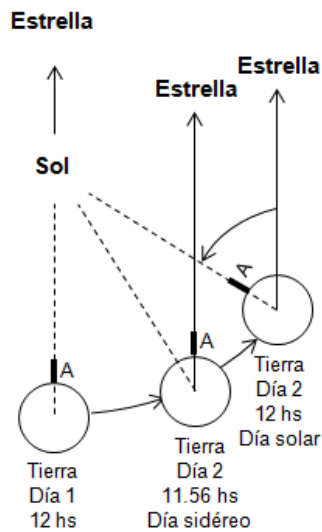
Dado que la Tierra posee una forma prácticamente esférica, una parte de su superficie recibe la luz solar, donde es de día, mientras que otra parte no recibe luz, donde es de noche (**Figura 10-3**). El movimiento de rotación de la Tierra en torno a su eje provoca la alternancia diaria de estos fenómenos (salvo en lugares cercanos a los polos), por lo que un observador terrestre ve el desplazamiento del Sol en el cielo desde algún lugar del horizonte oriental hacia algún lugar del horizonte occidental. La Luna no guarda relación con este fenómeno y, dependiendo su posición en su órbita en torno a la Tierra, puede observarse de día y/o de noche.

**Figura 10-3:** Esquema explicativo heliocéntrico del día y la noche. La situación corresponde al solsticio de diciembre, momento del año en que los rayos solares caen perpendiculares al Trópico de Capricornio.



La Tierra da una vuelta en dirección oeste-este en torno a su eje de rotación en un lapso de tiempo de 23h 56' 4". Esto provoca que desde la superficie terrestre se observe a todos los astros, incluido al Sol, girando alrededor de nuestro planeta en sentido contrario. Sin embargo, debido a que la Tierra se traslada al mismo tiempo que rota, el tiempo que tarda el Sol en ubicarse en la misma posición en el cielo luego de una rotación (el "período solar") no es igual al tiempo que tarda una estrella nocturna en hacer lo mismo (el "día sidéreo"). La Tierra deberá girar un poco más para poder alinearse con el Sol que con una estrella lejana, provocando que el "día solar" sea unos 3' 56" más largo que el "día sidéreo" (**Figura 10-4**).

**Figura 10-4:** Diferencia entre día sidéreo y día solar. El poste A no queda alineado con el Sol luego de una rotación, aunque sí lo hace con una estrella lejana. Debido a la traslación de la Tierra, tienen que transcurrir unos 4 minutos más para que el poste quede alineado. Para simplificar, aquí se considera que el mediodía solar es a las 12 hs.



Debido a que existen variaciones en la duración del día solar debido a la inclinación del eje terrestre (oblicuidad de la eclíptica) y a que la órbita de la Tierra no es perfectamente circular (excentricidad de la órbita), se define el "día solar medio" de 24 horas como el lapso promedio que tarda el Sol en culminar dos veces consecutivas en el meridiano del observador. La diferencia entre el día solar medio de 24 horas y el día solar verdadero, que puede ser medido con un reloj solar, produce desviaciones de hasta 16 minutos en algún momento del año. Esto provoca que el mediodía solar ocurra a diferentes horas a lo largo del año, adelantándose o atrasándose respecto al mediodía solar medio calculado por longitud.

Al lapso de tiempo que va desde la salida del Sol hasta su puesta también se lo conoce como "día", cuya duración va cambiando a lo largo del año. La misma es de 12 horas en los equinoccios, siendo menor en otoño e invierno y mayor en primavera y verano. Este efecto se acentúa cuanto mayor es la latitud, los días se alargan mucho en verano y se acortan mucho en invierno, llegando a los extremos en las regiones polares (latitudes mayores a  $66^{\circ} 34'$  norte o sur), donde no hay alternancia entre día y noche en alguna época del año. Por ejemplo, la duración del día cambia notablemente a lo largo del año en la zona donde se realizó esta investigación (latitud  $42^{\circ}$  Sur). La cantidad de horas de luz es de sólo 8 horas y 33 minutos en el solsticio de invierno, siendo de 15 horas y 27 minutos en el solsticio de verano.

Por otro lado, la refracción y dispersión de la luz solar en la atmósfera terrestre provoca que se vea cierta cantidad de luz antes de la salida del Sol, momento al cual se lo llama "orto", o luego de su puesta, instante al que se denomina "ocaso". A estos períodos se los llama crepúsculos (matunino o vespertino).

## 10.2.2. Traslación de la Tierra e inclinación del eje: estaciones del año

Durante el movimiento de traslación, la Tierra gira en una órbita alrededor del Sol con un período aproximado de 365 días y 6 horas, con algunas pequeñas variaciones debidas a cuál es la referencia que se toma para medir dicho tiempo. En este sentido, el año trópico resulta de medir el tiempo necesario para que el Sol medio complete una vuelta completa sobre la eclíptica, dando una duración de 365d 5h 48' 46", equivalente a 365,2422 días de tiempo solar medio. Este tiempo es el lapso necesario para que se repita la misma estación del año, por lo que posee gran importancia para las actividades en la Tierra.

Por el contrario, el año sidéreo corresponde al tiempo necesario para que una estrella nocturna se ubique en la misma posición, siendo este tiempo de 365d 6h 9' 10". Esta diferencia se debe al movimiento de precesión terrestre, en el cual el eje de nuestro planeta cambia lentamente su orientación debido a que da una vuelta sobre la perpendicular a la eclíptica en un lapso cercano a los 26.000 años. A este período se lo denomina año platónico.

Los solsticios y equinoccios que marcan los cambios estacionales ocurren cuando el eje de rotación terrestre se alinea o se posiciona perpendicular, respectivamente, a la línea imaginaria Sol-Tierra (**Figura 10-5**). Cerca del 21 de diciembre, los rayos solares caen perpendiculares al Trópico de Capricornio, produciéndose el Solsticio de verano en el hemisferio sur. Seis meses después, cerca del 21 de junio, los rayos de Sol inciden perpendicularmente sobre el Trópico de Cáncer, comenzando el verano en el hemisferio norte y el invierno en el hemisferio sur. Entre estas dos fechas, cerca del 21 de marzo y del 22 de septiembre ocurren los equinoccios, momento del año en que el Sol incide perpendicularmente sobre el Ecuador y, de esta manera, comienzan las estaciones de transición entre el verano y el invierno: el otoño y la primavera (**Figura 10-6**).

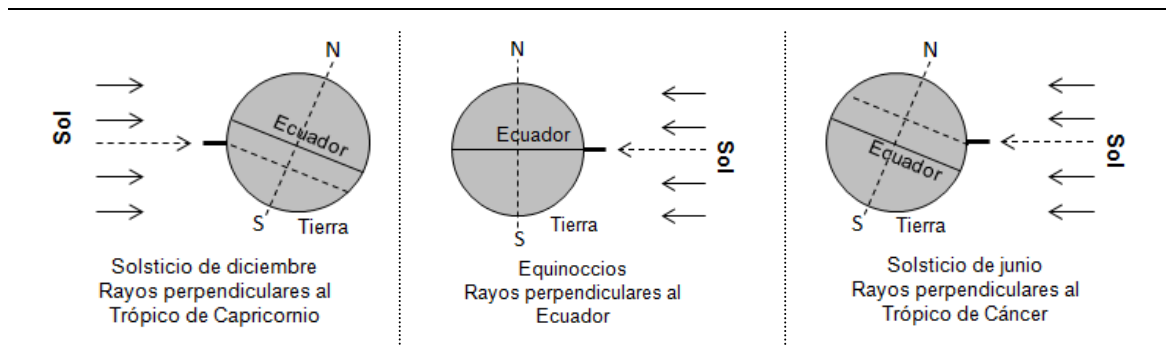
Dado que la inclinación del eje terrestre es de unos 23,5°, y que esta es la causa principal de las estaciones del año, no llama la atención que los trópicos se encuentren a 23,5° de latitud norte o sur.

**Figura 10-5:** Posiciones correspondientes a solsticios y equinoccios según si el eje se alinea (solsticios) o está perpendicular (equinoccios) a la dirección Tierra-Sol (Rojas Peña, 2010, p. 57)





**Figura 10-6:** Cambios en el modo de incidencia de los rayos solares a medida que la Tierra se traslada en su órbita.



La Tierra se traslada alrededor del Sol en una trayectoria elíptica donde el Sol se ubica en uno de los focos de la elipse y donde la distancia Sol-Tierra varía a lo largo del año, provocando que la velocidad de traslación de la Tierra vaya cambiando: el movimiento es más rápido en el perihelio (posición más cercana al Sol) y más lento en el afelio (posición más lejana al Sol). Sin embargo, las estaciones del año no se deben a estos cambios en la distancia ya que la Tierra se encuentra unos 5 millones de km más lejos del Sol en el afelio que en el perihelio, lo que representa apenas un 3,3% de diferencia, teniendo un efecto insignificante en el clima terrestre.

En cambio, las estaciones del año tienen su origen en el ángulo de unos  $23,5^\circ$  que forma el eje terrestre con la perpendicular a la eclíptica. Esta "oblicuidad de la eclíptica" junto con la traslación terrestre provocan las estaciones debido al cambio en el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre la superficie terrestre. Dado que el eje siempre posee la misma inclinación y está orientado al mismo lugar (dejando de lado el lento movimiento de precesión), los hemisferios norte y sur no son iluminados de la misma manera la mayor parte del año.

En este sentido, observadores situados en distintos hemisferios percibirán cambios en la altura del Sol, lo que marcará diferencias en la duración del día y en la inclinación de los rayos solares respecto al horizonte local. Esto último provocará que la radiación solar se distribuya en superficies distintas (en superficies menores cuando el Sol está más alto), haciendo que cada punto superficial reciba una cantidad de energía diferente en función de la altura del Sol. Si en cambio el eje de la Tierra no estuviese inclinado, el Sol se situaría sobre el Ecuador durante todo el año, seguiría siempre la misma trayectoria y tendría siempre la misma altura en el mediodía solar, por lo no habría modificaciones en la cantidad de horas de luz. Esto haría imposible la existencia de cambios estacionales.

Una de las principales objeciones del siglo XVI a la teoría heliocéntrica propuesta por Copérnico era que, si la Tierra se traslada alrededor del Sol, debería poder observarse una cierta paralaje anual a partir de observar la posición de una misma estrella con seis meses de diferencia. Como consecuencia, la diferencia en la dirección de observación debería ser relativamente notoria al encontrarse la Tierra en puntos opuestos de su órbita, a 300 millones de km de distancia entre sí, produciendo que la estrella describa en el cielo una pequeña elipse llamada "paraláctica" (**Figura 10-7**).

La única posibilidad para una Tierra en movimiento pero con ausencia de paralaje anual observable era suponer que las estrellas debían encontrarse a una distancia extremadamente grande, por lo cual debería existir un enorme espacio vacío entre la órbita de Saturno y la esfera de las estrellas. Esto pudo ser confirmado recién en el año 1838, cuando Friedrich Bessel pudo determinar la paralaje anual de la estrella 61 Cygni, de la constelación de El Cisne, obteniendo una paralaje de unos 0,3" de arco, lo que implica que se encuentra a unos 11 años luz (unos 110 billones de km) de la Tierra.

**Figura 10-7:** Elipses paralácticas descritas por distintas estrellas debido al movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol. La forma de las elipses depende de la posición de la estrella respecto al plano de la eclíptica (Bakulin et. al, 1987, p. 130).



Otra demostración del movimiento de traslación terrestre lo constituye el fenómeno de desplazamiento aberracional anual de las estrellas o "aberración", descubierto en 1728 por el astrónomo James Bradley al intentar calcular la distancia a una estrella midiendo su paralaje. Bradley encontró que todas las estrellas se desplazaban de igual modo, no dependiendo de su posición en la esfera celeste, tal como esperaba encontrarse si el desplazamiento se debía a una cuestión de paralaje. Por lo tanto, Bradley concluyó que este movimiento sistemático debía estar relacionado con la dirección del movimiento de la Tierra en su órbita ya que un observador que se desplaza ve a un astro en dirección diferente a la que vería si se encontrase en reposo.

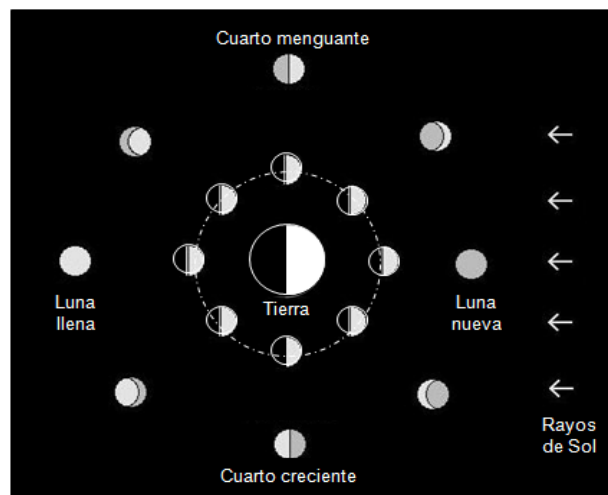
### 10.2.3. Movimiento de revolución de la Luna: las fases lunares

Las fases de la Luna se deben al cambio en las posiciones relativas de la Tierra, la Luna y el Sol a medida que la Luna recorre su órbita en torno a la Tierra. La Luna completa este recorrido en un lapso de 27,3 días, el "mes sideral", aunque vista desde la Tierra una misma fase de la Luna se repite cada 29,5 días, período conocido como "mes sinódico". Esta diferencia se debe a que, al mismo tiempo que la Luna se mueve alrededor de la Tierra, ambas giran alrededor del Sol. En este sentido, dado que la Luna no posee luz propia, siempre tiene una mitad iluminada por el Sol. Sin embargo, la Luna posee fases debido a que, en su movimiento orbital, no siempre es posible observar desde la Tierra toda la mitad iluminada.

Debido al movimiento en su órbita, la Luna se desplaza unos  $13^\circ$  por día hacia el este en la esfera celeste. Esto provoca que, luego de la Luna nueva, nuestro satélite natural irá quedando paulatinamente más alejado angularmente del Sol hasta llegar a la Luna llena unos 14,5 días después, cuando el Sol y la Luna se encuentren opuestos respecto a la Tierra. Antes de eso, unos 7 días después de la Luna nueva, nuestro satélite quedará ubicado a  $90^\circ$  respecto al Sol. Por lo tanto, La Luna estará en cuarto creciente ya que desde la Tierra sólo podremos observar la mitad de la superficie iluminada por el Sol.

Luego de la Luna llena, nuestro satélite natural continuará desplazándose en su órbita, pero esta vez esto significará un acercamiento angular hacia el Sol, lo que hará que unos 14,5 días más tarde se vuelva a la fase de Luna nueva, cuando la Luna se encuentra en la misma dirección que el Sol vista desde la Tierra. Como en esa posición el Sol ilumina la mitad de la Luna que no "apunta" hacia la Tierra, no es posible ver la Luna desde la Tierra en esos días. Unos 7 días después de la Luna llena, ésta quedará ubicada a  $90^\circ$  respecto al Sol, por lo que estará en cuarto menguante (**Figura 10-8**).

**Figura 10-8:** Explicación heliocéntrica de la fases de la Luna mediante dos puntos de vista: la Luna vista desde el espacio iluminada siempre por la mitad (lunas dibujadas cerca de la Tierra) y la Luna cambiando sus fases en el hemisferio sur (lunas dibujadas lejos de la Tierra). El esquema no está en escala de tamaños ni de distancias.



Debido a las posiciones relativas que toma la Luna respecto al Sol, al observarla en el cielo habrá relación entre su lado iluminado y la fase en la que se encuentra. En el hemisferio sur, la Luna tiene su lado izquierdo iluminado en la fase creciente y su lado derecho iluminado en la fase menguante. Lo contrario sucede en el hemisferio norte.

Si hubiese coincidencia entre el plano orbital de la Luna y el plano de la eclíptica, cada mes sinódico tendríamos eclipses los días de Luna nueva y Luna llena. Sin embargo, como la órbita lunar está inclinada unos  $5^\circ$  respecto a la eclíptica, la alineación de la Tierra, la Luna y el Sol no implica que ocurra un eclipse ya que para que ello suceda la Luna debe encontrarse sobre la eclíptica justo cuando se encuentra en posición de Luna nueva (eclipse solar) o de Luna llena (eclipse lunar).

### 10.3. Definiciones astronómicas de tiempo y sus correcciones

#### 10.3.1. El tiempo sidéreo

Este tiempo corresponde al movimiento en ángulo horario del punto Aries respecto al meridiano local. Como el punto Aries está determinado por la intersección de la eclíptica con el Ecuador celeste, indicado por el paso del Sol del hemisferio sur al hemisferio norte terrestre, este punto cambia su ubicación en el cielo debido a estar afectado por los movimientos de precesión y nutación de la Tierra. En función de esto, se define el "día sidéreo medio" como el intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasos sucesivos del equinoccio medio (corregido por precesión) por el meridiano superior del lugar.

Esta escala temporal no se utiliza en la vida cotidiana dado que la hora sidérea no guarda relación con la posición del Sol arriba de nuestro horizonte, por lo cual a la misma hora sidérea puede ser de día en determinadas épocas del año, y de noche en otras.

#### 10.3.2. El tiempo solar

Si se desea diseñar una escala temporal tomando como referencia el movimiento diurno del Sol en el cielo, el problema que surge es que este movimiento no es uniforme, de forma idéntica a lo que sucede con el tiempo sidéreo. Además de los movimientos de precesión y nutación terrestres ya mencionados, en este caso se deben adicionar dificultades debidas a que la eclíptica se encuentra inclinada respecto al Ecuador y a que la órbita de la Tierra no es circular, provocando que la velocidad de traslación de la Tierra no sea constante. En consecuencia, si se define el "día solar verdadero" como el tiempo transcurrido entre dos culminaciones sucesivas del centro del Sol por el meridiano del lugar, este día poseerá diferentes duraciones y, por lo tanto, no servirá como escala temporal uniforme.

Para salvar esta dificultad se define un "Sol ficticio" que se mueve sobre la eclíptica a velocidad constante y que coincide con el Sol verdadero en las posiciones de apogeo y perigeo (mayor y menor distancia a la Tierra, respectivamente). Como la velocidad aumenta en el perigeo y disminuye en el apogeo, el Sol ficticio adelanta al Sol verdadero desde el apogeo al perigeo y atrasa al moverse del perigeo al apogeo. Sin embargo, este movimiento del Sol ficticio tampoco es uniforme dado que el mismo se mueve sobre la eclíptica, cuya oblicuidad se ve afectada por la nutación. Por eso se define el "Sol medio", el cual se mueve sobre el Ecuador a velocidad constante y que coincide con el Sol ficticio en los equinoccios. De este modo, se puede definir el "día solar medio", que corresponde al tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol medio por el meridiano del lugar.

Dado que el tiempo solar medio y el verdadero están por lo general desfasados, se define la "Ecuación del tiempo" ( $E_t$ ) como la suma algebraica de todas las correcciones necesarias para transformar el tiempo verdadero en tiempo medio:

$$E_t = T_{\text{medio}} - T_{\text{verdadero}} = \text{Hora solar media} - \text{Hora solar verdadera}$$

Como se ve, se ha establecido una escala temporal uniforme a costa de crear un Sol medio desfasado del que puede observarse en el cielo y, por lo tanto, esto debe ser tenido en cuenta a la hora de realizar observaciones de las posiciones que ocupa el Sol a lo largo del tiempo.

### 10.3.3. Tiempos civil, oficial y universal

En función de la definición de día solar medio, el día comenzaría cuando el Sol medio está en culminación superior, lo que implica cambiar de fecha a mediodía medio. Para evitarlo, se decidió pautar el cambio de día cuando el Sol medio se encuentra en el meridiano inferior; o sea, en la medianoche media. En consecuencia, se definió el “tiempo civil” (TC) como el tiempo medio desfasado en 12 horas.

Dado que el tiempo civil es una escala de validez local, el desplazamiento en longitud entre distintos puntos de nuestro planeta provoca complicaciones importantes, más aún cuando los desplazamientos se producen dentro de un mismo país. Por ese motivo, cada nación comenzó eligiendo un meridiano particular que actúe de referencia para el tiempo civil en todo el país. Posteriormente, en 1912 se estableció el sistema de husos horarios que divide la superficie terrestre en 24 partes de 15° de longitud cada una, tomando como referencia al llamado “huso horario 0”, que posee como meridiano central al meridiano de Greenwich. En función de este sistema se definió el “tiempo oficial” de un lugar como el tiempo civil correspondiente al meridiano central del huso horario al cual pertenece. Sin embargo, por cuestiones de conveniencia, algunos países han decidido adelantar el huso horario que toman como referencia para establecer la hora oficial. En particular, la Argentina utiliza el huso horario -3 cuando el huso horario que le corresponde por convención sería el -4. Esto apareja serias dificultades, especialmente para las localidades situadas hacia el oeste de nuestro país, en donde el huso horario que debería corresponderles es el -5.

Por último, para superar la dificultad de utilizar escalas de tiempo locales se define un “tiempo universal” (TU) para toda la Tierra, que corresponde al tiempo civil del meridiano de Greenwich o, análogamente, al tiempo solar medio de Greenwich aumentado en 12 horas. A su vez, es conveniente definir un sistema de conteo de días universal e independiente de los diversos calendarios que han sido utilizados a lo largo de la historia. En función de esto se define el “Día Juliano”, que consiste en la numeración correlativa de días solares medios tomando como 0 el mediodía medio de Greenwich correspondiente al 1 de enero del año 4713 a.C. En algunos casos, el tiempo universal se expresa en “siglos julianos” de 36525 días medios contados a partir del mediodía medio de Greenwich del día 1 de enero de 2000. Dado que el 1 de enero de 2000 corresponde al día juliano 2451545,0, la expresión para pasar de día juliano (DJ) a siglo juliano (T) es la siguiente:

$$T = (DJ - 2451545,0)/36525$$

Para obtener el día juliano (DJ) a partir de una fecha de nuestro calendario expresada en año (A), mes (M) y día (D) hay que realizar las siguientes operaciones:

- Si  $M > 2$ , dejar A y M sin cambios (Año, Mes, Día).
- Si  $M = 1$  ó  $2$ , restarle 1 al año y sumarle 12 al mes ( $A = \text{Año} - 1$ ,  $M = \text{Mes} + 12$ ,  $D = \text{Día}$ )
- Calcular:  $a = \text{el número entero de } (A/100)$ ;  $b = 2 - a + \text{entero}(a/4)$
- Día juliano:

$$DJ = \text{Entero}(365,25.(A+4716)) + \text{Entero}(30,6001.(M+1)) + D + b - 1524,5$$

Una vez determinado el tiempo juliano (DJ), se puede calcular el siglo juliano (T) y, con este valor, aprovechar la definición de tiempo sidéreo ( $\theta_0$ ) para saber su valor:

$$\theta_0 = 280,46061837 + 360,98564736629.(DJ - 2451545,0) + 0,000387933.T^2 - T^3/38710000$$

Por ejemplo, el día juliano del lanzamiento del Sputnik 1 (4,81 de octubre de 1957) será:

- Como  $M > 2$ , se deja A (1957) y M (10) sin cambios.
- Se calcula:  $a = 19$  y  $b = - 13$ .
- El día juliano es:  $DJ = 2436116,31$
- El siglo juliano es:  $T = - 0,42241451$

Al igual que el tiempo solar medio, el tiempo universal tampoco es uniforme debido a la precesión y a la variación del movimiento de rotación terrestre, por lo cual hay que realizarle pequeñas correcciones, como la llamada TU2, que tiene en cuenta tanto el movimiento del polo como las irregularidades en la velocidad de rotación de la Tierra.

#### 10.3.4. Tiempo de efemérides

Para evitar introducir irregularidades en la determinación del tiempo debidas a las variaciones en la rotación terrestre, se buscaron establecer escalas temporales basadas en la traslación de la Tierra alrededor del Sol, que se traduce para un observador terrestre en un movimiento aparente del Sol alrededor de la Tierra.

En general, para poder precisar las coordenadas de un astro en función del tiempo, lo que se conoce con el nombre de "efemérides del astro", se deben integrar las ecuaciones diferenciales de movimiento del cuerpo. Sin embargo, la integración de ecuaciones dinámicas no es sencilla, por lo que una coordenada C puede obtenerse a partir de realizar un desarrollo en serie en potencias del tiempo, en donde las constantes ( $a_0, a_1, a_2, \dots$ ) dependen de las constantes de integración y deben ser obtenidas mediante mediciones (Berrocoso et al., 2003, p. 139):

$$C = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + \dots$$

Una vez hallados los coeficientes, la expresión anterior sirve a su vez para determinar la variable t a partir de haber medido la variable C en algún determinado momento.

Si se toma el caso del movimiento del Sol en el cielo, lo cual será utilizado para definir una escala de tiempo, la ecuación que representa su longitud eclíptica sería la siguiente:

$$\lambda_{\theta} = \lambda_0 + \lambda_1 t + \lambda_2 t^2 + \lambda_3 t^3 + \dots$$

Dado que los términos en potencias superiores a la segunda representan oscilaciones periódicas de la longitud, estos términos pueden suprimirse.

$$\lambda_{\theta} = \lambda_0 + \lambda_1 t + \lambda_2 t^2$$

De este modo, esta ecuación puede utilizarse para definir el "tiempo de efemérides" (t) a partir de utilizar la longitud eclíptica media ( $\lambda_{\theta M}$ ) del Sol en la ecuación anterior.

Utilizando observaciones del Sol realizadas desde 1680 a 1895, Newcomb calculó los valores de estas constantes de integración obteniendo (t está expresado en siglos julianos de 36525 días solares medios):

$$\lambda_{\theta M} = 279^{\circ} 41' 48'' 04 + 129602768'' 13 t + 1'' 089 t^2$$

Dado que Newcomb desconocía las irregularidades en la rotación terrestre, Jones halló la corrección que hay que aplicar a la fórmula de Newcomb (T es el tiempo universal expresado en siglos julianos de 36525 días medios a partir de 1900 enero 0 a mediodía medio de Greenwich):

$$\Delta\lambda_{\theta M} = + 1'' 00 + 2'' 97 T + 1'' 23 T^2$$

Esta corrección indica que las posiciones observadas del Sol se adelantan respecto a las posiciones calculadas teóricamente para las efemérides, lo que implica que el tiempo universal (T) basado en la rotación terrestre no es uniforme respecto del tiempo de efemérides (t) que aparece como variable independiente en la expresión de Newcomb. O sea, las diferencias entre las posiciones teóricas y observadas del Sol se deben a la utilización de escalas de tiempo distintas: el tiempo de efemérides para la teoría y el tiempo universal para las observaciones (Berrocoso et al., 2003).

En función de estas discrepancias y de la necesidad de utilizar una escala que sea lo más uniforme posible, en 1958 se adoptó un nuevo "tiempo de efemérides" en donde la unidad es una fracción del año trópico de un determinado año específico. De este modo, se definió que un segundo de efemérides corresponde a 1/31556925,9747 de duración del año trópico en el instante enero 0 de 1900 a las 12h.

Para determinar el tiempo de las efemérides en cualquier instante lo que se hace es observar las posiciones aparentes de la Luna, el Sol y los planetas (especialmente de la primera) y compararlas con las calculadas previamente en forma teórica suponiendo un tiempo uniforme identificado con una rotación imaginaria a velocidad angular constante de nuestro planeta.

#### 10.4. Cálculo cuantitativo topocéntrico de la posición del Sol

A continuación se detallan las expresiones matemáticas que permiten obtener la posición del Sol en el cielo visto desde un sistema de referencia centrado en un punto de la superficie terrestre. Se comienza calculando la posición del Sol sobre la eclíptica, suponiendo un movimiento uniforme, y luego se corrige este valor en función de tener en cuenta las alteraciones en el movimiento debidas a la excentricidad de la órbita de la Tierra, al movimiento de nutación terrestre y al fenómeno de aberración de la luz (Meeus, 1998, p. 163).

Cuando no se necesita una precisión mayor a  $0,01^\circ$ , la posición del Sol en el cielo puede calcularse asumiendo una órbita puramente elíptica de la Tierra, sin perturbaciones debidas a la Luna o a los planetas. Para ello, en primer lugar se debe calcular el día juliano (DJ) y, con él, el tiempo (T) medido en siglos julianos de 36525 días de efemérides para la época J2000:

$$T = (DJ - 2451545,0)/36525$$

Esta cantidad debe ser calculada con una cantidad suficiente de números decimales dado que este tiempo está expresado en siglos, por lo que un error en la quinta cifra decimal implica un error en el tiempo de unas 9 horas.

La longitud media del Sol ( $L_0$ ) se obtiene con el siguiente desarrollo en series de T:

$$L_0 = 280,46646^\circ + 36000,76983^\circ T + 0,0003032^\circ T^2$$

Para corregir esta expresión se calcula la anomalía media (M), que es la diferencia angular en la longitud del Sol debido a que la Tierra no se mueve en su órbita con movimiento uniforme:

$$M = 357,52911^\circ + 35999,05029^\circ T + 0,0001537^\circ T^2$$

A su vez, la excentricidad de la órbita de la Tierra es igual a:

$$e = 0,016708634 - 0,000042037 T - 0,0000001267 T^2$$

La ecuación del centro del Sol (C) es:

$$C = (1,914602^\circ - 0,004817^\circ T - 0,000014^\circ T^2) \cdot \text{sen } M + (0,019993^\circ - 0,000101^\circ T) \cdot \text{sen } (2M) + 0,0000289^\circ \cdot \text{sen } (3M)$$

La longitud verdadera del Sol es  $\theta = L_0 + C$  y la anomalía verdadera es  $\nu = M + C$

La distancia entre los centros del Sol y la Tierra (el radio vector del Sol) está dado por (en Unidades Astronómicas):

$$R = 1,000001018 (1 - e^2) / (1 + e \cdot \cos \nu)$$



En la expresión anterior, el numerador varía muy lentamente, siendo su valor igual a 0,9997218 U.A. para el año 2000 y de 0,9997232 U.A. en 2100.

Finalmente, para corregir la longitud verdadera del Sol ( $\Theta$ ) en función de tener en cuenta el movimiento de nutación de la Tierra y la aberración de la luz, se puede calcular la longitud aparente del Sol ( $\lambda$ ) utilizando la siguiente expresión:

$$\lambda = \Theta - 0,00569^\circ - 0,00478^\circ \cdot \text{sen } \Omega$$

$$\Omega = 125,04^\circ - 1934,136^\circ \cdot T$$

A partir de tener la longitud del Sol y sabiendo que su latitud eclíptica ( $\beta$ ) es cero, es posible calcular la correspondiente ascensión recta ( $\alpha$ ) y declinación ( $\delta$ ) del Sol para un determinado instante de tiempo:

$$\alpha = \tan^{-1} (\cos \varepsilon \cdot \text{sen } \lambda / \cos \lambda)$$

$$\delta = \text{sen}^{-1} (\text{sen } \varepsilon \cdot \text{sen } \lambda)$$

En la expresión anterior, la oblicuidad de la eclíptica ( $\varepsilon$ ) puede calcularse con bastante aproximación mediante la siguiente expresión:

$$\varepsilon = 23^\circ 26' 21,448'' - 46,8150'' T - 0,00059'' T^2 + 0,001813'' T^3 + 0,00256^\circ \cdot \cos \Omega$$

Por último, como ya hemos visto, la ascensión recta y la declinación pueden transformarse a las coordenadas locales acimut (A) y altura (h) mediante las expresiones:

$$H = HSL (\text{hora solar local}) - 12 \text{ hs}$$

$$h = \text{sen}^{-1} (\text{sen } \delta \cdot \text{sen } \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos H)$$

$$A = \text{sen}^{-1} (-\cos \delta \cdot \text{sen } H / \cos h)$$

#### 10.4.1. Ejemplo de cálculo cuantitativo de la posición topocéntrica del Sol

A continuación se muestra cómo pueden ser utilizadas las expresiones anteriores para calcular la posición del Sol en el cielo para un determinado lugar de la superficie terrestre en una determinada fecha y horario. Para ello, se considerará la ubicación del Sol el día del equinoccio de septiembre del año 2015 (23/09/2013) a las 9 hs vista desde El Bolsón (42° Sur, 71,5° Oeste, huso horario -3).

En primer lugar, se deberá hallar el Día Juliano (DJ) para la fecha mencionada, teniendo en cuenta que el Día Juliano se calcula a partir del Meridiano de Greenwich, por lo que las 9 de la mañana local corresponderá a las 12 hs de Greenwich. En consecuencia, el instante local mencionado corresponde al día 23,5 del mes juliano.

A continuación se detalla cómo realizar los cálculos:

- Como  $M > 2$ , se deja  $A$  (2015) y  $M$  (9) sin cambios.
- Se calcula:  $a = \text{el número entero de } (2015/100) = 20$
- Se calcula:  $b = 2 - a + \text{entero}(a/4) = 2 - 20 + \text{entero}(20/4) = -13$
- Entonces, el día juliano (DJ):

$$DJ = \text{Entero}(365,25.(A+4716)) + \text{Entero}(30,6001.(M+1)) + D + b - 1524,5$$

$$DJ = \text{Entero}(365,25.(2015+4716)) + \text{Entero}(30,6001.(9+1)) + 23,5 - 13 - 1524,5$$

$$DJ = 2458497 + 306 + 10,5 - 1524,5 = 2457289,0$$

- El siglo juliano (T):

$$T = (2457289,0 - 2451545,0) / 36525 = 0,157262149$$

- Longitud media del Sol ( $L_0$ ):

$$L_0 = 280,46646^\circ + 36000,76983^\circ T + 0,0003032^\circ T^2 = 182,0249^\circ$$

- Anomalía media (M):

$$M = 357,52911^\circ + 35999,05029^\circ T + 0,0001537^\circ T^2 = 6018,817^\circ$$

- Excentricidad de la órbita de la Tierra (e):

$$e = 0,016708634 - 0,000042037 T - 0,0000001267 T^2 = 0,01670202$$

- Ecuación del centro del Sol (C):

$$C = (1,914602^\circ - 0,004817^\circ \cdot T - 0,000014^\circ \cdot T^2) \cdot \text{sen } M + \\ + (0,019993^\circ - 0,000101^\circ \cdot T) \cdot \text{sen } (2M) + 0,0000289 \cdot \text{sen } (3M) = -1,86966383$$

- Longitud verdadera del Sol:

$$\theta = L_0 + C = 180,1552405^\circ$$

- Anomalía verdadera:

$$v = M + C = 6016,947468^\circ$$

- Finalmente, la longitud aparente del Sol ( $\lambda$ ) será:

$$\lambda = \theta - 0,00569^\circ - 0,00478^\circ \cdot \text{sen } (125,04^\circ - 1934,136^\circ \cdot T) = 180,1496233^\circ$$

A partir de tener la longitud del Sol, es posible calcular la correspondiente ascensión recta ( $\alpha$ ) y declinación ( $\delta$ ) del Sol para un determinado instante de tiempo. Para ello, previamente se debe calcular la oblicuidad de la eclíptica:

$$\varepsilon = 23^{\circ} 26' 21,448'' - 46,8150'' T - 0,00059'' T^2 + 0,001813'' T^3 + 0,00256^{\circ} \cos (125,04^{\circ} - 1934,136^{\circ} T) = 23,4346863^{\circ}$$

$$\delta = \text{sen}^{-1} (\text{sen } \varepsilon \cdot \text{sen } \lambda) = -0,0595057^{\circ}$$

$$\alpha = \text{tan}^{-1} (\text{cos } \varepsilon \cdot \text{sen } \lambda / \text{cos } \lambda) = -179,8627184^{\circ} = -11h 59m 27,05s$$

El siguiente paso es pasar de coordenadas geocéntricas a coordenadas locales, lo que implica tener en cuenta la hora local para calcular el ángulo horario (H):

$$H = HSL (\text{hora solar local}) - 12 \text{ hs}$$

Para conocer la hora solar local (HSL) se debe tomar la hora civil (HC) y corregirla teniendo en cuenta la longitud geográfica del lugar (CLG) respecto a Greenwich, la zona horaria que se utiliza (ZH) y la ecuación del tiempo (ET), que indica la diferencia entre el mediodía solar medio y el mediodía solar verdadero:

$$HSL = HC + CLG - ZH + ET (\text{con CLG negativa para longitudes Oeste})$$

Con bastante aproximación, la ecuación del tiempo puede calcularse con la siguiente expresión:

$$Et = y \cdot \text{sen} (2Lo) - 2e \cdot \text{sen} M + 4e \cdot y \cdot \text{sen} M \cdot \text{cos} (2Lo) - \frac{1}{2} \cdot y^2 \cdot \text{sen} (4Lo) - \frac{5}{4} \cdot e^2 \cdot \text{sen} (2M)$$

donde  $y = \text{tan}^2(\varepsilon/2)$ ,  $\varepsilon$  es la oblicuidad de la eclíptica,  $L_0$  es la longitud media del Sol,  $e$  corresponde a la excentricidad de la órbita de la Tierra y  $M$  es la anomalía media del Sol. El valor  $Et$  está expresado en radianes, por lo que hay que convertirlo, en primer lugar, a grados y luego a minutos multiplicando por 4 ( $1^{\circ}$  de longitud corresponde a 4 minutos del reloj):

$$Et (23/9/2015 - 9 \text{ hs}) = 7,50 \text{ minutos}$$

En el caso de El Bolsón, cuya longitud aproximada es de  $71,5^{\circ}$  Oeste, la diferencia con Greenwich será:

$$CLG = -71,5^{\circ} \cdot 4 = -286 \text{ minutos} = -4:46 \text{ hs}$$

$$HSL = HC + LG - ZH + ET = 9:00 \text{ hs} - 4:46 \text{ hs} + 3 \text{ hs} + 7,50 \text{ min} = 7 \text{ hs } 21,50 \text{ minutos}$$

En consecuencia, el ángulo horario será:

$$H = 7 \text{ hs } 21,50 \text{ min} - 12 \text{ hs} = -278,50 \text{ min} = -69,62^{\circ}$$

Por último, se calculan las coordenadas locales acimut (A) y altura (h):

$$h = \text{sen}^{-1} (\text{sen } \delta \cdot \text{sen } \varphi + \text{cos } \delta \cdot \text{cos } \varphi \cdot \text{cos } H) = 15,04^\circ$$

$$A = \text{sen}^{-1} (-\text{cos } \delta \cdot \text{sen } H / \text{cos } h) = 76,09^\circ \text{ (medido desde el Norte)}$$

Como se ve, el desarrollo necesario para calcular la altura y el acimut del Sol en un determinado momento es sumamente extenso, por lo que se torna indispensable la utilización de una planilla de cálculo que permita resolver automáticamente todos los algoritmos planteados. De este modo funcionan todos los programas informáticos de simulación del cielo que se utilizan a diario.

Sin embargo, es importante aclarar que el método utilizado no es el más preciso de todos los desarrollados al día de la fecha y que los cálculos para un cuerpo como la Luna o para un planeta del Sistema Solar se complejiza aún más debido a irregularidades adicionales que aparecen en sus movimientos. Por lo tanto, resulta sumamente adecuado plantear un desarrollo cualitativo, como el presente en el **Capítulo 2**, para la elaboración de la secuencia didáctica a implementar en un aula de nivel primario. Como es sabido, los modelos poseen su rango de validez, por lo que, para simplificar, en el desarrollo de esta secuencia no fueron tenidas en cuenta las múltiples irregularidades presentes en los movimientos de los astros en el cielo.

#### 10.4.2. Aspectos cuantitativos adicionales del movimiento anual del Sol en el cielo

Si se desea calcular en forma relativamente sencilla la declinación solar para un día determinado del año (n) es posible utilizar la siguiente expresión (Spencer, 1971), que posee un error máximo de 0,0006 radianes (unos 0,034°):

$$\delta = (0,006918 - 0,399912 \cos \alpha + 0,070257 \text{sen } \alpha - 0,006758 \cos 2\alpha + 0,000907 \text{sen } 2\alpha - 0,002697 \cos 3\alpha + 0,00148 \text{sen } 3\alpha) (180/\pi)$$

En esta expresión,  $\alpha = 2\pi (n - 1)/365$  y el signo de la declinación es positivo cuando el Sol se encuentra en el hemisferio norte celeste, siendo negativo al situarse en el hemisferio sur celeste.

Para conocer la altura local del Sol en un determinado momento es necesario transformar la declinación solar en altura sobre el horizonte local, lo que implica pasar de coordenadas celestes ecuatoriales a horizontales.

Para ello, como paso intermedio será necesario calcular el ángulo horario solar (H), que es el ángulo medido sobre el Ecuador celeste entre el meridiano del observador y el meridiano celeste en el que se encuentra el Sol. El valor de H depende de la Hora solar local (HSL), siendo igual a:

$$H = (360^\circ / 24) * (HSL - 12)$$

Utilizando las expresiones correspondientes a la relación entre los ángulos de un triángulo esférico, la altura del Sol en un cualquier momento puede conocerse a partir de la declinación solar ( $\delta$ ), la latitud del lugar ( $\varphi$ ) y el ángulo horario del Sol ( $H$ ):

$$\text{sen } h = \text{sen } \varphi \text{ sen } \delta + \text{cos} \varphi \text{ cos } \delta \text{ cos } H$$

Para la salida o puesta del Sol, ( $h=0$  ó  $h=180^\circ$ ), la expresión anterior se simplifica y el ángulo horario de la salida del Sol ( $H_s$ ) queda como:

$$H_s = - \tan \varphi \tan \delta$$

La cantidad de horas de luz se calcula, entonces, duplicando el ángulo horario y dividiéndolo por 15 para pasar de grados a horas:

$$N = \frac{2}{15} \arccos(-\tan \varphi \tan \delta)$$

Esta expresión no es válida para latitudes altas, mayores a  $66,6^\circ$ , donde no se cumple siempre que el valor absoluto de  $(-\tan \varphi \tan \delta) \leq 1$ . Esto implica que en estos lugares, dependiendo la época del año, los días pueden tener una duración igual a 24 horas dado que el Sol no se oculta, o igual a 0 horas, si el Sol se mantiene por debajo del horizonte pese al giro continuo de la esfera celeste.

En la **Tabla 10-2** se brindan algunos valores correspondientes a los cambios anuales para la localidad de El Bolsón en cuanto a la altura del Sol en el mediodía solar y a la cantidad de horas de luz. Como se observa en la tabla, las estaciones del año pueden explicarse a partir de los cambios en la altura del Sol (unos  $47^\circ$  anuales en cualquier lugar de la Tierra ubicado entre los círculos polares) y en la cantidad de horas de luz (unas 6 horas entre invierno y verano en El Bolsón).

**Tabla 10-2:** Cambios en la altura del Sol y en la cantidad de horas de luz a lo largo del año en El Bolsón ( $42^\circ$  Sur). Estos datos permiten explicar las estaciones del año.

Fecha	Declinación solar ( $\delta$ )	Altura del Sol en el mediodía solar (h)	Horas de luz (N)	Estación del año
21 de marzo	- 0,07°	48,07°	12h 1min	Comienzo otoño
21 de abril	11,58°	36,42°	10h 35min	Otoño
21 de mayo	20,02°	27,98°	9h 27min	Otoño
21 de junio	23,45°	24,55°	8h 56min	Comienzo invierno
21 de julio	20,64°	27,36°	9h 22min	Invierno
21 de agosto	12,38°	35,62°	10h 29min	Invierno
23 de septiembre	0,63°	47,36°	11h 55min	Comienzo primavera
21 de octubre	- 10,06°	58,06°	13h 13min	Primavera
21 de noviembre	- 19,53°	67,53°	14h 29 min	Primavera
21 de diciembre	- 23,41°	71,41°	15h 4min	Comienzo verano
21 de enero	- 20,30°	68,30°	14h 35 min	Verano
21 de febrero	- 11,56°	59,56°	13h 25 min	Verano

## 10.5. Cálculo cuantitativo de la posición de la Luna

Calcular la posición de la Luna implica tener en cuenta cientos de términos periódicos en relación a la longitud, latitud y distancia lunar. Sin embargo, en función del nivel al que va dirigido este trabajo, es razonable utilizar el desarrollo realizado por Meeus (1998, p. 337) tomando los términos periódicos más importantes y trabajando con una precisión de unos 10" en la longitud y de 4" en la latitud lunar.

En primer lugar se debe calcular el día juliano (DJ) y, con él, el tiempo (T) medido en siglos julianos de 36525 días de efemérides para la época J2000, tal como se realizó anteriormente para calcular la posición del Sol (**sección 10.4.1.**):

$$T = (DJ - 2451545,0)/36525$$

Esta cantidad debe ser calculada con una cantidad suficiente de números decimales dado que este tiempo está expresado en siglos. Luego, utilizando T se calculan los siguientes parámetros en grados, reduciéndolos a ángulos equivalentes menores a 360° para evitar trabajar con números grandes.

Longitud media de la Luna (L'), incluyendo algunas correcciones menores:

$$L' = 218,3164477 + 481267,88123421 \cdot T - 0,0015786 \cdot T^2 + T^3 / 538841 - T^4 / 65194000$$

Elongación media de la Luna (D):

$$D = 297,8501921 + 445267,1114034 \cdot T - 0,0018819 \cdot T^2 + T^3 / 545868 - T^4 / 113065000$$

Anomalía media del Sol (M):

$$M = 357,5291092 + 35999,0502909 \cdot T - 0,0001536 \cdot T^2 + T^3 / 24490000$$

Anomalía media de la Luna (M'):

$$M' = 134,9633964 + 477198,8675055 \cdot T + 0,0087414 \cdot T^2 + T^3 / 69699 - T^4 / 14712000$$

Distancia media de la Luna desde su nodo ascendente (F):

$$F = 93,2720950 + 483202,0175233 \cdot T - 0,0036539 \cdot T^2 - T^3 / 3526000 + T^4 / 863310000$$

Se necesitan, a su vez, 3 argumentos adicionales (en grados):

$$A_1 = 119,75^\circ + 131,849^\circ \cdot T$$

$$A_2 = 53,09^\circ + 479264,290^\circ \cdot T$$

$$A_3 = 313,45^\circ + 481266,484^\circ \cdot T$$

Posteriormente deben calcularse las sumas  $\sum l$  y  $\sum r$  utilizando la **Tabla 10-3** y la suma  $\sum b$  usando la **Tabla 10-4**, donde figuran los términos periódicos correspondientes a la longitud (l), a la distancia (r) y a la latitud (b) de la Luna. Las sumas a realizar son una combinación lineal de D, M, M' y F, donde los factores presentes a la izquierda de las tablas indican por qué número debe ser multiplicado cada uno de estos argumentos. Por ejemplo, las primeras 3 líneas de la **Tabla 10-3** indican lo siguiente para  $\sum l$  y  $\sum r$ :

Argumentos				$\sum l$	$\sum r$
D	M	M'	F	Coeficientes del seno	Coeficientes del coseno
0	0	1	0	6288774	-20905355
2	0	-1	0	1274027	-3699111
2	0	0	0	658314	-2955968

Por lo tanto, los 3 primeros términos de las sumas a realizar serán:

$$\sum l = 6288774 \text{ sen } (M') + 1274027 \text{ sen } (2D - M') + 658314 \text{ sen } (2D) + \dots + \dots$$

$$\sum r = -20905355 \text{ cos } (M') - 3699111 \text{ cos } (2D - M') - 2955968 \text{ cos } (2D) + \dots + \dots$$

**Tabla 10-3:** Términos periódicos correspondientes a la longitud (l) y a la distancia (r) de la Luna. Los argumentos de la izquierda indican los valores por los que deben multiplicarse los argumentos D, M, M' y F al combinarse con los argumentos periódicos del seno y el coseno. Las unidades correspondientes son 0,000001° para la longitud y 0,001 km para la distancia.

Argumentos				$\sum l$	$\sum r$
D	M	M'	F	Coeficientes del seno	Coeficientes del coseno
0	0	1	0	6288774	-20905355
2	0	-1	0	1274027	-3699111
2	0	0	0	658314	-2955968
0	0	2	0	213618	-569925
0	1	0	0	-185116	48888
0	0	0	2	-114332	-3149
2	0	-2	0	58793	246158
2	-1	-1	0	57066	-152138
2	0	1	0	53322	-170733
2	-1	0	0	45758	-204586
0	1	-1	0	-40923	-129620
1	0	0	0	-34720	108743
0	1	1	0	-30383	104755
2	0	0	-2	15327	10321
0	0	1	2	-12528	0
0	0	1	-2	10980	79661
4	0	-1	0	10675	-34782
0	0	3	0	10034	-23210
4	0	-2	0	8548	-21636
2	1	-1	0	-7888	24208
2	1	0	0	-6766	30824
1	0	-1	0	-5163	-8379
1	1	0	0	4987	-16675
2	-1	1	0	4036	-12831
2	0	2	0	3994	-10445
4	0	0	0	3861	-11650
2	0	-3	0	3665	14403
0	1	-2	0	-2689	-7003
2	0	-1	2	-2602	0
2	-1	-2	0	2390	10056

Argumentos				$\Sigma l$	$\Sigma r$
D	M	M'	F	Coefficientes del seno	Coefficientes del coseno
1	0	1	0	-2348	6322
2	-2	0	0	2236	-9884
0	1	2	0	-2120	5751
0	2	0	0	-2069	0
2	-2	-1	0	2048	-4950
2	0	1	-2	-1773	4130
2	0	0	2	-1595	0
4	-1	-1	0	1215	-3958
0	0	2	2	-1110	0
3	0	-1	0	-892	3258
2	1	1	0	-810	2616
4	-1	-2	0	759	-1897
0	2	-1	0	-713	-2117
2	2	-1	0	-700	2354
2	1	-2	0	691	0
2	-1	0	-2	596	0
4	0	1	0	549	-1423
0	0	4	0	537	-1117
4	-1	0	0	520	-1571
1	0	-2	0	-487	-1739
2	1	0	-2	-399	0
0	0	2	-2	-381	-4421
1	1	1	0	351	0
3	0	-2	0	-340	0
4	0	-3	0	330	0
2	-1	2	0	327	0
0	2	1	0	-323	1165
1	1	-1	0	299	0
2	0	3	0	294	0
2	0	-1	-2	0	8752

**Tabla 10-4:** Términos periódicos correspondientes a la latitud (b) lunar. Los argumentos de la izquierda indican los valores por los que deben multiplicarse los argumentos D, M, M' y F al combinarse con los argumentos periódicos del seno y el coseno. Las unidades correspondientes son 0,000001°.

Argumentos				$\Sigma b$	Argumentos (cont.)				$\Sigma b$ (cont.)
D	M	M'	F	Coefficientes del seno	D	M	M'	F	Coefficientes del seno
0	0	0	1	5128122	0	0	1	-3	777
0	0	1	1	280602	4	0	-2	1	671
0	0	1	-1	277693	2	0	0	-3	607
2	0	0	-1	173237	2	0	2	-1	596
2	0	-1	1	55413	2	-1	1	-1	491
2	0	-1	-1	46271	2	0	-2	1	-451
2	0	0	1	32573	0	0	3	-1	439
0	0	2	1	17198	2	0	2	1	422
2	0	1	-1	9266	2	0	-3	-1	421
0	0	2	-1	8822	2	1	-1	1	-366
2	-1	0	-1	8216	2	1	0	1	-351
2	0	-2	-1	4324	4	0	0	1	331
2	0	1	1	4200	2	-1	1	1	315
2	1	0	-1	-3359	2	-2	0	-1	302
2	-1	-1	1	2463	0	0	1	3	-283
2	-1	0	1	2211	2	1	1	-1	-229
2	-1	-1	-1	2065	1	1	0	-1	223
0	1	-1	-1	-1870	1	1	0	1	223
4	0	-1	-1	1828	0	1	-2	-1	-220



Argumentos				$\Sigma b$	Argumentos (cont.)				$\Sigma b$ (cont.)
D	M	M'	F	Coefficientes del seno	D	M	M'	F	Coefficientes del seno
0	1	0	1	-1794	2	1	-1	-1	-220
0	0	0	3	-1749	1	0	1	1	-185
0	1	-1	1	-1565	2	-1	-2	-1	181
1	0	0	1	-1491	0	1	2	1	-177
0	1	1	1	-1475	4	0	-2	-1	176
0	1	1	-1	-1410	4	-1	-1	-1	166
0	1	0	-1	-1344	1	0	1	-1	-164
1	0	0	-1	-1335	4	0	1	-1	132
0	0	3	1	1107	1	0	-1	-1	-119
4	0	0	-1	1021	4	-1	0	-1	115
4	0	-1	1	833	2	-2	0	1	107

Dado que los argumentos que contienen el ángulo M dependen de la excentricidad de la órbita de la Tierra alrededor del Sol, la cual actualmente decrece con el tiempo, es necesario realizar una corrección para tener en cuenta este efecto: multiplicar los términos que contienen M ó -M por E y los que contienen 2M ó -2M por E<sup>2</sup>, donde E representa la excentricidad de la órbita en función del tiempo:

$$E = 1 - 0,002516 \cdot T - 0,0000074 \cdot T^2$$

De este modo, con esta corrección, los primeros términos de cada suma serían:

$$\Sigma l = E \cdot 6288774 \cdot \text{sen}(M') + E \cdot 1274027 \cdot \text{sen}(2D - M') + 658314 \text{sen}(2D) + E^2 \cdot 213618 \cdot \text{sen}(2M') + \dots$$

$$\Sigma r = E \cdot (-20905355) \cdot \text{cos}(M') - E \cdot 3699111 \cdot \text{cos}(2D - M') - 2955968 \cdot \text{cos}(2D) - E^2 \cdot 569925 \cdot \text{cos}(2M') + \dots$$

$$\Sigma b = E \cdot 5128122 \cdot \text{sen}(F) + E \cdot 280602 \cdot \text{sen}(M' + F) + E \cdot 277693 \cdot \text{sen}(M' - F) + 173227 \cdot \text{sen}(2D - F) + \dots$$

A continuación se utilizan otros parámetros no expuestos aquí, los cuales permiten tener en cuenta el achatamiento de la Tierra en las zonas polares (L') y la acción gravitatoria de Venus (A<sub>1</sub>) y de Júpiter (A<sub>2</sub>) sobre la Luna. Para ello, se adicionan los siguientes términos a las sumas anteriores:

$$\Sigma l = \Sigma l (\text{anterior}) + 3958 \cdot \text{sen}(A_1) + 1962 \cdot \text{sen}(L' - F) + 318 \cdot \text{sen}(A_2)$$

$$\Sigma b = \Sigma b (\text{anterior}) - 2235 \cdot \text{sen}(L') + 382 \cdot \text{sen}(A_3) + 175 \cdot \text{sen}(A_1 - F) + 175 \cdot \text{sen}(A_1 + F) + 127 \cdot \text{sen}(L' - M') - 115 \cdot \text{sen}(L' + M')$$

Finalmente, las coordenadas lunares de longitud eclíptica ( $\lambda$ ), latitud eclíptica ( $\beta$ ) y distancia ( $\Delta$ ) de la Luna estarán dadas por:

$$\lambda = L' + \frac{\Sigma l}{1000000} (\text{en grados})$$

$$\beta = \frac{\Sigma b}{1000000} \text{ (en grados)}$$

$$\Delta = 385000,56 + \frac{\Sigma r}{1000} \text{ (en kilómetros)}$$

Las divisiones por  $10^6$  o por  $10^3$  son necesarias debido a que en las tablas anteriores los coeficientes estaban dados en unidades de la millonésima del grado y de la milésima del kilómetro.

Como la longitud de la Luna se modifica debido al movimiento de nutación, para obtener la longitud real hay que sumar una diferencia de  $16,595''$  ó  $0,004610^\circ$ .

Posteriormente, conociendo la oblicuidad de la eclíptica ( $\epsilon$ ), las coordenadas de longitud y latitud eclíptica pueden ser transformadas a coordenadas geocéntricas con el fin de obtener la ascensión recta ( $\alpha$ ) y la declinación lunar ( $\delta$ ) utilizando las ecuaciones de transformación:

$$\tan \alpha = (-\tan \beta \sen \epsilon + \cos \epsilon \sen \lambda) / \cos \lambda$$

$$\sen \delta = \sen \beta \cos \epsilon + \cos \beta \sen \epsilon \sen \lambda$$

Por último, calculando el tiempo medio sidéreo en Greenwich ( $\theta_0$ ) se puede determinar el ángulo horario de la Luna ( $H$ ) y, a partir de la latitud ( $\varphi$ ) y longitud ( $L$ ) del lugar de observación, determinar su altura y acimut para un determinado horario:

$$H = \theta_0 - L - \alpha$$

$$\sen h = \sen \varphi \sen \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos H$$

$$\tan A = \sen H / (-\cos \varphi \tan \delta + \sen \varphi \cos H)$$

El tratamiento cuantitativo expuesto en esta sección tiene por objeto mostrar cómo es el desarrollo cinemático riguroso del movimiento del Sol y la Luna en el cielo. Como puede verse, ha quedado en evidencia la complejidad que posee el movimiento de estos astros, tanto desde el sistema de referencia topocéntrico como desde el heliocéntrico. Por lo tanto, es posible concluir que las simplificaciones utilizadas en esta Tesis para el desarrollo de un "modelo cinemático celeste" resultan acordes para el trabajo cualitativo acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos con alumnos de los niveles inicial, primario y secundario.

## 10.6. Sistemas de referencia en la enseñanza de la astronomía

Esta sección remite al análisis llevado a cabo en la **Sección 5.2.** sobre cuáles son los sistemas de referencia astronómicos presentes en una muestra de 50 trabajos de investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos. El listado numerado de los artículos analizados es el siguiente:

[1] Afonso López, R., Bazo González, C., López Hernández, M., Macau Fábrega, M. y Rodríguez Palmero, M. (1995). Una aproximación a las representaciones del alumnado sobre el universo. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(3), 327-335.

[2] Arribas de Costa, A. y Rivière Gómez, V. (1989). La astronomía en la enseñanza obligatoria. *Enseñanza de las ciencias*, 7(2), 201-205.

[3] Baxter, J. (1989). Children's understanding of familiar astronomical events. *International Journal of Science Education*, 11(5), 502-513.

[4] Bayraktar, S. (2009). Pre-service Primary Teachers' Ideas about Lunar Phases. *Journal of Turkish Science Education*, 6(2), 12-23.

[5] Camino, N. (1995). Ideas previas y cambio conceptual en astronomía. Un estudio con maestros de primaria sobre el día y la noche, las estaciones y las fases de la Luna. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 81-96.

[6] Camino, N. (1999). Sobre la didáctica de la astronomía y su inserción en EGB. En Kaufman, M. y Fumagalli L. (comps.), *Enseñar ciencias naturales*, 143-173. Buenos Aires: Paidós.

[7] Camino, N. (2004). Aprender a imaginar para comenzar a comprender. Los "modelos concretos" como herramientas para el aprendizaje de la astronomía. *Revista Alambique*, 42, 81-89.

[8] Camino, N. (2011). La didáctica de la Astronomía como campo de investigación e innovación educativas. *I Simpósio Nacional de Educação em Astronomia*, 1-13, Rio de Janeiro, Brasil.

[9] Camino, N. y Gangui, A. (2012). Diurnal Astronomy: Using Sticks and Threads to Find Our Latitude on Earth. *The Physics Teacher*, 50, 40-41.

[10] Chiras, A. y Valanides, N. (2008). Day/night Cycle: Mental Models of Primary School Children. *Science Education International*, 19(1), 65-83.

[11] De Manuel, J. (1995). ¿Por qué hay veranos e inviernos? Representaciones de estudiantes y de futuros maestros sobre algunos aspectos del modelo Sol-Tierra. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (2), 227-236.

- [12] Dicovskiy, E., Iglesias, M., Karaseur, F., Gangui, A., Cabrera, J. y Godoy, E. (2012). El problema de la posición del observador y el movimiento tridimensional en la explicación de las fases de la Luna en docentes de primaria en formación. *Actas de las III Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales*, 219-230. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de La Plata.
- [13] Galperin, D. (2011). Propuestas didácticas para la enseñanza de la Astronomía. En Insaurrealde, M. (coord.), *Ciencias Naturales. Líneas de acción didáctica y perspectivas epistemológicas*, 189-229. Buenos Aires: Novedades Educativas.
- [14] Gangui, A., Iglesias, M. y Quinteros, C. (2010). Indagación llevada a cabo con docentes de primaria en formación sobre temas básicos de Astronomía. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9(2), 467-486.
- [15] García Barros, S., Mondelo, M. y Martínez Losada, C. (1995). ¿Qué vemos en el cielo? Una introducción a la enseñanza de la Astronomía. *Suplemento Aula 44*, 34, 2-18. Barcelona: Graó Educación.
- [16] García Barros, S., Martínez Losada, C. y Mondelo, M. (1996). La astronomía en la formación de profesores. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 10, 121-127.
- [17] García Barros, S., Martínez Losada, C., Mondelo, M. y Vega Marcote, P. (1997). La Astronomía en textos escolares de educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (2), 225-232.
- [18] García Barros, S., Mondelo, M., Martínez Losada, C. y Larrosa Cañestro, I. (2003). La observación del cielo. Un instrumento para estudiar el espacio y el tiempo. *Suplemento Aula 51*, 40, 2-18. Barcelona: Graó Educación.
- [19] Gellon, G., Rosenvasser Feher, E., Furman, M. y Golombek, D. (2005). *La ciencia en el aula*. Buenos Aires, Argentina: Paidós.
- [20] Gil Quílez, M. y Martínez Peña, M. (2005). El modelo Sol-Tierra-Luna en el lenguaje iconográfico de estudiantes de magisterio. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(2), 153-166.
- [21] González, R. (1990). La Astronomía y la reforma de la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 111-113.
- [22] Jiménez Liso, R., López-Gay, R. y Martínez Chico, M. (2012). Cómo trabajar en el aula los criterios para aceptar o rechazar modelos científicos. ¿Tirar piedras contra nuestro propio tejado? *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 72, 47-54.
- [23] Kalkan, H. y Kiroglu, K. (2007). Science and nonscience students' ideas about basic astronomy concepts in preservice training for elementary school teachers. *Astronomy Education Review*, 6(1), 15-24.

- [24] Kriner, A. (2004). Las fases de la Luna, ¿cómo y cuándo enseñarlas?. *Ciência & Educação*, 10(1), 111-120.
- [25] Lanciano, N. (1989). Ver y hablar como Tolomeo y pensar como Copérnico. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 173-182.
- [26] Lanciano, N. (1995). Mirando el cielo: obstáculos conceptuales ante el espacio. Un enfoque transversal. *Uno: Revista de didáctica de las matemáticas*, 6, 85-94.
- [27] Lanciano, N. y Camino, N. (2008): Del ángulo de la geometría a los ángulos en el cielo. Dificultades para la conceptualización de las coordenadas astronómicas acimut y altura. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(1), 77–92.
- [28] Leite, C. y Hosoume, Y. (2009). Explorando a dimensão espacial na pesquisa em ensino de astronomia. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(3), 2009.
- [29] Moreno Lorite, M. (1998). A cielo abierto: una experiencia de aprendizaje de astronomía. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 18, 75-83.
- [30] Navarro Pastor, M. (2011). Enseñanza y aprendizaje de Astronomía diurna en primaria mediante “secuencias problematizadas” basadas en “mapas evolutivos”. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(2), 163–174.
- [31] Ogan-Bekiroglu, F. (2007). Effects of Model-based Teaching on Pre-service Physics Teacher’s Conceptions of the Moon, Moon Phases, and Other Lunar Phenomena. *International Journal of Science Education*, 29(5), 555-593.
- [32] Olivares Alfonso, J. (2003). Horologium. *Uno: Revista de didáctica de las matemáticas*, 33, 89-98.
- [33] Plummer, J. (2008). Students’ development of Astronomy Concepts across Time. *Astronomy Education Review*, 7(1), 139-148.
- [34] Plummer, J., Wasko, K. y Slagle, C. (2011). Children learning to explain daily celestial motion: Understanding astronomy across moving frames of reference. *International Journal of Science Education*, 33(14), 1-30.
- [35] Plummer, J., Kocareli, A. y Slagle, C. (2014). Learning to explain astronomy across moving frames of reference: Exploring the role of classroom and planetarium-based instructional contexts. *International Journal of Science Education*, 36(7), 1083-1106.
- [36] Rincón Voelzke, M. y Pereira Gonzaga, E. (2013). Analysis of the astronomical concepts presented by teachers of some Brazilian state. *Journal of Science Education*, 1(14), 23-25.
- [37] Shen, J. y Confrey, J. (2010). Justifying Alternative Models in Learning Astronomy: A study of K-8 science teacher’s understanding of frames of reference. *International Journal of Science Education*, 32(1), 1-29.

- [38] Sneider, C., Bar, B. y Kavanagh, C. (2011). Learning about Seasons: A Guide for Teachers and Curriculum Developers. *Astronomy Education Review*, 10(3), 1-22.
- [39] Stahly, L., Krockover, G. y Shepardson, D. (1999). Third grade students' ideas about the lunar phases. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 159–177.
- [40] Subramaniam, K. y Padalkar, S. (2009). Visualisation and Reasoning in Explaining the Phases of the Moon. *International Journal of Science Education*, 31(3), 395-417.
- [41] Ten, A. y Monros, M. (1984). Historia y enseñanza de la Astronomía, I. Los primitivos instrumentos y su utilización pedagógica. *Enseñanza de las Ciencias*, 2, 49-56.
- [42] Ten, A. y Monros, M. (1985). Historia y enseñanza de la Astronomía, II. La posición de los cuerpos celestes. *Enseñanza de las Ciencias*, 3, 47-56.
- [43] Trundle, K., Atwood, R. y Christopher, J. (2007). Fourth-grade Elementary Student's Conceptions of Standards-based Lunar Concepts. *International Journal of Science Education*, 29(5), 595-616.
- [44] Vega Navarro, A. (1996). Ideas Precopernicanas en nuestros libros de texto. *Revista de Educación*, 311, 339-354.
- [45] Vega Navarro, A. (2001). Tenerife tiene seguro de Sol (y de Luna): Representaciones del profesorado de primaria acerca del día y la noche. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 31-44.
- [46] Vega Navarro, A. (2002). Sol y Luna, una pareja precopernicana. Estudio del día y la noche en Educación Infantil. Tesis doctoral. Tenerife: Universidad de La Laguna.
- [47] Vega Navarro, A. (2003). El día y la noche en los cuentos. *Curriculum*, 16, 61-73.
- [48] Vega Navarro, A. (2007). Ideas, conocimientos y teorías de niños y adultos sobre las relaciones Sol-Tierra-Luna. Estado actual de las investigaciones. *Revista de Educación*, 342, 475-500.
- [49] Vosniadou, S. y Brewer, W. (1992). Mental models of the Earth: a study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- [50] Vosniadou, S. y Brewer, W. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18, 123-183.

A continuación se presenta la **Tabla 10-5**, donde se encuentra cada artículo analizado (identificado por su numeración), el nivel o los niveles educativos a los que se encuentra dirigido y la transcripción de algún párrafo del mismo que permite clasificarlo en las categorías mencionadas anteriormente, las cuales identifican cuál es el sistema de referencia astronómico presente implícitamente en el trabajo.

**Tabla 10-5:** Clasificación de los artículos y ejemplo de transcripción representativa. El número de artículo coincide con el presente en el listado anterior y la segunda columna indica el nivel educativo con el que se relaciona el trabajo: nivel primario (NP), nivel medio (NM), formación docente (FD), docentes en actividad (DOC), adultos en general (AD) o todos los niveles educativos (TOD). La tercera columna especifica el sistema de referencia (S.R.) en que ha sido categorizado: Heliocéntrico (He), Terrestre (Te) o Dual (Du). Cuando corresponde, se presenta la subcategoría en la cual se lo ha ubicado: Heliocéntrico observacional (He obs), dentro de la categoría Heliocéntrico, o Geocéntrico (Geo) /Topocéntrico (To) dentro de la categoría Terrestre.

Nº	Nivel	S.R.	Cita textual presente en el artículo
[1]	NM	He	<i>"La concepción [de universo] mayoritaria es la heliocéntrica (60,94%); la concepción acéntrica estaría en el segundo lugar (25,44%), siendo minoritarias en estos estudiantes las concepciones geocéntrica (9,46%) y las otras representaciones (4,14%)."</i> (p. 333)
[2]	NP y NM	He obs	<i>"Sin querer entrar en la polémica de si se deben utilizar sistemas geocéntricos o heliocéntricos en la explicación de las apariencias... sería conveniente una relación constante entre la observación y la explicación del fenómeno; al ver, por ejemplo, la órbita de Venus, no debe olvidarse relacionarla con su característica de astro matutino o vespertino."</i> (p. 204)
[3]	NP	He	<i>"...explicar, con un diagrama o usando una esfera de poliestireno que se les proporcionó, por qué se hace de día y de noche."</i> (p. 504)
[4]	FD	He	<i>"La conceptualización de las causas de las fases lunares requiere un pensamiento muy complejo. Primero, los alumnos deben saber los movimientos de rotación y revolución de la Luna y la Tierra y sus posiciones relativas al Sol mientras se van moviendo."</i> (p. 12)
[5]	NP	He obs	<i>"El día y la noche, las estaciones y las fases serían fenómenos fácilmente explicables, para todos, si pudiéramos tener una perspectiva desde fuera del sistema Tierra-Sol-Luna... la dificultad no radica en los fenómenos en sí mismos sino en que buscamos comprenderlos desde una perspectiva topocéntrica, sin generar herramientas que nos permitan imaginar otros puntos de vista."</i> (p. 87)
[6]	TOD	To	<i>"...es decir, como el observador (los niños) está ubicado en un determinado punto de la Tierra, todo lo que puede observar debe describirse en primer lugar desde un sistema centrado en el lugar del observador (posición topocéntrica), y entonces se puede hablar con total rigurosidad, de que el Sol sale y se pone..."</i> (p. 153)
[7]	TOD	Du	<i>"...será a través del citado diálogo entre la realidad y la utilización de los modelos concretos como gradualmente se irán construyendo aprendizajes que incorporen una "perspectiva dual" en el análisis de estos fenómenos: nos referimos a imaginar al mismo tiempo dos perspectivas: la topocéntrica propia de lo netamente vivencial, observacional, y una perspectiva propia del megaespacio, como si estuviéramos observando el sistema "desde afuera"."</i> (p. 84)
[8]	TOD	Du	<i>"Cabe resaltar que esta concepción sobre la Didáctica de la Astronomía no implica poner ningún límite a la rigurosidad conceptual ni a las posibilidades de modelización lógico-matemática. Sólo propone que previamente a la necesaria abstracción los aprendices deben interactuar con los fenómenos astronómicos del mundo natural, iniciándose así un diálogo indispensable entre lo vivido y lo interiorizado, entre la realidad y el aula."</i> (p. 4)

[9]	TOD	Du	<i>“La astronomía diurna es de hecho mucho más fácil de aprender, como primer paso, cuando describimos todos los fenómenos desde el sistema de referencia del observador... Sabemos que el arco seguido por el Sol en el cielo local es el efecto resultante (visible) de nuestra propia rotación (la Tierra).” (p. 40)</i>
[10]	NP	He obs	<i>“...hay algunos prerrequisitos esenciales para la comprensión del ciclo día/noche y su duración: a) la Tierra tiene forma esférica, b) el día/noche es causado exclusivamente por la rotación de la Tierra alrededor de su eje, c) es imposible tener sólo día o noche en la Tierra, d) el eje de la Tierra está inclinado... Las habilidades de los chicos para proceder con observaciones sistemáticas de varios fenómenos astronómicos es una condición básica para la comprensión de distintos conceptos astronómicos porque constituye el primer paso para cualquier generalización para su comprensión.” (p. 75)</i>
[11]	TOD	He	<i>“Como ya sabes, la Tierra gira alrededor del Sol mediante un movimiento denominado traslación... ¿Cuál de estos tres dibujos se aproxima más a la trayectoria que sigue la Tierra alrededor del Sol?...” (p. 229) “No es fácil relacionar la inclinación del eje de rotación de la Tierra con la cantidad de radiación recibida por unidad de superficie. La comprensión del modelo puede facilitarse con el uso de simulaciones... y diseñar un modelo sencillo Tierra-Sol con un balón y un foco de luz...” (p. 235)</i>
[12]	FD	He	<i>“Las fases de la Luna que percibimos desde nuestro lugar en la Tierra son vivencias astronómicas topocéntricas. Sin embargo, para dar una explicación sobre su origen, hay que recurrir a un punto de vista situado en el espacio. En este sentido, uno de los principales obstáculos en el aprendizaje de la astronomía es aquel que está ligado a la visión espacial, es decir, a la capacidad mental de ver y trabajar en tres dimensiones.” (p. 221)</i>
[13]	TOD	To	<i>“Estas actividades han de estar dirigidas a reconocer los astros más importantes que podemos apreciar, a conocer sus nombres y a tratar de determinar cómo éstos modifican sus posiciones a lo largo del tiempo, siempre desde una posición centrada en nuestro propio punto de referencia.” (p. 196)</i>
[14]	FD	He	<i>“9) ¿En qué consisten los movimientos de rotación y traslación terrestres? Descríbalos.” (p. 472) “Por su parte, en las respuestas a la pregunta ¿Por qué hay días y noches en la Tierra?... un 63% de las respuestas obtenidas corresponde a la explicación científicamente aceptada.” (p. 479)</i>
[15]	DOC NM	He obs	<i>“Introducimos seguidamente los movimientos aparentes de los astros siguiendo su regularidad diaria, mensual y anual (el paso de un día, de un mes, de un año). Todos los movimientos serán explicados a la luz del modelo heliocéntrico.” (p. 3)</i>
[16]	FD	He obs	<i>“Como en el caso anterior los futuros maestros, con ayuda de objetos reales, debían explicar teóricamente las causas de las estaciones... el análisis de los informes presentados por los distintos grupos, nos sirvió para detectar las siguientes ideas... - Consideraron que el cambio de estaciones se debe a la mayor o menor distancia de la Tierra al Sol (91,7%). - No mantuvieron constante la orientación del eje de giro... (58,3%).” (p. 125) “Los estudiantes destacaron los siguientes aspectos positivos de la unidad didáctica: - Se contempla la observación de los movimientos aparentes de los astros. - La constante relación realidad observable/modelo interpretativo.” (p. 126)</i>



[17]	NP	He obs	<p>“Dado que la comprensión de la teoría heliocéntrica no es evidente y encierra importantes dificultades para los alumnos de educación primaria, es necesario que los planteamientos didácticos contemplen: a) la relación entre los movimientos reales de los astros y los aparentes; b) las ideas e interpretaciones de los niños; c) la utilización de modelos manejables, dramatizaciones...” (p.21).</p> <p>«La observación directa del cielo es uno de los procedimientos esenciales en el estudio de la astronomía, que no siempre se trata con la amplitud que se merece en los textos escolares... En este caso resulta irrelevante que un niño, «sepa» el movimiento de rotación terrestre si no saben explicar con él la variación de la posición del Sol en el cielo a lo largo de la jornada y la sucesión de los días y las noches.» (p. 230)</p>
[18]	NP	He obs	<p>“Los niños de esta edad deben conocer con detalle los fenómenos naturales observables para apreciar la utilización que los seres humanos hacemos de ellos. También deben acostumbrarse a buscar el porqué de estos fenómenos y a poner a prueba sus ideas mediante observaciones reales, si es posible, y/o mediante simulaciones tangibles con objetos sencillos, con su propio cuerpo, etc. Todo ello constituye un paso inicial importante para profundizar en la secundaria obligatoria en el modelo teórico abstracto (heliocentrismo).” (p. 3)</p>
[19]	FD	Geo	<p>“Nuestra intención en este capítulo es presentar al sistema geocéntrico como un modelo útil, que sirve para hacer predicciones válidas de los movimientos del Sol, las estrellas y la Luna (y de las fases de esta última) tal como se ven en el cielo a simple vista.” (p. 136)</p>
[20]	TOD	He	<p>“En este trabajo se estudian las representaciones gráficas y los textos que acompañan a las mismas, realizadas por estudiantes de Magisterio sobre los movimientos de la Tierra y de la Luna y sus consecuencias. Su análisis permite afirmar que hay una falta de comprensión del modelo Sol-Tierra-Luna.” (p. 153)</p>
[21]	TOD	He obs	<p>“...5. ¿Qué es una constelación? ¿En cuál se halla la estrella Polar. 6. Cita el nombre de algunas constelaciones. 7. ¿Cuál es el nombre de nuestra Galaxia? 8. Durante nuestro verano, ¿dónde crees que se encuentra la Tierra: más cerca o más lejos del Sol?... 10. ¿Sabrías decir qué se conoce con el nombre de Big-Bang?”. (p. 112)</p>
[22]	FD	Du	<p>“...desde la Tierra inmóvil podemos observar cómo el Sol se mueve de arriba (21 de junio) a abajo (21 de diciembre) pasando dos veces por el punto intermedio... Si cambiamos de referencia... podemos observar el movimiento rectilíneo de la Tierra de arriba (21 de diciembre) a abajo (21 de junio). Basta sumar el movimiento circular... para conciliar ambos modelos...” (p. 52)</p>
[23]	FD	He obs	<p>“...[los estudiantes] respondieron correctamente que en la latitud de Turquía, al norte del Trópico de Cáncer, el Sol nunca está directamente sobre la cabeza al mediodía... La mayoría de los estudiantes... indicaron que la causa de las diferentes estaciones que experimentamos cada año son la inclinación del eje de la Tierra con respecto al plano de su órbita y su giro alrededor del Sol.” (p. 19)</p>
[24]	NP	He	<p>Siendo el objetivo que los niños puedan establecer relaciones entre las fases de la Luna con los movimientos de los cuerpos celestes involucrados, parece necesario secuenciar apropiadamente estos conocimientos y desarrollar el contenido a lo largo de varios años a medida que los alumnos los van adquiriendo. Por último, es aconsejable ofrecer actividades didácticas que permitan a los alumnos visualizar al sistema Tierra-Sol-Luna utilizando el modelo heliocéntrico.” (p. 118)</p>

[25]	TOD	Geo	<i>“Ninguna percepción directa del cuerpo nos hace pensar en el desplazamiento de nuestro planeta sobre el que apoyamos los pies. No hay ninguna razón práctica evidente para hacernos abandonar el modelo de Tolomeo... éste «funciona» estupendamente para explicar y describir lo que se ve cotidianamente.” (p. 175)</i>
[26]	AD	Du	<i>“...la experiencia ha confirmado de qué modo quien tiene cierta práctica de observación y de reflexión sobre todo lo que se ve en el cielo, ha adquirido una capacidad de razonar sobre el macroespacio, estando en el interior del mismo.” (p. 93)</i>
[27]	NM	To	<i>“Al definir el sistema de coordenadas horizontal astronómico, y al utilizarlo en la práctica docente a través de las coordenadas acimut y altura, damos naturalmente por hecho que el espacio físico con el que trabajaremos tiene las propiedades del espacio geométrico euclídeo. Debemos entonces notar que tomar una geometría particular para describir el espacio físico es una elección arbitraria y, por tanto, la misma debería incluir ciertas «advertencias» para quienes la utilicen, en especial para sus aplicaciones en el ámbito de la educación.” (p. 79)</i>
[28]	DOC	He	<i>“Se le solicita al profesor... que escoja el objeto que mejor representa a la Tierra y lo coloque en un lugar de la sala... [luego, sobre el objeto elegido] que coloque un muñeco que represente a una persona en la superficie de Tierra.” (p. 802)</i>
[29]	NP	Du	<i>“Los movimientos de la bóveda celeste a lo largo de la noche y del año se pueden explicar con el modelo geocéntrico. Sin embargo, en el segundo ciclo al conocer el movimiento retrógrado de los planetas, sus satélites y la existencia de fases, se hacen patentes las dificultades para dar una explicación satisfactoria... ahora se requiere un nuevo modelo que sea capaz de explicar adecuadamente los hechos que no encajan en el modelo anterior.” (p. 81)</i>
[30]	NP	He obs	<i>“...priorizar lo observacional y descriptivo permite que los niños realicen investigaciones científicas, cosa que en el caso de las teorías explicativas resulta altamente problemático. No hay que olvidar que el aprendizaje del modelo Sol-Tierra y las causas de las estaciones presenta una gran dificultad intrínseca... asociada en parte a las destrezas geométricas proyectivas requeridas –la capacidad de imaginar y operar el sistema en tres dimensiones y de vincular la perspectiva local con la espacial–.” (p. 165)</i>
[31]	FD	He obs	<i>“La enseñanza basada en modelos consistió en realizar observaciones periódicas de la Luna, y en la construcción y uso de modelos en grupos.” (p. 575)</i>
[32]	NM	To	<i>“El movimiento del Sol, que determina la duración de sus fases u horas, proporciona al mismo tiempo un recurso precioso para su medición: la variación de las sombras proyectadas por los objetos expuestos a sus rayos. El conocimiento exacto de esta variación ha dado lugar a la confección de los relojes solares, tanto los clásicos como otros más o menos complejos... Otra técnica muy usada ha sido la observación de la dirección de la sombra de objetos verticales, como el propio cuerpo humano. Ambos sistemas se basan en relacionar la hora con el acimut del Sol sin tener en cuenta su altura.” (p. 91)</i>

[33]	NP	He obs	<p>“...la mayoría de la instrucción no ayuda a los estudiantes a realizar conexiones entre los movimientos observados en el cielo y el movimiento de los planetas, el Sol y la Luna desde una perspectiva exterior (Nussbaum, 1986).” (p. 139)</p> <p>“Se necesita más investigación para poner a prueba las hipótesis sobre la progresión desarrolladas en esta tesis, incluyendo instrucción sobre el movimiento aparente del cielo... así como la instrucción que ayuda a los niños a aprender a conectar la comprensión del movimiento aparente con los movimientos reales de la Tierra y la Luna.” (p. 145)</p>
[34]	NP	Du	<p>“Los resultados presentados aquí apoyan nuestra afirmación de que los estudiantes necesitan ser guiados en la comprensión de cómo hacer las conexiones entre los movimientos reales de los objetos heliocéntricos y sus consecuencias observables desde una perspectiva con sede en la Tierra.” (p. 23)</p>
[35]	NP	Du	<p>“Comparamos los resultados de la participación de estudiantes de 3º grado (N=99) en cuatro condiciones instruccionales: un currículum que enfatiza la perspectiva basada en el espacio, un programa de planetario que enfatiza la perspectiva basada en la Tierra, clases instruccionales que enfatizan la explicación de las observaciones basadas en la Tierra y una condición final que combina tanto el planetario como las explicaciones durante la clase.” (p. 2)</p>
[36]	NP	He	<p>“Los resultados muestran una clara mejora de los conocimientos astronómicos de los maestros: un 97,0% de los profesores sabe que el sistema solar se compone de ocho planetas, el 42,4% conoce la correcta definición de planeta, el 78,1% sabe explicar correctamente cómo se produce un eclipse lunar y un eclipse solar; 72,7% son capaces de explicar la aparición de las estaciones del año y el 89,7% puede definir correctamente el término “cometa”.“ (p. 25)</p>
[37]	DOC	Du	<p>“...el modelo geocéntrico se refiere a un sistema que es cinemáticamente consistente con el modelo heliocéntrico. Los dos modelos son paralelos: difieren solamente en la preferencia de elección del origen del sistema de referencia.” (p. 8)</p>
[38]	NP	He obs	<p>“Estos problemas se hacen aún más difíciles debido a que algunos de los conceptos más avanzados, especialmente los que implican la física de la luz y la interacción de la luz con la materia, debe ser entendidos antes para que los estudiantes sean capaces de sintetizar las perspectivas de las estaciones desde la Tierra y desde el espacio. Nótese... que la reconciliación de las vistas desde la Tierra y desde el espacio pueden comenzar en un nivel superior de primaria respecto al ciclo día/noche, ya que este último es menos complejo de visualizar que la causa de las estaciones.” (p. 18)</p>
[39]	NP	He	<p>“La lección del tercer día proporciona a los estudiantes experiencias adicionales para investigar las posiciones en el modelo tridimensional Sol-Tierra-Luna. De esta manera, los estudiantes observaron qué pasó con la forma de la Luna vista desde la Tierra cuando cambió la posición de la Luna en relación a la Tierra y al Sol.” (p. 164)</p>
[40]	AD	He	<p>“Con el fin de explicar con éxito las fases lunares, uno tiene que cambiar de perspectiva, pasando al espacio a partir de un punto de vista basado en la Tierra. Además, uno necesita extraer invariantes de una situación dinámica... Estos invariantes son elementos conceptuales tales como el límite de iluminación y el límite de visibilidad, y pertenecen al dominio de la geometría de la esfera. Una vez que estos invariantes son identificados, el problema de la obtención de la forma exacta de las fases se reduce a la proyección de curvas en la superficie de la esfera.” (p. 18)</p>

[41]	TOD	To	<i>“Esta primera parte está dedicada a presentar y estudiar las posibilidades de algunos instrumentos basados todos ellos sobre el mismo principio: la determinación de la posición y trayectoria del Sol mediante la observación directa de las sombras que sus rayos producen.” (p. 51)</i>
[42]	TOD	To	<i>“Mediante la observación directa del firmamento a simple vista, percibimos de modo inmediato, además del sol, la luna, y una inmensa cantidad de cuerpos luminosos puntuales: las estrellas. Una observación más atenta y extendida en el tiempo, muestra el movimiento uniforme de la mayor parte de éstas a lo largo del día y del año y el de la luna y algunas de estas «estrellas», respecto a las otras que parecen mantener invariables sus posiciones relativas y permiten su agrupación en imaginarias figuras: las constelaciones...” (p. 48)</i>
[43]	NP	He obs	<i>“Para comenzar la instrucción, el observador participante enseñó a 63 chicos y 3 docentes procedimientos para juntar, registrar y compartir observaciones de la Luna. Los chicos y docentes fueron llevados fuera del edificio escolar y orientados según los puntos cardinales usando lugares de referencia de la comunidad.” (p. 602)</i> <i>“Continuando con las actividades, los estudiantes participaron en una actividad de modelado psicomotor en una habitación oscura... una esfera de poliestireno sostenida a la longitud del brazo servía como modelo de la Luna; el bulbo incandescente representaba el Sol; y la cabeza de los estudiantes representaba la Tierra.” (p. 604)</i>
[44]	TOD	He	<i>“En ningún caso se advierte que [el movimiento del Sol] se trata de un movimiento aparente.” (p. 343)</i>
[45]	NP	He	<i>“TAREA 1... Supón que estás en una nave espacial desde la que se puede ver toda la Tierra mirando desde una ventanilla... a) Dibuja la Tierra tal y como piensas que la verías.” (p. 43)</i>
[46]	TOD	He	<i>“Son esas imágenes... las que no nos permiten entender la causa real de las estaciones. Porque si las imágenes se correspondiesen con la realidad, habría que deducir de ellas una gran variación de temperaturas en función de la cercanía-lejanía de la Tierra y el Sol. Y eso es lo que piensan quienes las han tenido tantas veces delante de sus ojos, sin acordarse de la inclinación del eje de rotación, ni de que en el otro hemisferio la estación es contraria.” (p. 6)</i>
[47]	NP	Du	<i>“La Luna no puede ser el símbolo de la noche... porque es un grave error conceptual que colisionará más tarde con la explicación correcta del fenómeno noche-día (ausencia-presencia de luz solar), con la visión heliocéntrica del sistema solar y con la idea de universo dinámico.” (p. 70)</i>
[48]	TOD	He	<i>“...mientras no estemos en condiciones de aceptar que la Tierra es esférica y de entender el concepto de gravedad, solamente tendremos aproximaciones que frecuentemente se interfieren y se mezclan con otros conceptos, dando lugar a una extensa retahíla de ideas alternativas, como muestran los diferentes estudios.” (p. 476)</i>
[49]	NP	He	<i>“...los niños tienen dificultad en comprender la información de que la Tierra es una esfera enorme, rodeada de espacio. La idea de que vivimos en todo en el exterior de una Tierra esférica es contrario a la intuición y no está de acuerdo con la experiencia cotidiana.” (p. 541)</i>
[50]	NP	He	<i>“Los modelos mentales iniciales no mostraron influencia de la explicación científica actualmente aceptada del ciclo día/noche, mientras que los modelos mentales sintéticos representan los intentos de asimilar las explicaciones científicas a las actuales estructuras conceptuales.” (p. 181) [Aclaración: el artículo toma como “explicación científica aceptada” a la explicación del ciclo día/noche desde el sistema de referencia heliocéntrico]</i>

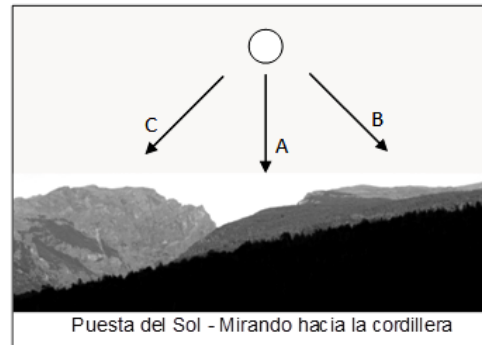
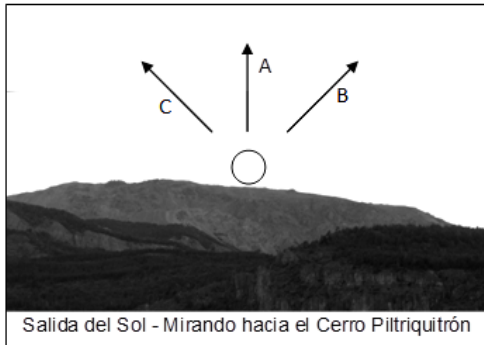
## 10.7. Guía de actividades de observación del cielo

### 10.7.1. Movimiento del Sol durante su salida y puesta

#### Actividad 1: Observación de la salida y puesta del Sol

##### Responder antes de realizar la actividad

¿Cómo asciende el Sol en el cielo cuando sale por la mañana aquí en El Bolsón? ¿Cómo desciende cuando se pone por la tarde? Elegir la flecha que representa cómo se mueve el Sol en cada caso (A, B ó C).



##### Actividad a llevar a cabo

1. En el recuadro de abajo a la izquierda, dibujar el horizonte oriental correspondiente al lugar desde donde se realizará la observación de la salida del Sol.
2. Realizar la observación de la salida del Sol y registrar en el recuadro el lugar del horizonte oriental por el que salió. Prestar atención y hacerlo de la mejor manera posible. Colocar la fecha y la hora de observación.
3. Una hora más tarde, realizar una nueva observación de la posición del Sol en el cielo. Registrar esta posición en el mismo recuadro anterior. Prestar atención a la altura del Sol y a si éste se encuentra más a la derecha, más a la izquierda o verticalmente hacia arriba respecto a la posición anterior. Indicar la nueva hora de observación.
4. Hacer lo mismo en el recuadro de la derecha, pero con dos posiciones del Sol antes de ponerse por el horizonte occidental. La primera observación una hora antes de la puesta del Sol y la segunda unos minutos antes de la puesta.

Fecha:

Salida del Sol

Fecha:

Puesta del Sol

##### Luego de la actividad

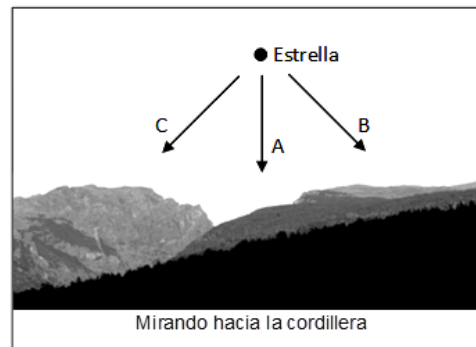
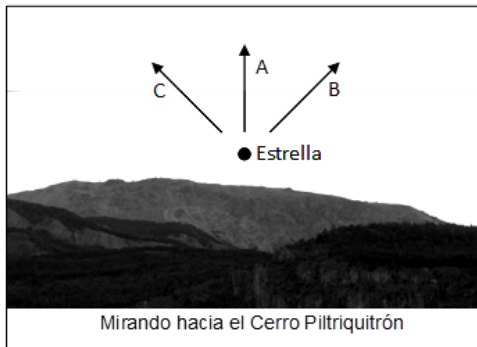
Revisar los dibujos realizados antes de la actividad y responder por escrito las preguntas previas. Elaborar una frase que indique cómo cambiaron tus ideas en relación a cómo "asciende" o "desciende" el Sol en el cielo. Por ejemplo: "Antes pensaba que el Sol se mueve... Ahora aprendí que el Sol sale... y se pone..."

## 10.7.2. El movimiento de las estrellas en el cielo

### Actividad 2: Observación de la posición en el cielo de las estrellas nocturnas

#### Responder antes de realizar la actividad

¿Se mueven las estrellas nocturnas o están siempre en la misma posición del cielo? Sí / No. Si se mueven, elegir la flecha que representa cómo se desplaza una estrella ubicada hacia el este y otra posicionada hacia el oeste (A, B ó C).



#### Actividad a llevar a cabo

1. En el recuadro de abajo a la izquierda, dibujar el horizonte oriental correspondiente al lugar desde donde se realizará la observación del cielo. Dibujar el horizonte con atención de modo tal de tener buenas referencias terrestres.
2. Observar algún grupo de estrellas ubicado en el cielo cerca del horizonte oriental y registrar en el recuadro su posición en relación a dicho horizonte. Hacerlo de la mejor manera posible. Colocar la fecha y la hora de observación.
3. Una hora más tarde, realizar una nueva observación del mismo grupo de estrellas y registrar su posición en el mismo recuadro anterior. Prestar atención a la altura de las estrellas y a si éstas se encuentran más a la derecha, más a la izquierda o verticalmente hacia arriba respecto a la posición anterior. Indicar la nueva hora de observación.
4. Hacer lo mismo en el recuadro de la derecha, pero con un grupo de estrellas visible mirando hacia horizonte occidental. La primera observación una hora antes de que se ponga y la segunda unos minutos antes de la puesta.

Fecha:

Horizonte oriental (mirando hacia el este)

Fecha:

Horizonte occidental (mirando hacia el oeste)

#### Luego de la actividad

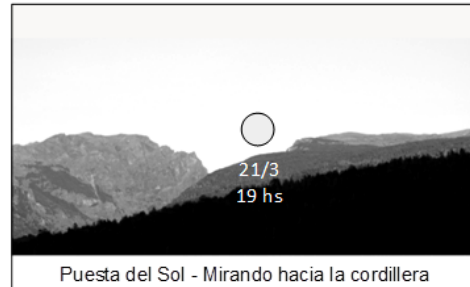
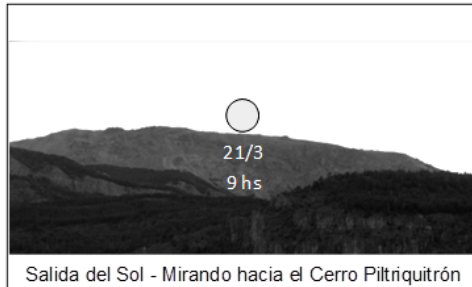
Revisar las ideas que tenías antes de realizar la actividad y elaborar una frase que indique las similitudes y diferencias entre lo observado con el Sol (Actividad 1) y lo observado con las estrellas (Actividad 2).

### 10.7.3. Cambios anuales en la salida y puesta del Sol

#### Actividad 3: Observación de cambios en la salida y puesta del Sol a lo largo del año

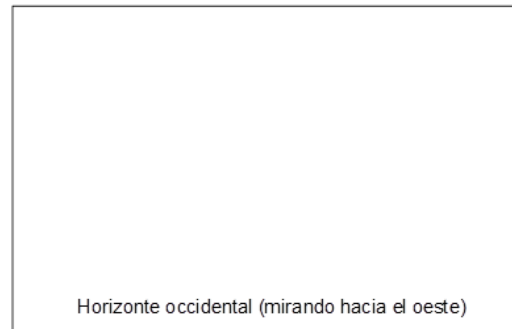
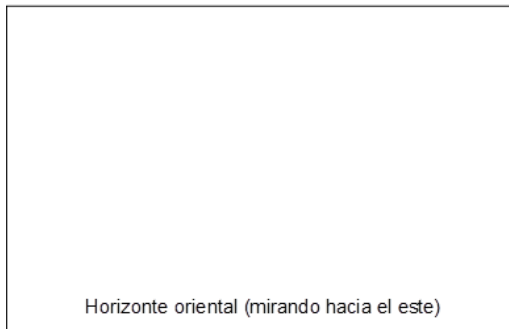
##### Responder antes de realizar la actividad

¿Cambian los horarios de salida y puesta del Sol a lo largo del año? **Si / No**. ¿Y los lugares por los que sale y se pone el Sol? **Si / No**. Si hay cambios, indicarlos en el dibujo.



##### Actividad a llevar a cabo

1. En el recuadro de abajo a la izquierda, dibujar el horizonte oriental correspondiente al lugar desde donde se realizará la observación de las salidas del Sol. Hacerlo con atención ya que servirá como referencia.
2. Realizar la observación de la salida del Sol y registrar en el recuadro el lugar del horizonte oriental por el que salió y el horario correspondiente. Prestar atención y hacerlo de la mejor manera posible.
3. Una semana más tarde, realizar una nueva observación de la salida del Sol. Registrar esta posición en el mismo recuadro anterior, anotando fecha y horario. Reiterar el procedimiento luego de una semana más.
4. Hacer lo mismo en el recuadro de la derecha, pero con los lugares y horarios de puesta del Sol. Registrar por lo menos tres puestas del Sol a lo largo de un mes, sin olvidarse de anotar la fecha y la hora.



##### Luego de la actividad

Revisar las ideas que tenías antes de realizar la actividad y elaborar una frase que indique cómo cambiaron tus ideas en relación a los lugares y horarios de salida y puesta del Sol. Por ejemplo: "Antes pensaba que la salida del Sol... Ahora aprendí que..." Para la frase, tener en cuenta si las salidas y puestas se corrieron hacia el norte o hacia el sur, si los horarios de salida y puesta eran cada vez más tarde o más temprano, si está bien decir que el Sol sale por el este y se pone por el oeste, etc.

## 10.7.4. El mediodía solar y la línea norte-sur

### Actividad 4: Determinación del mediodía solar y de la línea norte-sur

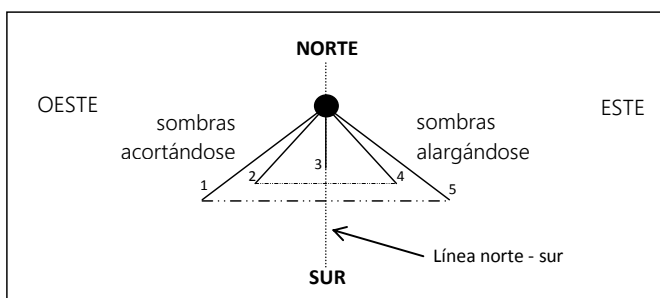
#### Responder antes de realizar la actividad

¿A qué hora el Sol se encuentra en la mitad de su recorrido diario? ¿Cómo puedo determinar ese instante midiendo las sombras de una estaca vertical? En ese momento, ¿hacia dónde apunta la sombra de la estaca?

#### Actividad a llevar a cabo

1. Fijar una cartulina a una superficie horizontal en una zona al aire libre despejada de árboles o construcciones. Cuidar que no se mueva y que, en las próximas horas, ningún obstáculo visual tape el Sol.
2. Colocar una estaca vertical de unos 10 cm de altura de forma tal que quede fija en el centro. Tener en cuenta que la sombra de la estaca no debe sobresalir en ningún momento de la cartulina. Medir la altura de la estaca: ..... cm.
3. Marcar en la cartulina las posiciones que va ocupando la sombra cada 10 minutos durante un período de, por lo menos, 3 horas: de 11.30 a 14.30 hs. Anotar la hora en la que realizan cada medición. En el tramo en el que la sombra varíe su longitud cada vez más lentamente, realizar el registro cada 5 minutos.
4. Numerar cada sombra y completar una tabla en la que figuren el número de sombra, la longitud y la hora correspondiente (ver ejemplo). Una vez que las sombras comienzan a alargarse, tratar de registrar tres sombras cuyas longitudes sean iguales a las de otras sombras medidas anteriormente, cuando las mismas se iban acortando.
5. Determinar la dirección norte - sur o meridiana del lugar: al finalizar, sin mover la cartulina, unir los extremos de las sombras de igual longitud con unas líneas auxiliares finas. Marcar los puntos medios de ellas y trazar una línea que pase por dichos puntos. Esa línea indica la dirección norte - sur (ver figura).

EJEMPLO DE TABLA		
Nro.	Hora	Longitud (cm)
1	11.30 hs	
2		
3		
4		
5		



6. **Determinar el horario del mediodía solar:** buscar en la cartulina cuál fue la longitud y el horario de la sombra más cercana a la línea norte-sur trazada. Debería ser la más corta ya que el Sol en ese momento se encuentra en su posición más alta del día. Ese instante se llama **mediodía solar**. Completar la tabla:

Mediodía solar en El Bolsón	Horario del mediodía solar	Dirección geográfica hacia donde apunta la sombra	Diferencia entre el mediodía solar y el mediodía civil (las 12 hs del reloj)
		Norte / Sur	

#### Luego de la actividad

Revisar las respuestas dadas antes de realizar la actividad. Corregirlas o completarlas en caso de ser necesario. A partir de lo aprendido, explicar cómo podrías hacer para saber hacia dónde queda el sur si te mudas a la ciudad de Buenos Aires. Discutir con tus compañeros si el horario del mediodía solar coincidirá o no con el de El Bolsón.



## 10.7.5. Movimiento propio de la Luna

### Actividad 5: Observación de la Luna varios días seguidos

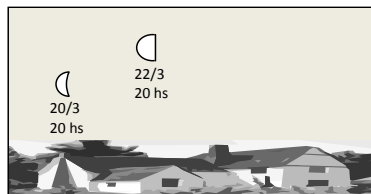
#### Responder antes de realizar la actividad

Si miro la Luna dos días seguidos a la misma hora, ¿se ubica en el mismo lugar del cielo? ¿Se observa con la misma forma o cambia? ¿Puedo observar la Luna a la mañana?

#### Actividades a llevar a cabo

##### Observar la posición y la forma de la Luna durante tres anocheceres seguidos a la misma hora

1. Dibujar el horizonte occidental con el mayor detalle posible como para tenerlo como referencia.
2. Comenzar las observaciones una noche en que la Luna se observe hacia el oeste (uno o dos días después de la Luna nueva). Dibujar la forma que tiene la Luna ese día y la posición en la que se encuentra respecto al horizonte indicando, a su vez, la fecha y la hora.
3. Repetir el procedimiento dibujando la posición de la Luna a la misma hora aproximadamente cada 1 ó 2 días. No olvidarse de indicar la fecha y la hora (ver figura de la derecha como ejemplo). Prestar mucha atención y comparar con la posición del día anterior. Si es necesario, dibujar el horizonte oriental y dibujar en él los cambios en la posición y forma de la Luna.



##### Observar la posición y la forma de la Luna durante tres mañanas seguidas a la misma hora

1. Dibujar el horizonte occidental con el mayor detalle posible como para tenerlo como referencia.
2. Comenzar las observaciones una mañana en que la Luna se observe hacia el oeste. Dibujar la forma que tiene la Luna ese día y la posición en la que se encuentra respecto al horizonte indicando, a su vez, la fecha y la hora.
3. Repetir el procedimiento dibujando la posición de la Luna a la misma hora aproximadamente cada 1 ó 2 días. No olvidarse de indicar la fecha y la hora. Prestar mucha atención y comparar con la posición del día anterior. Si es necesario, dibujar el horizonte oriental y dibujar en él los cambios en la posición y forma de la Luna.

#### Luego de las actividades

Marcar la opción correcta a partir de lo aprendido al realizar las observaciones:

1. De un anochecer al siguiente, la Luna se ubica en el cielo cada vez más hacia el horizonte **este / oeste**. A su vez, se observa que **crece / se queda igual / se achica** y que tiene iluminado su lado **derecho / izquierdo**.
2. De una mañana a la otra, la Luna se ubica en el cielo cada vez más hacia el horizonte **este / oeste**. A su vez, se observa que **crece / se queda igual / se achica** y que tiene iluminado su lado **derecho / izquierdo**.
3. Revisar las respuestas dadas antes de realizar la actividad. Corregirlas o completarlas en caso de ser necesario. A partir de lo aprendido, explicar cómo podrías hacer para saber si la Luna al otro día se observará más grande o más chica.

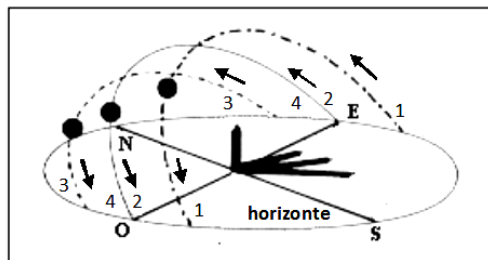
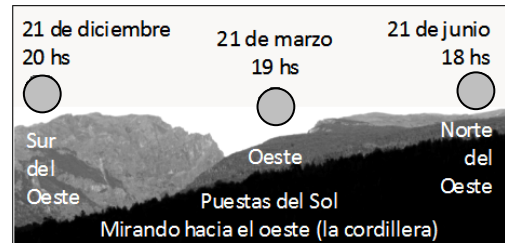
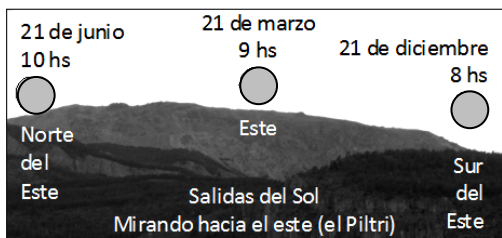
## 10.8. Material informativo para los alumnos sobre día/noche y estaciones

### EL DÍA Y LA NOCHE

El Sol sale por algún lugar mirando hacia el este (donde se encuentra el Piltri) y, luego de varias horas, se esconde por algún lugar mirando hacia el oeste (donde se encuentra la cordillera). Ese recorrido, el Sol lo realiza en forma inclinada hacia el norte, lo que provoca que ascienda así ↗ y que descienda así ↘. Al instante en que el Sol llega a su posición más alta se lo conoce como mediodía solar y, en ese momento, el Sol se encuentra en dirección justo hacia el norte. En consecuencia, una estaca vertical posee la sombra más corta de todo el día. En El Bolsón, esto ocurre cerca de las 13.45 hs. El fenómeno del día y la noche se debe al movimiento diario del Sol en el cielo, desde algún lugar hacia el este a algún lugar hacia el oeste, provocando que el Sol a veces se encuentre arriba del horizonte y otras veces debajo. Así, la presencia del Sol caracteriza al día, y su ausencia a la noche. La Luna no guarda ninguna relación con este fenómeno.

### LAS ESTACIONES DEL AÑO

Cambios aproximados en la salida y puesta del Sol:



- 1- 21 diciembre (21/12): comienzo del verano.
- 2- 21 de marzo (21/3): comienzo del otoño.
- 3- 21 de junio (21/6): comienzo del invierno.
- 4- 21 de septiembre (21/9): comienzo de la primavera.

Las estaciones del año ocurren debido a que el Sol se ubica más al norte o más al sur en el cielo. Cuando el Sol se ubica hacia el sur del cielo, nosotros, que vivimos en el sur de la Tierra, vemos al Sol seguir un recorrido más alto y estar más tiempo arriba del horizonte. La trayectoria más al sur y más alta del Sol de todo el año ocurre el 21 de diciembre, día en que el Sol sale bien al sur del este y se oculta bien al sur del oeste. Ese día comienza el verano en el hemisferio sur.

En cambio, cuando el Sol se ubica hacia el norte del cielo, nosotros, que vivimos en el sur de la Tierra, vemos al Sol realizar un recorrido muy bajo y estar poco tiempo arriba del horizonte. La trayectoria más al norte y más baja de todo el año ocurre el 21 de junio, día en que el Sol sale bien al norte del este y se oculta bien al norte del oeste. Ese día comienza el invierno en el hemisferio sur.

Desde el 21/12 al 21/6, el Sol sale cada vez más al norte, provocando días más fríos debido a que sus rayos llegan cada vez más inclinados y las horas de luz son cada vez menos. En cambio,

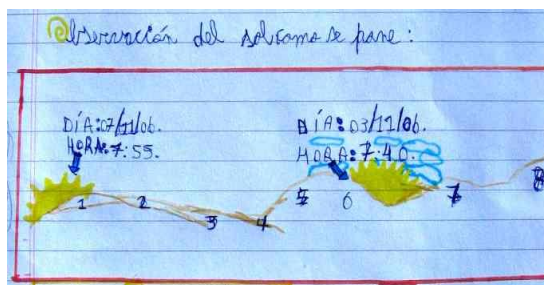
del 21/6 al 21/12, el Sol sale cada vez más al sur, provocando días cada vez más cálidos debido a que sus rayos llegan cada vez menos inclinados y a que su presencia en el cielo dura más. A estos dos días extremos (21/6 y 21/12) se los llama solsticios, que significa "sol quieto", ya que a partir de esas fechas el Sol invierte su movimiento y comienza "a regresar".

Sólo dos días al año, el 21/3 y el 21/9, el Sol sale justo por el este y se pone justo por el oeste, realizando un recorrido a media altura en el cielo. A estas fechas se las conoce como los equinoccios, que significa "igual noche", ya que sólo en esas dos fechas el Sol está 12 hs arriba del horizonte y 12 hs debajo. Eso provoca que el día y la noche duren lo mismo.

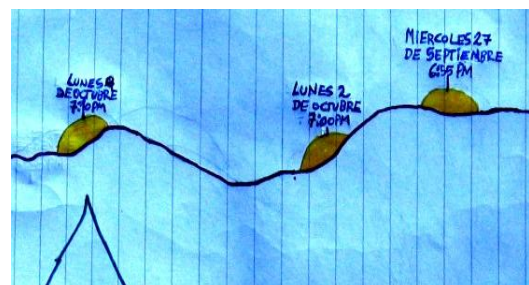
### 10.9. Registros de observaciones del cielo

Las **Figuras 10-9 y 10-10** muestran dibujos realizados por estudiantes de distintos niveles educativos que han realizado observaciones del cielo a partir de actividades propuestas en el marco de esta investigación. Las mismas evidencian la posibilidad y factibilidad de llevar a cabo este tipo de observaciones con los estudiantes a pesar de que la realización de las mismas está condicionada por las condiciones meteorológicas presentes al momento de desarrollar la secuencia didáctica.

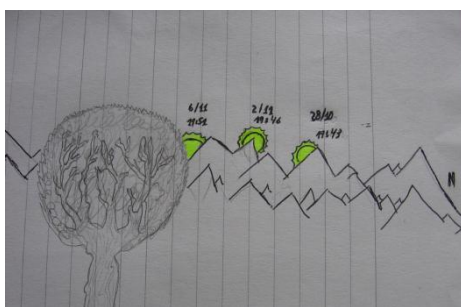
**FIGURA 10-9:** Registros de los cambios en el lugar y horario de salida y/o puesta del Sol. Realizados por estudiantes de primaria, secundaria y nivel superior. Los nombres han sido cambiados para preservar la identidad.



Salvador (4to. grado - Nivel primario)



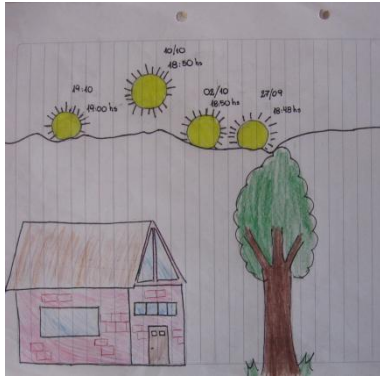
Agustina (2do. año - Nivel medio)



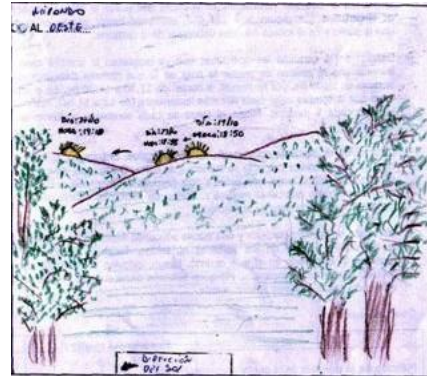
Pablo (1er. año - Nivel medio)



Jenifer (2do. año - Nivel superior)

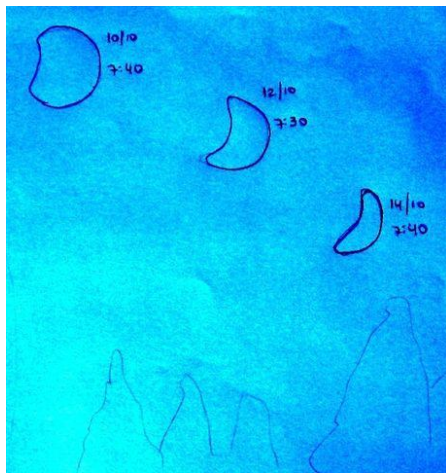


Martina (1er. año - Nivel medio)

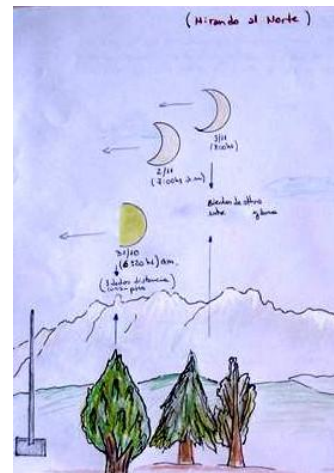


Josefina (2do. año - Nivel superior)

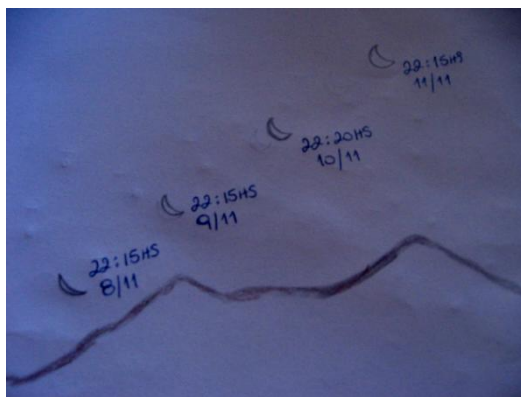
**FIGURA 10-10:** Registros del cambio de posición de la Luna en el cielo de un día al otro a la misma hora. Realizados por estudiantes de secundario y terciario.



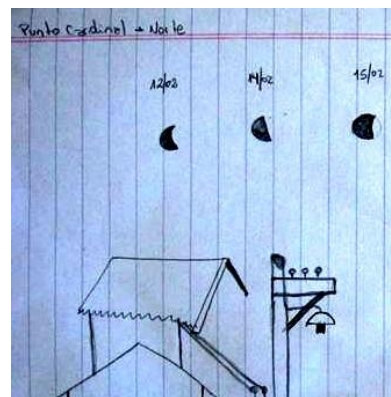
Rodrigo (2do. año - Nivel medio)



Lorena (2do. año - Nivel superior)



Clara (1er. año - Nivel medio)

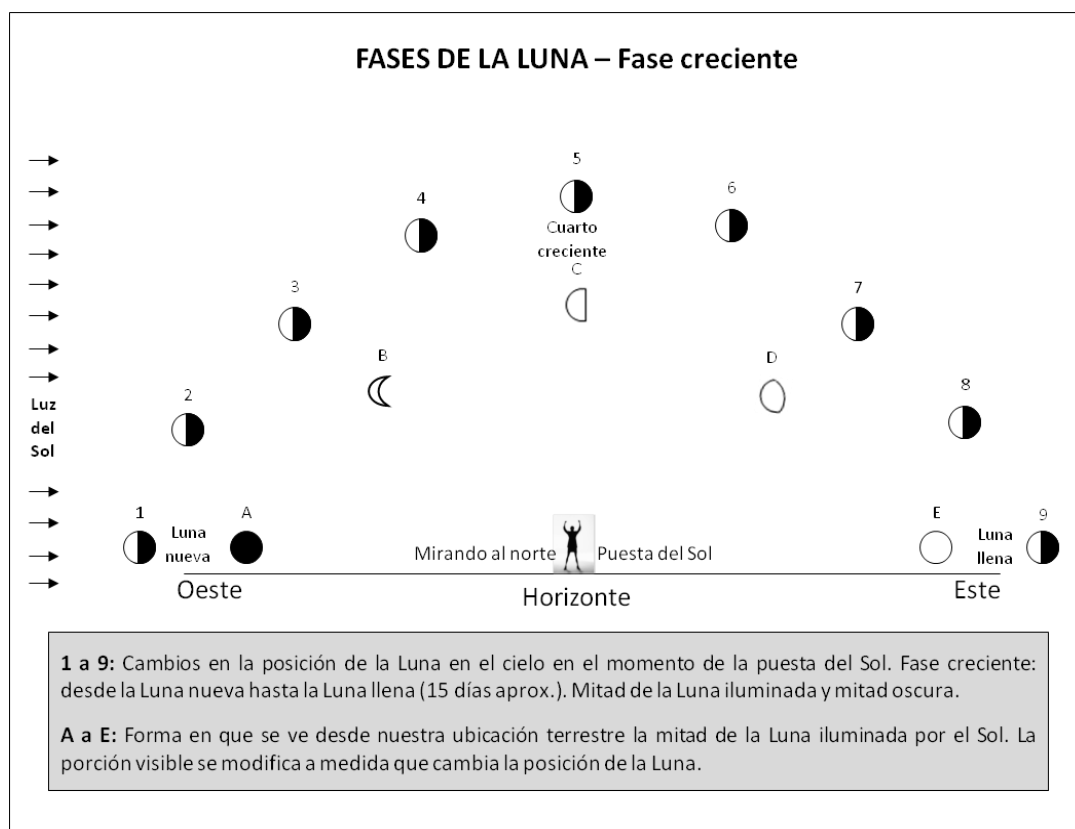


Martín (2do. año - Nivel superior)

## 10.10. Material informativo para los alumnos sobre las fases lunares

### FASES DE LA LUNA<sup>1</sup>

Las fases de la Luna se deben al cambio de la posición de la Luna en el cielo vista, siempre a la misma hora, desde nuestra ubicación terrestre. Dado que la Luna posee un movimiento propio hacia el este, cada día que pasa su posición en el cielo respecto al Sol se modifica constantemente. En consecuencia, desde nuestra posición no nos es posible observar continuamente toda la mitad de la Luna iluminada por el Sol (ver figura de abajo).

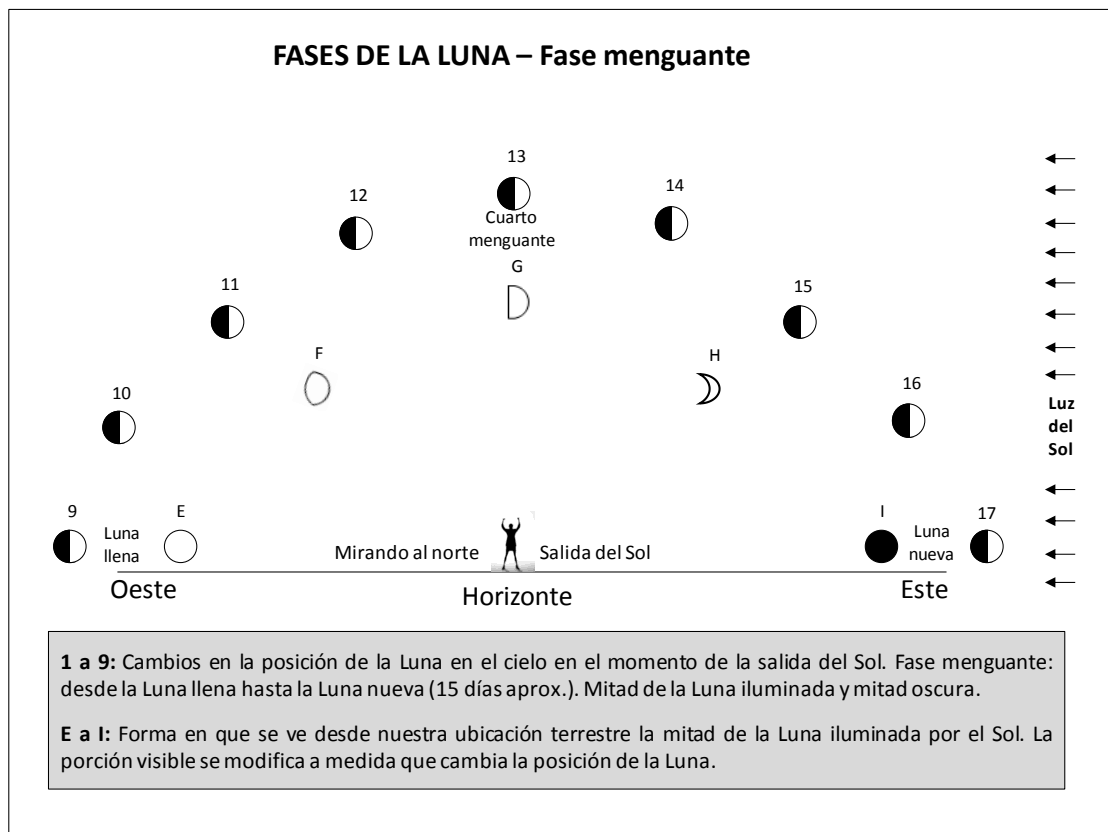


Cuando la Luna está en dirección al Sol (posición 1), la cara no iluminada queda ubicada hacia nosotros y, en consecuencia, no podemos ver la Luna (Luna A). Estamos en "Luna nueva". Si continuamos observando la Luna en el horario de puesta del Sol, vemos que, unos 7 días después, ésta se ubica hacia el norte (posición 5). En consecuencia, percibimos la Luna "de costado", lo que nos permite ver su lado izquierdo iluminado, que es el lado que está en dirección hacia el Sol. La Luna está en "Cuarto creciente" (Luna C). Continuando su desplazamiento hacia el este, unos 7 días más tarde la Luna se ubica opuesta al Sol (posición 9) y, por lo tanto, su cara iluminada apunta hacia nosotros. En consecuencia, vemos la Luna redonda. Estamos en "Luna llena" (Luna E).

<sup>1</sup> Lo aquí detallado es una simplificación que intenta explicar solamente los cambios en la forma en que se ve la Luna en el cielo. Por ese motivo, no se especifican los cambios en la altura de la Luna ni en los lugares de su salida y puesta durante su movimiento propio alrededor de la Tierra.

A partir de allí, el movimiento de la Luna hacia el este provocará que ésta se encuentre debajo del horizonte durante la puesta del Sol, por lo que no será visible en ese horario. Sin embargo, si el día de Luna llena seguimos el recorrido de la Luna en el cielo, notaremos que, unas cuantas horas después, ésta se estará poniendo por algún lugar del oeste mientras el Sol estará apareciendo por algún lugar del este. En consecuencia, continuaremos representando el movimiento de la Luna en el cielo en el horario de salida del Sol, desde la Luna llena hasta la Luna nueva.

Nos encontramos ahora observando el movimiento propio de la Luna hacia el este los días posteriores a la Luna llena. Dado que la Luna cambió su ubicación en el cielo, la misma será visible a otras horas, lo que provoca que sea conveniente registrar cómo cambia de posición y de forma durante unas dos semanas en el horario de salida del Sol (ver figura de abajo).



Como ya se ha visto, el día de Luna llena (Luna E) la cara iluminada “apunta” hacia nosotros y, en consecuencia, vemos la Luna redonda (posición 9). Si continuamos observando la Luna en el horario de salida del Sol, vemos que unos 7 días después ésta se ubica hacia el norte (posición 13). En consecuencia, percibimos la Luna "de costado", lo que nos permite ver su lado derecho iluminado, que es el lado que está “mirando” hacia el Sol. La Luna está en "Cuarto menguante" (Luna G). Continuando su desplazamiento hacia el este, unos 7 días más tarde la Luna se ubicará en dirección al Sol (posición 17) y, por lo tanto, su cara no iluminada quedará ubicada hacia nosotros, por lo que no podremos ver la Luna (igual que en la posición 1 de la figura anterior). Habremos vuelto a tener "Luna nueva" (Luna I), con lo que comenzará un nuevo ciclo lunar de unos 29,5 días de duración.

### 10.11. Análisis cuantitativo de las respuestas de los alumnos

A continuación se presenta en detalle el análisis de las respuestas iniciales y finales de los estudiantes en relación a cada categoría seleccionada con el fin de estudiar si ha habido diferencias significativas a lo largo del proceso de conceptualización seguido por el grupo de clase (ver **Sección 7.5.6.**). En la **Tabla 10-6** figuran las 26 categorías o variables de análisis ( $V_1$  a  $V_{26}$ ) y los 26 alumnos ( $A_1$  a  $A_{26}$ ), indicando con valor uno en caso de detectarse la presencia de una categoría considerada adecuada desde un punto de vista científico (fondo blanco) al inicio de las clases y cero en caso contrario. A su vez, se asignó valor cero en caso de haberse detectado la presencia de una categoría inadecuada (indicadas en fondo gris), y uno en caso contrario. La última columna indica el puntaje total obtenido por cada estudiante (máximo: 26). La **Tabla 10-7** muestra este mismo análisis pero a partir de las actividades realizadas al finalizar la propuesta de enseñanza desarrollada.

**Tabla 10-6:** Respuestas de cada estudiante al inicio de las clases clasificadas por categorías de análisis inadecuadas (en fondo gris) y adecuadas (fondo blanco). El valor 1 indica que se posee una categoría adecuada o que no se posee una categoría inadecuada. Ti: Total inicial por alumno.

	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>9</sub>	V <sub>10</sub>	V <sub>11</sub>	V <sub>12</sub>	V <sub>13</sub>	V <sub>14</sub>	V <sub>15</sub>	V <sub>16</sub>	V <sub>17</sub>	V <sub>18</sub>	V <sub>19</sub>	V <sub>20</sub>	V <sub>21</sub>	V <sub>22</sub>	V <sub>23</sub>	V <sub>24</sub>	V <sub>25</sub>	V <sub>26</sub>	Ti
A <sub>1</sub>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	7
A <sub>2</sub>	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	10
A <sub>3</sub>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	9
A <sub>4</sub>	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	11
A <sub>5</sub>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	9
A <sub>6</sub>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	9
A <sub>7</sub>	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	12
A <sub>8</sub>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	11
A <sub>9</sub>	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	13
A <sub>10</sub>	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	13
A <sub>11</sub>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	9
A <sub>12</sub>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	6
A <sub>13</sub>	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	11
A <sub>14</sub>	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	10
A <sub>15</sub>	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	9
A <sub>16</sub>	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	10
A <sub>17</sub>	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	7
A <sub>18</sub>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	8
A <sub>19</sub>	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	7
A <sub>20</sub>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	10
A <sub>21</sub>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	9
A <sub>22</sub>	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	12
A <sub>23</sub>	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	13
A <sub>24</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	13
A <sub>25</sub>	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	9
A <sub>26</sub>	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	11



**Tabla 10-7:** Respuestas de cada estudiante al final de las clases clasificadas por categorías de análisis inadecuadas (en fondo gris) y adecuadas (fondo blanco). El valor 1 indica que se posee una categoría adecuada o que no se posee una categoría inadecuada. Tf: total final por alumno.

	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>9</sub>	V <sub>10</sub>	V <sub>11</sub>	V <sub>12</sub>	V <sub>13</sub>	V <sub>14</sub>	V <sub>15</sub>	V <sub>16</sub>	V <sub>17</sub>	V <sub>18</sub>	V <sub>19</sub>	V <sub>20</sub>	V <sub>21</sub>	V <sub>22</sub>	V <sub>23</sub>	V <sub>24</sub>	V <sub>25</sub>	V <sub>26</sub>	Ti	
A <sub>1</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23
A <sub>2</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	21
A <sub>3</sub>	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17
A <sub>4</sub>	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	16
A <sub>5</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	21
A <sub>6</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	18
A <sub>7</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24
A <sub>8</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	22
A <sub>9</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	17
A <sub>10</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25
A <sub>11</sub>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	11
A <sub>12</sub>	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	12
A <sub>13</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	21
A <sub>14</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	21
A <sub>15</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	20
A <sub>16</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	24
A <sub>17</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25
A <sub>18</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	24
A <sub>19</sub>	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	21
A <sub>20</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	22
A <sub>21</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	21
A <sub>22</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	21
A <sub>23</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25
A <sub>24</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	21
A <sub>25</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	19
A <sub>26</sub>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	22