

Maestría en Ciencia, Tecnología e Innovación  
Universidad Nacional de Río Negro

## **CONSTRUCCIÓN SOCIAL DE TECNOLOGÍAS. ANÁLISIS SOCIO-TÉCNICO DE LOS CAMBIOS DEL REACTOR NUCLEAR ARGENTINO RA-6 (1982-2018)**

Tesista: Dra. Analía Leticia Soldati<sup>1</sup> (Email: [morasoldati@gmail.com](mailto:morasoldati@gmail.com) )  
Director: Dr. Diego Aguiar (CITEDEF-CONICET)

Fecha: 29/10/19



---

<sup>1</sup> Título de grado: Ingeniera Nuclear del Instituto Balseiro – Universidad Nacional de Cuyo (Junio 2002). Título de posgrado: Dr. rer. nat. por la Johannes Gutenberg Universität Mainz (Marzo 2006). Actualmente Investigadora Independiente CONICET.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Diego Aguiar por su invaluable colaboración en la concreción de este proyecto.

A los entrevistados por su amabilidad en brindarme información, que de otra forma permanecería tácita, sobre la historia socio-técnica del RA-6 y sus visiones personales sobre el tema.

Al personal del RA-6 por brindarme acceso a toda la información técnica necesaria y permitirme utilizar para esta tesis el archivo histórico de la operación de la instalación.

Al Ing. Carlos Fernández, ex jefe del RA-6, por todo el tiempo que ha dedicado para contarme la historia del reactor y los pormenores de cada cambio tecnológico, por proveerme de material fotográfico inédito de su propia colección, y por asesorarme científica y técnicamente en la corrección de esta tesis.

Al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MinCyT) por financiar parte de la realización de esta tesis con el Programa de formación de recursos humanos en políticas y gestión de la ciencia, la tecnología y la innovación, Convocatoria 2015 para la realización de trabajos de tesis de posgrado (FRRHH 2015).

Al programa del Ministerio de Educación (PROFOR) por la financiación de un semestre de media beca (2014) y un año de beca completa (2015) para financiar el cursado de la maestría en la Universidad de Río Negro.

## RESÚMEN

El reactor nuclear argentino RA-6, ubicado en el Centro Atómico de la ciudad rionegrina San Carlos de Bariloche, fue inaugurado oficialmente el 26 de octubre de 1982. La visión detrás de su diseño fue satisfacer las necesidades de la carrera de Ingeniería Nuclear del Instituto Balseiro y contribuir al desarrollo argentino de este tipo de reactores y tecnologías asociadas. Por ello, se pensó un concepto de diseño flexible y se promovió durante todo este tiempo una política de gestión tecnológica dinámica. Tal es así, que el RA-6 fue modificado en varias ocasiones durante sus más de 35 años de servicio, acompañando determinadas necesidades de investigación y desarrollo de distintos grupos.

Cada una de las modificaciones que sufrió el RA-6 tuvo efectos importantes en el uso del dispositivo y en su disponibilidad, y significaron importantes decisiones de gestión, ya sea por los recursos económicos y de personal que involucraron, como por el tiempo que el reactor estuvo fuera de operación en algunas oportunidades para permitir la transformación. Una pregunta crucial que esta tesis trata de responder es si la trayectoria de esos cambios fue sólo una consecuencia del estado del arte tecnológico general, o si por el contrario, existe una componente social que las influyó en un sentido o en otro.

Para ello se identificaron y analizaron, desde el punto de vista de la teoría de la Construcción Social de la Tecnología (SCOT) diversos grupos sociales relevantes que pudieron haber influenciado la trayectoria científica-tecnológica del artefacto. La interrelación entre los grupos, las eventuales convergencias o desavenencias entre ellos, las relaciones de poder, y la preponderancia de unos sobre otros, en cada momento determinado, se evaluó a partir de los relatos recopilados en entrevistas a distintos actores, cotejándolos con el análisis cuantitativo de algunos años específicos de las bitácoras de operación diarias del reactor.

Para el análisis se dividió la trayectoria socio-técnica del reactor en cuatro fases. La primera fase “Orígenes Nucleares” (1982-1990) corresponde a la etapa donde el reactor es inaugurado y comienza con sus primeros años de operación, en un marco político que pasa de la dictadura militar a la democracia, y con un objetivo básico: la enseñanza de la energía nuclear. La segunda fase, denominada “Nuevos Horizontes” abarca la década de los 90’ hasta el 2002 e incluye una época de auge del neoliberalismo y las privatizaciones de empresas estatales durante los gobiernos de Carlos Menem, sumando el período de decaimiento político y económico durante la crisis del 2001. De la mano con una fuerte pérdida del status estratégico que tenía la tecnología nuclear en las etapas anteriores, en este período se abren en el reactor dos

nuevas líneas de trabajo alternativas a la generación de energía nucleoelectrónica: las médicas y las ambientales. La tercera fase corresponde al evento puntual de “Cambio de Núcleo” (2005-2009) que abarca las tareas de rediseño y reconstrucción del RA-6 para bajar el enriquecimiento del núcleo a un porcentaje menor de  $^{235}\text{U}$ . La cuarta y última fase analizada corresponde al período más reciente (2003 – 2018). En esta fase se retoma la trayectoria socio-técnica del RA-6 en el ambiente favorable de un Plan Nuclear reestructurado durante los gobiernos Kirchneristas, y explica el auge de la “Multiplicidad de Aplicaciones” que vuelven al RA-6 una herramienta novedosa y útil para muchos nuevos usuarios.

En estas cuatro fases se identificaron nueve marcos tecnológicos: “Docencia”, “Investigación”, “Desarrollo”, “Salud”, “Servicios”, “Biología/Ecología”, “UBERA-6” (Cambio de Núcleo), “Soporte Analítico” y “Banco de Pruebas”. Cada uno de ellos surge como respuesta técnica de ciertos grupos sociales relevantes para solucionar determinados problemas o desafíos específicos que se van presentando a lo largo del tiempo y están enmarcados bajo ciertas condiciones políticas, socio-económicas, tecnológicas, institucionales y de relaciones internacionales en materia nuclear.

Entre los grupos sociales relevantes que demandaron cambios en el reactor se identificó al Instituto Balseiro, que si bien no ha presentado un rol preponderante en las decisiones operativas, sí ha interpretado el artefacto con una función de “escuela” y ha sido el semillero de mano de obra capacitada para llevar a cabo diversos proyectos. Por otro lado, se encuentra el plantel del reactor, que en un comienzo ha tenido un rol operativo, y que con el paso de los años comienza a influenciar todos los marcos tecnológicos que se desarrollaron en torno al artefacto, desde participar fuertemente de las capacitaciones para otros planteles y para el Instituto Balseiro, hasta integrarse en los desarrollos en salud, cambio de núcleo, nuevas aplicaciones para facilidades de soporte analítico, y banco de pruebas y ensayos. También aparece con un rol preponderante en los cambios, el grupo de desarrolladores de aplicaciones de la División de Física de Reactores Avanzados (DIFRA), con una visión operativa ingenieril y muy cercano a la docencia por medio del Instituto. Este grupo ha sido uno de los principales impulsores para diseñar, gestionar, poner en marcha y utilizar las nuevas aplicaciones. A estos tres grupos relevantes se les suma el Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN), que modifica el uso del reactor, reinterpretándolo primero como un artefacto por medio del cual se puede dar servicio a terceros, y luego, como un artefacto que brinda una ventaja competitiva que los ubica a la altura de la investigación científico-académica internacional, y les permite desarrollarse como un grupo autónomo de investigación en temas de biología y ecología. Asimismo, se encuentra la empresa INVAP S.E. que usa el RA-6 como un

producto demostrativo para vender reactores en el exterior, capacitar planteles, ensayar mecanismos y procedimientos, y finalmente como banco de pruebas para sus propios prototipos. Por otro lado, aparece un grupo de radiobiólogos y médicos oncológicos, que actúa como direccionador de intereses en el marco tecnológico "Salud", apoyando el uso del RA-6 como parte de un procedimiento médico para el tratamiento de melanomas. Por último, existe un grupo de organizaciones internacionales y países, que si bien no atribuyen significados directamente al RA-6 de una manera en particular, sí tienen una influencia determinada en las decisiones que van tomando los grupos sociales relevantes. Entre ellos se encuentran el Estado Argentino, con sus políticas de ciencia y tecnología, apoyando una u otra línea de trabajo. La Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), con sus proyectos de financiación, fomentando la diversificación de la matriz de uso de los reactores de investigación y su mapa de usuarios potenciales. Y finalmente, EE.UU. y los países del Club de Londres, manipulando las condiciones para el desarrollo nuclear argentino con el objetivo de mantener su hegemonía como proveedores en la escena nuclear internacional y forzando el cambio de núcleo a uno de Uranio de bajo enriquecimiento, uno de los mayores cambios en la trayectoria socio-técnica del RA-6.

Como resultado de estos análisis se concluye que las diferentes modificaciones en el artefacto desde 1982 hasta 2018 estuvieron apoyadas por aspectos sociales y técnicos cambiantes, donde tuvieron importancia tanto las presiones internacionales, y las políticas científico-tecnológicas y económicas de la Argentina, como las relaciones y los intereses de los grupos sociales relevantes y los significados atribuidos por cada uno de ellos en torno del artefacto.

## ÍNDICES

### Índice del texto principal

<b>ÍNDICES</b> .....	6
<b>Índice del texto principal</b> .....	6
<b>Índice de entrevistas realizadas</b> .....	8
<b>Índice de bitácoras de operación analizadas</b> .....	8
<b>Índice de tablas</b> .....	8
<b>Índice de figuras</b> .....	9
<b>Abreviaciones usadas en este trabajo</b> .....	12
<b>1. Introducción</b> .....	14
<b>Problema de investigación</b> .....	14
<b>Los cambios (tecnológicos y de uso) a estudiar</b> .....	15
<b>Antecedentes y estado actual del tema</b> .....	16
<b>Objetivos</b> .....	17
<i>Objetivos generales</i> .....	17
<i>Objetivos específicos</i> .....	18
<b>Justificación</b> .....	18
<b>Hipótesis de partida</b> .....	19
<b>Organización de la tesis</b> .....	19
<b>2. Marco teórico</b> .....	21
<b>3. Método y técnicas empleados</b> .....	26
<b>Diseño de la investigación</b> .....	26
<b>Entrevistas</b> .....	26
<b>Bitácoras de operación del RA-6</b> .....	27
<b>Tesinas de grado, maestría y especializaciones</b> .....	30
<b>Periodización de la trayectoria socio-técnica del RA-6</b> .....	30
<i>Fase 1: Orígenes Nucleares (1982-1990)</i> .....	30
<i>Fase 2: Nuevos Horizontes (1991-2002)</i> .....	31
<i>Fase 3: El Cambio de Núcleo (2005-2009)</i> .....	32
<i>Fase 4: Multiplicidad de Aplicaciones (2003-2018)</i> .....	32
<b>4. Fase 1 - Origen Nuclear (1982-1990)</b> .....	34
<b>Características históricas, económicas, sociales y políticas</b> .....	34
<b>El Plan Nuclear</b> .....	39
<b>Objetivos</b> .....	41
<b>Características principales</b> .....	42
<b>Detalle de los cambios técnicos o de utilización:</b> .....	46
<i>Reactor escuela</i> .....	46
<i>Reactor de investigación</i> .....	47
<i>Reactor de desarrollo</i> .....	47
<b>Marcos tecnológicos en la fase 1</b> .....	48
<b>Grupos sociales relevantes en la fase 1</b> .....	52
<b>Análisis socio-técnico de la fase 1</b> .....	54
<b>5. Fase 2 – Nuevos Horizontes (1990-2002)</b> .....	57

Características históricas, económicas, sociales y políticas .....	57
El Plan Nuclear.....	59
Objetivos.....	60
Características principales .....	60
Detalle de los cambios tecnológicos o de utilización .....	65
<i>Facilidad de Terapia Neutrónica por Captura en Boro (BNCT)</i> .....	65
<i>Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN)</i> .....	71
Marcos tecnológicos presentes en la fase 2.....	72
Grupos sociales relevantes presentes en la fase 2 .....	77
Análisis socio-técnico de la fase 2 .....	79
<b>6. Fase 3 - Cambio de Núcleo (2005-2009) .....</b>	<b>82</b>
Características históricas, económicas, sociales y políticas .....	82
El Plan Nuclear.....	83
Objetivos.....	85
Características principales .....	85
Detalle de los cambios tecnológicos o de utilización .....	89
Marcos tecnológicos presentes en la fase 3.....	92
Grupos sociales relevantes presentes en la fase 3 .....	94
Análisis socio-técnico de la fase 3 .....	97
<b>7. Fase 4 - Multiplicidad de aplicaciones (2003-2018).....</b>	<b>100</b>
Características históricas, económicas, sociales y políticas .....	100
El Plan Nuclear.....	100
Objetivos.....	101
Características del período.....	101
Detalle de los cambios tecnológicos y/o de utilización.....	104
<i>Análisis por Activación Neutrónica de Gammas Instantáneos (PGNAA)</i> .....	104
<i>Neurografía</i> <small>Error! Bookmark not defined.</small> .....	106
<i>Difractometría de neutrones</i> .....	107
<i>Sistema de Producción de Isótopos Medicinales (MIPS) de INVAP S.E.</i> .....	108
<i>Modificaciones en BNCT</i> .....	111
Marcos tecnológicos presentes en la fase 4.....	114
Grupos sociales relevantes presentes en la fase 4 .....	117
Análisis socio-técnico de la fase 4 .....	120
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>125</b>
Fases temporales identificadas.....	125
Síntesis de la trayectoria socio-técnica del RA-6.....	125
Marcos Tecnológicos Identificados .....	127
Los grupos sociales relevantes en la trayectoria socio-técnica del RA-6.....	130
<i>El Instituto Balseiro</i> .....	130
<i>El grupo de desarrollos</i> .....	131
<i>El grupo del LAAN</i> .....	133
<i>La empresa INVAP S.E.</i> .....	133
<i>La comunidad médica y los radiobiólogos</i> .....	135
El rol de organismos y Estados .....	135
<i>El Estado argentino</i> .....	136
<i>La Organización Internacional de Energía Atómica</i> .....	136
<i>EE.UU. y el Club de Londres</i> .....	137
Consideraciones finales.....	138

<b>9. Bibliografía:</b> .....	140
<b>10. ANEXO1: Entrevistados por la tesista</b> .....	145
<b>11. ANEXO 2: Datos de las Bitácoras de operación analizadas en esta tesis</b> .....	146
<b>12. ANEXO 3: Micro Curriculum Vitae de algunas personas nombradas y/o entrevistadas en esta tesis</b> .....	147
<b>13. ANEXO 4: Guía de preguntas para las entrevistas</b> .....	150
<i>Reactor Escuela</i> .....	150
<i>Proyecto BNCT</i> .....	152
<i>Cambio de Núcleo</i> .....	155
<i>LAAN</i> .....	157
<i>RA-6 como soporte a INVAP S.E.</i> .....	160
<i>Popularización del RA-6</i> .....	161
<b>14. ANEXO 5: Glosario</b> .....	163

#### Índice de entrevistas realizadas

Entrevista 1: 02/12/2016 Carlos Fernández.....	145
Entrevista 2: varias ocasiones entre 2016-2017 Juan D´Andreta .....	145
Entrevista 3: 22/05/2017 Fabricio Brollo .....	145
Entrevista 4: 29/09/2017 Carlos Gho .....	145
Entrevista 5: 04/10/2017 Sergio Ribeiro Guevara.....	145
Entrevista 6: 05/10/2017 a Fernando Sánchez .....	145
Entrevista 7: 05/10/2017 b María Arribere.....	145
Entrevista 8: 06/10/17 Aníbal Blanco .....	145
Entrevista 9: 10/10/2017 Juan Longhino .....	145
Entrevista 10: 27/02/2018 Herman Blaumann.....	145

#### Índice de bitácoras de operación analizadas

Bitácora de Operación 1: 1983.....	146
Bitácora de Operación 2: 1986.....	146
Bitácora de Operación 3: 1990.....	146
Bitácora de Operación 4: 1993.....	146
Bitácora de Operación 5: 1996.....	146
Bitácora de Operación 6: 1999.....	146
Bitácora de Operación 7: 2005.....	146
Bitácora de Operación 8: 2014.....	146

#### Índice de tablas

Tabla 1: Marcos Tecnológicos activos durante la fase 1 .....	49
Tabla 2: Características del MT “Docencia” durante la fase 1. ....	49
Tabla 3: Características del MT “Investigación” durante la fase 1. ....	50
Tabla 4: Características del MT “Desarrollo” durante la fase 1.....	51
Tabla 5: Marcos tecnológicos presentes en la Fase 2.....	74

Tabla 6: Características del MT “Docencia” durante la fase 2 .....	74
Tabla 7: Características del MT “Salud” durante la fase 2.....	75
Tabla 8: Características del MT “Servicios” durante la fase 2 .....	76
Tabla 9: Características del MT “Bio/Eco” durante la fase 2.....	76
Tabla 10: Marcos tecnológicos presentes en la fase 3.....	93
Tabla 11: Características del MT “UBERA-6” durante la fase 3 .....	93
Tabla 12: Marcos Tecnológicos presentes en la fase 4.....	115
Tabla 13: Características del MT “Soporte Analítico” durante la fase 4.....	115
Tabla 14: Características del MT “Banco de Pruebas” durante la fase 4.....	116

## Índice de figuras

Figura 1: Ejemplo de planilla de cálculo con los datos extraídos de las hojas de operación del RA-6. Las columnas corresponden a: Número de Experiencia (EXPER.), Fecha de Inicio (FECHA INIC), Fecha de Finalización (FECHA FIN), Horas de Uso del Reactor (Hs. USO), Potencia en kilowatts (POT kW), Usos (USOS) Persona Solicitante (SOLICITANTE), Categoría (CAT), Grupo al que pertenece la persona solicitante (SOLICITANTE), A la derecha, en fondo gris, se observa el filtro aplicado para separar los usos por solicitante y por categoría. Los datos transcritos se encuentran sombreados intencionalmente para respetar la confidencialidad.....	29
Figura 2: Obra del edificio del reactor nuclear experimental RA-6 en el predio del Centro Atómico Bariloche. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández. ....	35
Figura 3: Detalle del hall del reactor nuclear experimental RA-6, en donde se alojará el reactor en sí. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández. ....	35
Figura 4: Introducción al hall del reactor del tanque de acero inoxidable que oficiará de pileta del reactor nuclear experimental RA-6. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández. ....	36
Figura 5: Interior de la pileta del reactor nuclear experimental RA-6, donde se colocará el núcleo de Uranio. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández. ....	37
Figura 6: Núcleo del RA-6 en funcionamiento, mostrando la característica luz azul del efecto Cherenkov. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández. ....	38
Figura 7: Inauguración del reactor nuclear experimental RA-6, el día 26 de Octubre de 1982. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández.....	38
Figura 8: Reactor nuclear experimental RA-6. Gentileza Ing. Carlos Fernández. ....	39
Figura 9: Presidente Dr. Raúl Alfonsín visitando la consola de operación del reactor nuclear experimental RA-6. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández. ....	40
Figura 10: Primer plantel de operaciones del reactor nuclear experimental RA-6. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández.....	43
Figura 11: Operación del RA-6 durante el año 1983, analizada por el grupo de pertenencia de los usuarios (arriba) y por la categoría de la tarea realizada (abajo). DOMI: Docencia, Operación y Mantenimiento de la Instalación, IB: Instituto Balseiro, LAAN: Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica, OG: Otros Grupos, RP:	

Radioprotección. DYC: Docencia y Capacitación, APL: Aplicaciones, DES: Desarrollos.  
 ..... 44

Figura 12: Operación del RA-6 durante el año 1986, analizada por el grupo de pertenencia de los usuarios (arriba) y por la categoría de la tarea realizada (abajo). DIFRA: División Física de Reactores Avanzados, DOMI: Docencia, Operación y Mantenimiento de la Instalación, IB: Instituto Balseiro, INVAP S.E.: Investigaciones Aplicadas, LAAN: Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica, OG: Otros Grupos, RP: Radioprotección. DYC: Docencia y Capacitación, APL: Aplicaciones, DES: Desarrollos. .... 45

Figura 13: consola de operación. Posee una ventana vidriada que permite observar el hall del reactor. Las señales se adquieren y muestran con triple redundancia. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández. .... 46

Figura 14: Operación del RA-6 promediada durante los años 1990, 1993, 1996 y 1999, analizada por el grupo de pertenencia de los usuarios (arriba) y por la categoría de la tarea realizada (abajo). ARN: Autoridad regulatoria Nuclear, DIFRA: División Física de Reactores Avanzados, DOMI: Docencia, Operación y Mantenimiento de la Instalación, IB: Instituto Balseiro, INVAP S.E.: Investigaciones Aplicadas S.E., LAAN: Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica, OG: Otros Grupos, RP: Radioprotección. DYC: Docencia y Capacitación, APL: Aplicaciones, DES: Desarrollos, INSP: Inspecciones. 63

Figura 15: Porcentaje de uso del reactor en distintos años de la fase 2. Datos obtenidos de la utilización por grupo durante los años 90, 93, 96 y 99. Los puntos se unen con una línea como guía visual..... 64

Figura 16: Hall del reactor RA-6 mostrando el equipo de trabajo junto a la nueva sala de irradiación (bloques de concreto hacia el centro de la foto, flecha blanca) alrededor de la salida del conducto que contiene la facilidad de BNCT. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández. .... 66

Figura 17: Pileta del reactor RA-6 mostrando el núcleo del mismo. En la parte inferior de la fotografía se observa el dispositivo que extrae los neutrones para la aplicación de BNCT (flecha blanca). Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández..... 66

Figura 18: Primera irradiación en un paciente realizada con la técnica BNCT en el RA-6. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández. .... 69

Figura 19: Equipo de trabajo realizando las pruebas para la técnica BNCT en el hall del reactor RA-6. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández..... 69

Figura 20: Artículos de diario aparecidos luego de la primera irradiación de un paciente en el RA-6. Fuentes: versión digital de los diarios La Nación y El Día..... 70

Figura 21: Artículos de diario comentando el traslado del núcleo enriquecido del RA-6.  
 ..... 88

Figura 22: Operación del RA-6 promediada durante los años 2002, 2005, 2007, 2009 y 2014, analizada por el grupo de pertenencia de los usuarios (arriba) y por la categoría de la tarea realizada (abajo). ARN: Autoridad regulatoria Nuclear, DIFRA: División Física de Reactores Avanzados, DOMI: Docencia, Operación y Mantenimiento de la Instalación, IB: Instituto Balseiro, INVAP S.E.: Investigaciones Aplicadas S.E., LAAN: Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica, OG: Otros Grupos, RP:

Radioprotección. DYC: Docencia y Capacitación, APL: Aplicaciones, DES: Desarrollos, INSP: Inspecciones..... 103

Figura 23:Neutrografías de una rosa, un cráneo arqueológico y una pieza, publicadas en la página del Centro Atómico Bariloche ([www.cab.cnea.gov.ar](http://www.cab.cnea.gov.ar)) y en un artículo de J. Marín publicado en la conferencia de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, AATN, XLII Reunión Anual, 2015, Bs As, Argentina. .... 107

Figura 24: Celda caliente con telemanipuladores instalada en el RA-6 para el proyecto MIPS. Fuente: Analía Soldati, gentileza RA-6. .... 109

Figura 25: Artículo de la revista U238 sobre la facilidad de irradiación BNCT del RA-6, publicado en el 27/10/2015..... 114

**Abreviaciones usadas en este trabajo**

AAN= Análisis por Activación Neutrónica

ABACC= Agencia Brasileño Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares

ANMAT= Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica

APL= Aplicaciones

ARN= Autoridad Regulatoria Nuclear

ARCAL= Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe

BNCT= Boron Neutron Capture Therapy (Terapia por captura de neutrones en Boro)

CAB= Centro Atómico Bariloche

CAC= Centro Atómico Constituyentes

CAE= Centro Atómico Ezeiza

CNEA= Comisión Nacional de Energía Atómica

DES= Desarrollos

DIFRA= División Física Reactores Avanzados

DOMI= Docencia, Operación, Mantenimiento, Investigación del RA-6

DYC= Docencia y Capacitación

ENREN= Ente Nacional Regulador Nuclear

GIN= Gerencia Ingeniería Nuclear

GSR= Grupos Sociales Relevantes

IFB= Instituto de Física Bariloche

IB= Instituto Balseiro

INS= Inspecciones

INVAP S.E.= Empresa de tecnología de la Provincia de Río Negro

LAAN= Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica

MIT= Massachusetts Institute of Technology

MT= Marco Tecnológico

OIEA= International Atomic Energy Agency

OG= Otros Grupos

PGAAN= Análisis por Activación de Gammas Instantáneos

RA= Reactor Nuclear Argentino

RA-6= Reactor Nuclear Argentino Número 6

RP= Radioprotección

SCOT= Construcción Social de la Tecnología

TAR= Teoría Actor Red

UPCN= Unión Personal Civil de la Nación

## 1. Introducción

### Problema de investigación

El reactor nuclear <sup>G46</sup> argentino número 6 (RA-6) fue inaugurado oficialmente el 26 de octubre de 1982, hace 37 años<sup>2</sup>. La visión detrás de su diseño fue satisfacer las necesidades de la carrera de Ingeniería Nuclear del Instituto Balseiro <sup>G30</sup> (IB) y contribuir al desarrollo del país en este tipo de reactores y tecnologías asociadas. Por ello, se pensó un concepto de diseño flexible y se promovió durante todo este tiempo una política de gestión dinámica. Tal es así, que el RA-6 fue modificado en varias ocasiones, acompañando determinadas necesidades de investigación y desarrollo de distintos grupos.

Algunos ejemplos de los cambios producidos fueron: modificaciones específicas del núcleo <sup>G36</sup> para simular condiciones del reactor argelino/egipcio y así crear cursos de capacitación para el personal de dichos reactores; colocación de columnas térmicas <sup>G12</sup> para realizar análisis por activación neutrónica <sup>G2</sup>; quita de las columnas térmicas para ubicar el quirófano radiológico de terapia BNCT <sup>G6</sup> (por sus siglas en inglés: *Boron Neutron Capture Therapy, Terapia de Neutrones por Captura en Boro*); cambio del material de núcleo a Uranio de bajo enriquecimiento; y aumento de potencia <sup>G42</sup> para facilitar BNCT y radiografía <sup>G45</sup> de materiales.

Cada una de las modificaciones que sufrió el RA-6 tuvo efectos importantes en el uso del dispositivo y en su disponibilidad, y significaron importantes decisiones de

---

<sup>2</sup> En la Argentina se construyeron 5 reactores de investigación y dos facilidades críticas. RA-0 es la facilidad crítica de potencia cero construida en 1959, en un principio emplazada en el Centro Atómico Constituyentes (CAC), fue trasladada posteriormente a la Universidad Nacional de Córdoba para fines didácticos; actualmente se encuentra por reiniciar operaciones. RA-1 es un reactor de investigación de 40kW que fue construido en 1958 en el CAC. RA-2 fue una facilidad crítica emplazada en el CAC en 1966, que se usó para ensayar las configuraciones del núcleo de RA-3. RA-3, de 10MW de potencia actual, fue construido en el Centro Atómico Ezeiza (CAE) en 1967 para producción de radioisótopos e investigación. RA-4 de baja potencia (1W) fue construido en la Universidad Nacional de Rosario en 1971 para investigación y docencia. El RA-6 de 500kW (1MW actual) fue inaugurado en 1982 en el Centro Atómico Bariloche (CAB) con fines de investigación y docencia. El RA-8, de 10W de potencia, se encuentra en el Complejo Tecnológico Pilcaniyeu y se usa para investigación y testeo del núcleo combustible del reactor de potencia CAREM. Todos los reactores salvo el RA-8 cuentan con un núcleo de uranio enriquecido al 20% (el RA-6 comenzó con un núcleo enriquecido al 90% y a partir de 2007 trabaja a un enriquecimiento del 20%, mientras que el RA-8 tiene un núcleo de uranio enriquecido al 3%). RA-2 ya no se encuentra en operaciones, mientras que la facilidad RA-0 y el reactor RA-8 están por reiniciarlas. Todos los demás reactores se encuentran en operación. Actualmente se planea la construcción de RA-10 en el CAE, este reactor multipropósito se usará para investigación y producción de radiofármacos para diagnóstico y tratamiento de enfermedades.

gestión, ya sea por los recursos económicos y de personal que involucraron, como por el tiempo que el reactor estuvo fuera de operación para permitir la transformación.

En la tesis se analizan estos cambios tecnológicos desde el punto de vista del *Constructivismo Social de la Tecnología (SCOT)*, enmarcado en el debate entre el determinismo tecnológico versus el determinismo social<sup>3</sup>. Así, se buscó encontrar la relación entre las decisiones que indujeron cada cambio, identificando los distintos marcos tecnológicos, los grupos sociales relevantes y su relación al contexto histórico, político, económico, social y científico en el que tuvieron lugar. Se explica qué grupos y con qué representaciones participaron en la toma de decisiones, y cuáles fueron los impulsos que definieron las líneas de desarrollo y cambio tecnológico en el reactor.

### **Los cambios (tecnológicos y de uso) a estudiar**

El proyecto de crear un reactor nuclear experimental <sup>G47</sup> en el Centro Atómico Bariloche (CAB) se gestó durante el gobierno militar, en el período 76-77'. Del 78' al 82' se desarrolló la construcción y puesta en marcha de la facilidad. La misma continúa en funcionamiento hasta hoy. Dentro de los variados cambios de configuración que vivió el RA-6 en sus tres décadas de servicio, hay varios hitos que resaltan por su importancia y complejidad técnica:

A mediados de los 80', por ejemplo, se modificó parte del diseño del RA-6 para probar configuraciones que se usarían en el reactor Argelino, vendido y construido por la empresa INVAP S.E. <sup>G31</sup>. Asimismo, en el 88' se realizó un programa de entrenamiento en manejo y mantenimiento destinado a los ingenieros argelinos, que había sido ofrecido como parte de la licitación. Este mismo programa se repitió durante 96-97' con la venta de un reactor a Egipto.

Con respecto a los cambios de uso, en el período 86'-87' se dio un gran impulso al Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN). En principio abocado a la medición de parámetros fisicoquímicos nucleares, el LAAN agregó a esta línea las actividades de investigación en temas ecológicos (ecología, paleo-ecología, vulcanismo, fechado, geología, contaminación ambiental), brindando además servicios a terceros para análisis de composición en diversos materiales.

Por otro lado, en el año 2002 se acondicionó una de las facilidades de irradiación <sup>G20</sup> como "quirófano radiológico" para ser usado en el novedoso tratamiento oncológico experimental llamado BNCT<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Ver Capítulo 2

<sup>4</sup> Modificado de <http://www.cab.cnea.gov.ar/index.php/oferta-tecnologica/equipamiento/reactor-RA-6> 2018/10/15.

Luego, en 2007 se decidió convertir el núcleo del RA-6 para que usara como combustible Uranio de bajo enriquecimiento <sup>G19</sup> en vez del combustible original, altamente enriquecido en el isótopo <sup>235</sup>U. El Uranio enriquecido original fue devuelto a EE.UU. y se desarrollaron nuevos elementos combustibles del tipo “alta densidad”. Los mismos están formados por una matriz de siliciuro de Uranio, usando enriquecimientos del 19.7% y fueron diseñados considerando la experiencia ganada con el desarrollo del reactor OPAL (Australia).

Simultáneamente a este trabajo, se decidió incrementar la potencia del reactor a 3 MW con el objeto de mejorar las prestaciones académicas, científicas y de medicina nuclear que se venían realizando hasta entonces. Si bien no se alcanzó el objetivo de los 3MW, el aumento a 1MW logrado a la fecha (2018) permitió incorporar nuevos usos, como la técnica de análisis de materiales por neutrografía y la difracción de neutrones, antes no permitidos por las características operativas del diseño anterior.

En síntesis, desde la creación del reactor RA-6 hasta la actualidad se han producido distintos cambios en el artefacto y en su uso, y en este trabajo se busca dar una explicación de los mismos desde una óptica socio-técnica.

### **Antecedentes y estado actual del tema**

Muchos autores se han interesado en el desarrollo de distintas tecnologías o artefactos tecnológicos, siguiendo enfoques constructivistas semejantes a los que se utilizan en este trabajo<sup>5</sup>. Entre estos ejemplos paradigmáticos se encuentran casos de estudio como el de la evolución de los procesos de química orgánica, y de los marcos tecnológicos que los apuntalaban, que permitieron ir de la industria de las tinturas y de los celuloideos hasta las baquelitas sintéticas, fabricadas en masa a través de procesos de condensación de fenoles (Bijker, 1987). Otro caso interesante es el del desarrollo de la bicicleta, cuyo modelo fue modificado de acuerdo a la necesidad de los distintos grupos de usuarios (Pinch y Bijker, 1987). También se ha estudiado la innovación en relación a la competencia entre distintas tecnologías<sup>6</sup>, como en la historia social de los sintetizadores Moog y Buchla (Pinch y Trocco, 2004), de la luz fluorescente (Bijker, 1995 y 1996), de la tecnología de distribución eléctrica con corriente continua versus alterna o del vehículo eléctrico en Francia (Callon, 1980).

---

<sup>5</sup> Por ejemplo, analizando aspectos variados del cambio tecnológico y su relación con grupos sociales relevantes, modelos económicos, políticas, contexto histórico, marcos tecnológicos, etc.

<sup>6</sup> Procesos de variación, selección y estabilización de los marcos y redes que dan lugar a determinada innovación.

Con respecto al caso de estudio que concierne a esta tesis, no existe mucha bibliografía en Argentina sobre el análisis socio-técnico de esta clase de artefacto tecnológico. El principal antecedente bibliográfico que describe los cambios atravesados por el RA-6 está recopilado en un libro titulado “30 años RA-6. El reactor escuela del Centro Atómico Bariloche”, que fue editado en 2012 con motivo de la conmemoración del cumpleaños número 30 del artefacto (CNEA, 2012). En este libro se entrevista a físicos, ingenieros y técnicos, que trabajaron o trabajan en el reactor, quienes cuentan a partir de su visión personal la historia del reactor, desde su construcción hasta el año 2012. Asimismo, hay muy pocas investigaciones relevantes relacionadas a la historia del Centro Atómico Bariloche (CAB), que dan un marco histórico al RA-6. Por un lado, el físico Mario Mariscotti publicó en 1984 el libro "El secreto atómico de Huemul" donde relata el fiasco de la termofusión nuclear controlada del Dr. Richter en la isla Huemul del Lago Nahuel Huapi (Mariscotti, 1984). El fraude encontró su fin en 1952, a partir de las investigaciones de un grupo de físicos (entre ellos José A. Balseiro), que estudiaron y evaluaron el proyecto. Esta auditoría sentó las bases para el nacimiento del Instituto de Física de Bariloche (IFB), que luego se rebautizó como Instituto Balseiro (IB) tras la muerte de su fundador. El IB, caracterizado por la combinación de docencia e investigación, sería la cuna ideológica del reactor “escuela” RA-6. Por otro lado, también el físico Arturo López Dávalos ha escrito sobre los antecedentes históricos del IB, haciendo hincapié en el accionar de José Antonio Balseiro en su creación (López Dávalos y Badino, 2000; López Dávalos y García, 2012). Así mismo, se cuenta también con varios aportes de visión histórica del Dr. en física Diego Hurtado de Mendoza, quién reseña la historia de la CNEA desde sus comienzos con el *affaire* Richter y la participación en los programas de átomos para la paz de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) hasta llegar a la creación de los reactores de investigación RA-1 (1958), el RA-0 (1960), el RA-2 (1966) y RA-3 (1967) y de los reactores de potencia Atucha I y Embalse (Hurtado, 2005; Hurtado y Vara, 2012), enfocado más que nada en estos dos últimos, que por su diseño y claro objetivo (generación de energía) son mucho menos flexibles que los reactores de investigación.

## **Objetivos**

### ***Objetivos generales***

El objetivo general de esta tesis es estudiar los cambios tecnológicos y de uso a los que se sometió al RA-6 en sus más de tres décadas de funcionamiento, analizando

la presencia de marcos tecnológicos y relacionándolos al transfondo histórico, político, económico, social y científico que promovió, posibilitó y/o forzó cada una de las transformaciones. Se intentará comprender cuáles fueron los problemas y soluciones que se abordaron, qué grupos sociales relevantes participaron en la toma de decisiones, cómo fueron sus interacciones y cuáles fueron los impulsos que definieron las líneas de investigación y desarrollo.

### ***Objetivos específicos***

- 1- Identificar y analizar los cambios tecnológicos que ocurrieron en el RA-6 desde su creación hasta la fecha.
- 2- Ubicar estos cambios dentro de su contexto histórico, político y económico.
- 3- Analizar la dinámica socio-cognitiva, el desarrollo de nuevos elementos (tanto en el re-diseño del equipamiento, como en sus usos), las relaciones intra- e inter-institucionales, las relaciones de poder y las representaciones de los diferentes grupos sociales relevantes que han intervenido en las distintas modificaciones del reactor.
- 4- Identificar los diferentes marcos tecnológicos que se sucedieron a partir de la caracterización de los grupos sociales relevantes involucrados y su influencia sobre los cambios en el reactor.

### **Justificación**

Argentina es un Estado que ha demostrado un interés en el campo nuclear que viene creciendo ininterrumpidamente desde la década de los 40'. El desarrollo de este trabajo de investigación contribuirá, por un lado, a debatir sobre los procesos de construcción social de la tecnología en países semi-periféricos como la Argentina y la forma de toma de decisiones en el ámbito de los reactores experimentales en el país. Por otro lado, este trabajo brindará, además de una recopilación histórica de las innovaciones en el reactor RA-6, una idea más acertada acerca de la dinámica y las características de los grupos que influenciaron las decisiones estratégicas durante su trayectoria. Esta información será de gran utilidad para conocer el conjunto de marcos tecnológicos que se desarrollan en torno al RA-6 y contribuirá a tomar mejores decisiones en un futuro sobre ese tipo de artefactos.

## Hipótesis de partida

Se contrastarán las siguientes hipótesis: “Existen diversos grupos sociales relevantes que han influenciado en mayor o menor medida las demandas del desarrollo científico y tecnológico en el RA-6<sup>7</sup>. La interrelación entre los grupos, las eventuales convergencias o desavenencias entre ellos, las relaciones de poder, y la preponderancia de unos sobre otros dentro de un marco tecnológico particular, en cada momento determinado, ha sido el motor de los cambios ocurridos en el RA-6 desde su creación”.

## Organización de la tesis

En el capítulo 1 se presenta una introducción al problema abordado. En el capítulo 2 se detalla el marco teórico que se usará para analizar la trayectoria socio-técnica del RA-6, comentando algunos instrumentos del enfoque teórico de la Construcción Social de la Tecnología (SCOT). En el capítulo 3 se resumen los métodos y técnicas empleados en la recolección, muestreo y análisis de los datos, justificando la periodización (en cuatro fases) elegida. Los capítulos 4, 5, 6, 7 corresponden a la presentación y análisis de cada una de las fases. El capítulo 4 se focaliza en el período 1983-1990 donde el reactor es inaugurado y comienza con sus primeros años de operación, en un marco político que pasa de la dictadura militar a la democracia, y con un objetivo básico: la enseñanza de la energía nuclear. El capítulo 5 aborda desde 1990 hasta el 2003, en una época de auge del neoliberalismo y las privatizaciones de empresas estatales durante los gobiernos de Menem, y continúa con el decaimiento político y económico durante la crisis del 2001 en el gobierno de De la Rúa. De la mano con una fuerte pérdida del status estratégico que tenía la temática nuclear en las etapas anteriores, en este período se abren en el reactor dos nuevas líneas de trabajo alternativas a las relacionadas con la generación de energía eléctrica y el estudio de los reactores en sí: las médicas y las ambientales. El capítulo 6 se centra en el cambio puntual más importante que sufre el RA-6 en su diseño: el paso de un núcleo con combustible enriquecido a uno de bajo enriquecimiento y el incremento de su potencia. El capítulo 7, desde el 2003 hasta la actualidad, retoma la trayectoria socio-técnica durante los gobiernos Kirchneristas, en el ambiente favorable de un Plan

---

<sup>7</sup> Entre ellos podrían ser relevantes a este trabajo: los directivos de la CNEA, algunos grupos de físicos y/o ingenieros aplicados, el grupo de empresarios asociados al INVAP S.E., la comunidad médica/biológica de Argentina, el CONICET, la comunidad internacional (sobre todo representada en el área nuclear por la OIEA), la comunidad de la ciudad de San Carlos de Bariloche, etc.

Nuclear reestructurado, y explica el auge de aplicaciones que vuelven al RA-6 una herramienta para muchos nuevos usuarios. Finalmente, en el capítulo 8, a partir del análisis socio-técnico realizado a lo largo de los capítulos anteriores, se esbozan algunas conclusiones sobre la influencia social en los cambios tecnológicos y de utilización que atravesó por el artefacto, y se discuten algunas reflexiones sobre las perspectivas teóricas utilizadas en la investigación.

**NOTA 1:** En el Anexo 2 se encuentra un micro-CV de los entrevistados y algunas personas relevantes al contexto, nombrados en esta tesis.

**NOTA 2:** En el Anexo 3 se encuentran las guías de preguntas utilizadas en las entrevistas.

**NOTA 3:** Se formuló un glosario para aclarar ciertos conceptos técnicos relevantes para el entendimiento general de los cambios tecnológicos explicados. Los conceptos aclarados están marcados por el superíndice “G” (de “GLOSARIO”) seguido del número correspondiente, para distinguirlo de las notas al pie. El glosario se encuentra ubicado en el ANEXO 5, al final de la tesis.

## 2. Marco teórico

El estudio del cambio tecnológico en sí o de las innovaciones que surgen relacionadas a un artefacto o una maquinaria en particular no es nuevo. Ya desde el siglo XIX surge la necesidad de explicar e interpretar la relación entre la sociedad y la tecnología, dando lugar a dos corrientes ideológicas determinísticas contrapuestas: el determinismo tecnológico, que comprende el cambio tecnológico como autónomo e independiente de los cambios sociales y adhiere a la idea que el cambio social está modulado por el cambio tecnológico, y el determinismo social que por el contrario, apoya la idea del cambio tecnológico como consecuencia del cambio social, considerando que la tecnología está conformada por fuerzas sociales diversas y heterogéneas (Aguilar, 2002). Estas teorías, sin embargo, son mono-causales y no aceptan la existencia de una interrelación entre ambas causalidades, ni incluyen otros factores conceptuales, históricos, económicos, institucionales o humanos.

Dentro del determinismo tecnológico pueden encontrarse a su vez varios enfoques. El enfoque instrumental identifica la tecnología con el conjunto de artefactos producto de la actividad o del conocimiento técnico (Bimber, 1996). Esta corriente describe detalladamente los artefactos y sus impactos sociales, y comprende la mejora o evolución de los mismos como separada y libre de las influencias sociales. Inclusive, algunos autores sostienen que las innovaciones y el desarrollo tecnológico son causa de profundas transformaciones sociales, como lo fueron los avances en la navegación y la invención de la brújula, para la colonización europea (Smith y Marx, 1996; White, 1973). Respecto a la evolución de los artefactos, esta corriente postula que el desarrollo tecnológico se da determinando su propio camino evolutivo en un marco de dictámenes propios y separados del ámbito social, en general impulsado por una búsqueda de eficiencia creciente, e interpretando a ésta como una fuerza objetiva, neutral e independiente de la intervención social (Aguilar, 2002). El enfoque cognitivo, por otro lado, es el que determina la tecnología como ciencia aplicada, y la comprende como el vastísimo campo de la investigación, diseño y planificación que usa métodos científicos con el fin de controlar cosas o procesos naturales, de diseñar artefactos o procesos, o de concebir operaciones de manera racional (Bunge, 1985). En este caso, la tecnología es ciencia aplicada a la resolución de problemas prácticos. El cambio tecnológico se interpreta entonces como el progreso del conocimiento y de sus aplicaciones (Quintanilla, 1998). Se apoya la idea que el cambio tecnológico se produce por incorporación de nuevos conocimientos, en forma lineal e independiente de los aspectos sociales, culturales, políticos, económicos o ambientales, sin

contemplar cuestiones relativas a la difusión de las innovaciones o a la transferencia de tecnología desde la I+D a la línea de producción (Aguilar, 2002).

Para analizar la historia del cambio tecnológico en el RA-6 desde un enfoque no determinista, esta tesis se valdrá de uno de los marcos teóricos más relevantes del campo de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología: la construcción social de la tecnología (SCOT), tal y como lo explican Bruun y Hukinnen (2003) en su artículo “Cruzando Fronteras: Un diálogo entre tres formas de comprender el cambio tecnológico”.

La SCOT, desarrollada en los 80' por Pinch y Bijker, construyó una teoría para analizar el cambio tecnológico. Esta teoría trata de explicar por qué la tecnología cambia como lo hace, apoyándose sobre la idea que el cambio está condicionado por procesos sociales más que por cualquier “lógica tecnológica” interna<sup>8</sup>, y da cuenta de por qué algunas tecnologías fracasan y otras son exitosas. Esta teoría propone que los propósitos que determinan el funcionamiento de un artefacto son determinados socialmente, por presión de grupos sociales relevantes influyentes con sus representaciones e intereses, y no en un espacio técnico asocial<sup>9</sup>. Desde este enfoque se plantea el concepto de “marco tecnológico”, que agrupa a todos los elementos que influyen en la interacción de los grupos sociales relevantes para atribuir un sentido o una interpretación de los artefactos técnicos. Bijker por ejemplo, incluye dentro de estos marcos como elementos “los objetivos, problemas clave, estrategias de resolución de problemas, requerimientos que deben cumplirse, teorías habituales, conocimiento tácito, procedimientos de testeo, y métodos y criterios de diseño” (Bijker, 1995: 123) y hace notar que la naturaleza del cambio tecnológico es distinta si intervienen uno, varios o ningún marco tecnológico dominante.

Por ello, durante la investigación realizada se tuvieron presente las cuatro preguntas fundamentales que introducen Bruun y Hukinnen en su artículo:

¿Qué cambia en el cambio tecnológico?

¿Qué es lo que conduce este cambio?

¿Qué es el proceso de cambio?

¿Qué delimita el cambio?

La primera pregunta articula los aspectos del sistema tecnológico que necesitan cambiar de un estado a otro. La segunda da luz sobre qué factores relevantes,

---

<sup>8</sup> Como por ejemplo, un criterio de maximización de la eficiencia.

<sup>9</sup> Un ejemplo es la transformación de la bicicleta con una rueda grande y una pequeña a la bicicleta con dos ruedas de igual tamaño, que respondía a necesidades de velocidad y seguridad de distintos grupos sociales relevantes.

humanos, sociales, tecnológicos (y otros factores posibles) conducen el cambio tecnológico. Estos actores pueden estar socialmente situados, interconectados en redes con otros actores y procesos. La tercera comprueba los mecanismos y las dinámicas que se llevan a cabo para dar lugar al cambio. La cuarta aclara las condiciones límite y los factores contextuales que guían los senderos del cambio tecnológico (Bruun y Hukinnen, 2003).

Además, como explica Callon (1998) en su artículo “El estudio de la tecnología como herramienta para el análisis sociológico” lo que se cuestiona desde la SCOT es “la pretensión de que es posible distinguir durante el proceso de innovación entre unas fases que son claramente técnicas o científicas y otras que están guiadas por una lógica económica o comercial”. Y agrega:

Por ejemplo, a menudo se cree que al comienzo de un proceso de innovación los problemas a resolver son básicamente técnicos, y que las consideraciones económicas, políticas, sociales o especialmente las culturales, entran en juego en una fase más tardía. Sin embargo, más y más estudios están mostrando que esta distinción nunca es tan nítida. Esto es particularmente cierto en el caso de las innovaciones radicales: ya desde el principio, las consideraciones técnicas, científicas, sociales, económicas o políticas están inextricablemente ligadas en un todo orgánico. Dicha heterogeneidad y complejidad, que todo el mundo reconoce al final del proceso, no son introducidas progresivamente a lo largo del camino. Están presentes desde el principio (Callon, 1998: 1).

Callon intenta mostrar que “los ingenieros que elaboran una nueva tecnología, así como aquellos que participan en una fase u otra de su diseño, desarrollo y difusión, constantemente construyen hipótesis y formas de argumentación que les empujan al campo del análisis sociológico” (Callon, 1998: 143). Y afirma que “lo quieran o no [los ingenieros] se transforman en sociólogos<sup>10</sup>” (Callon, 1998: 143). Ejemplos claros de estas afirmaciones son los siguientes dos casos en los que los promotores de una tecnología fallaron en su visualización del mundo y la relación de fuerzas operantes: el caso del coche eléctrico en Francia, en que los ingenieros imaginaron una sociedad post-industrial en donde el vehículo a propulsión eléctrica, menos contaminante, pero menos eficiente, más caro y menos lujoso, sería elegido sobre su par a motor de combustión (Callon, 1998). Y el caso de las vieiras de la bahía St. Brieuc, donde los biólogos imaginaron un mundo en el cual los pescadores, preocupados por la

---

<sup>10</sup> A los que él llama ingenieros-sociólogos.

reducción de la población de vieiras, adoptarían un sistema de cultivo artificial para las mismas (Callon, 1986).

Por otro lado, Pinch (1997) afirma que existen dos niveles de aplicación de la SCOT, un constructivismo moderado y un constructivismo radical. Para el primero, el autor aclara que puede compararse al estudio de la ciencia y la tecnología en referencia a sus componentes sociales, ya sean estos intereses políticos, grupos de consumidores, mercadotecnia, estereotipos de género o cualquier otro. La versión radical del constructivismo social demuestra la manera en que los procesos sociales influyen en el contenido mismo de la tecnología, por ejemplo, qué significa para una tecnología el considerar su operación.

Según Law (1987), debido a que los distintos grupos que intervienen en la construcción de una tecnología poseen diferentes intereses y recursos, tienden a poseer también diferentes perspectivas de la estructura apropiada de los artefactos. El autor acuerda con que la estabilización de los artefactos se explica por los intereses sociales que son imputados a los grupos implicados y a su capacidad diferencial para movilizar recursos en el curso del debate y la controversia.

Asimismo, Pinch (1997) agrega que el elemento clave de esta teoría es la noción de que los diferentes grupos sociales relevantes asociados con el desarrollo de un artefacto tecnológico compartían un “significado” del artefacto, el cual servía para explicar las trayectorias particulares que el desarrollo tomaba. De esta manera, Pinch y Bijker (1984) explican el caso del desarrollo de la bicicleta: las bicicletas con ruedas más altas se identificaron con el grupo social de los hombres jóvenes, para quienes este artefacto significaba una “máquina macho”, es decir un elemento para poder demostrar su habilidad y fuerza. En cambio, el concepto de flexibilidad interpretativa en esta teoría muestra que significados radicalmente diferentes podían ser identificados en relación a otros grupos (Pinch, 2008), por ejemplo, la gente mayor y las mujeres que identificaban las bicicletas de ruedas altas con una “máquina insegura”, y alentaron cambios en sentido de mejorar esta propiedad.

Un tercer elemento clave de la SCOT, además de la significación y la flexibilidad interpretativa, es la existencia de un mecanismo de cierre, mediante el cual desaparece la ambivalencia en la interpretación o la significación de un artefacto. Law (1987) explica que muchos artefactos son, en realidad, forjados a lo largo de controversias y alcanzan su forma final cuando un grupo social o un conjunto de grupos, imponen su solución a otras partes interesadas por un medio u otro. Así, por ejemplo, Pinch (1997) explica que la adopción de neumáticos con aire en la bicicleta fue explicada por el uso de los mismos en las carreras; las bicicletas con llantas de aire eran superiores en velocidad y ganaban todas las carreras, con lo que la solución

al problema de velocidad resolvió la controversia sobre sistemas que solucionaran el problema de vibraciones y dio un cierre a la misma, marcando una trayectoria socio-técnica determinada para este artefacto.

Dentro de las críticas a la SCOT, la más importante es quizás la de Russell (1986), quien objeta que la teoría enfatiza sobre el desarrollo temprano de una tecnología (su etapa de diseño), sin prestar atención suficiente a los usuarios de la misma en una etapa posterior. Respecto a esto, Pinch (1997) aclara que la noción de cierre de la SCOT es ciertamente algo rígida y que haría falta concebir un sentido de cómo y en qué circunstancias podría ser reabierto una tecnología, tomando en cuenta particularmente la manera en que es adoptada, usada y/o transformada por distintos grupos de usuarios. Esta cuestión se vuelve central en esta tesis, focalizada en los cambios que atravesó el reactor RA-6 a partir de sus diferentes usuarios. Otra de las críticas que hace Russel a la SCOT es que dice muy poco sobre la estructura social y las relaciones de poder dentro de las cuales se lleva a cabo el desarrollo tecnológico. Sin embargo, los autores se defienden señalando la importancia estratégica de reorientar los estudios hacia los artefactos y la sociedad a la que se encuentran entrelazados, sin que exista nada que en principio evite el estudio de las estructuras de poder y las relaciones sociales entre los grupos de interés (Pinch y Bijker, 1986).

Teniendo entonces la corriente SCOT como base, se tratará de aportar desde esta tesis datos que sirvan al análisis de la “trayectoria socio-técnica” (Thomas, 2008) del artefacto, reconstruyendo los marcos tecnológicos dominantes y los grupos sociales relevantes y sus interacciones como función causal de los cambios tecnológicos ocurridos. Para explicar finalmente la evolución del artefacto se apuntará, más que a una mera recopilación cronológica de la historia tecnológica del RA-6, a encontrar su trayectoria socio-técnica como un proceso de co-construcción de su historia tecnológica a partir de elementos heterogéneos que vienen de una arista social o humana (individuos, grupos, organizaciones, interrelaciones entre ellos, políticas, determinación de necesidades) y elementos que se podrían llamar no humanos (procesos, tecnologías, artefactos, relaciones problema-solución).

### 3. Método y técnicas empleados

#### Diseño de la investigación

Respecto del abordaje metodológico, la investigación se realizó desde un enfoque cualitativo con un diseño flexible, que implicó la identificación de propósitos y actores a través de la búsqueda y análisis de documentos (libros, entrevistas, recortes periodísticos u obtenidos de Internet, informes técnicos del reactor, etc.)<sup>11</sup>, así como también la realización de 10 entrevistas a integrantes de los grupos sociales relevantes que construyeron, operaron, dirigieron y usaron el RA-6 en estos años.

#### Entrevistas

Se utilizaron en un primer momento entrevistas cuasi-estructuradas, donde se tuvo una guía de preguntas abiertas que orientó la charla, pero dando flexibilidad para encontrar nuevos tópicos emergentes, al estilo de una entrevista focalizada (Scribano, 2007). Se entrevistaron expertos como ingenieros, físicos y químicos<sup>12</sup>, ya que otras experiencias (Hernández Sampieri y col., 2007) indican que la variedad de entrevistados permite reconstruir mejor los cambios tecnológicos ocurridos en torno a un artefacto. También se intentó que el muestreo contenga entrevistas a personas de varios niveles jerárquicos y focalizadas en los distintos usos del reactor, con lo que se aseguró la máxima variación en las respuestas para distinguir distintas perspectivas que ayuden a comprender la complejidad del fenómeno del cambio socio-técnico (Hernández Sampieri y col., 2007). Se buscó que los diez entrevistados relaten su propia visión de la historia del reactor ya que, siguiendo a Blumber, se requiere de una ida y vuelta entre los datos y su análisis y la teorización, que modifica los criterios sobre los datos a medida que la información recopilada da una mayor comprensión sobre el tema (Blumber, 1982 en Mendizábal, 2006).

Así mismo, con respecto al muestreo también se usó el método bola de nieve, donde se preguntó a los entrevistados si pueden recomendar más fuentes que amplíen la información. Se eligió el diseño flexible frente al estructurado (Mendizábal, 2006), ya que el objeto de estudio está construido por un abordaje socio-técnico que plantea un enfoque multi-disciplinario. Se esperaba por lo tanto el surgimiento de novedades, donde el rumbo del trabajo puede ensancharse y desviarse, tomando

---

<sup>11</sup> Se dispuso del archivo histórico del Centro Atómico Bariloche en la biblioteca Leo Falicov.

<sup>12</sup> La lista de entrevistados se encuentra en el Anexo 1.

diversas direcciones en base a las dimensiones incluidas (cultural, políticas, económica, científica, etc.) a medida que avanzara la investigación. Este diseño brindó la flexibilidad necesaria a la hora de recolectar datos tanto a partir de documentos como de las entrevistas (Marshal y Rossman, 1999 en Mendizábal, 2006).

### **Bitácoras de operación del RA-6**

Por otro lado, se obtuvo también permiso para utilizar la biblioteca técnica del RA-6, con acceso a las carpetas de solicitudes de operación y a las bitácoras de operación, donde están detalladas (sobre papel) día por día las actividades solicitadas o llevadas a cabo en el reactor, respectivamente.

Cada vez que un usuario solicita la operación del RA-6 para un fin determinado, debe llenar una solicitud, describiendo la experiencia que desea realizar y las condiciones de operación que solicita. Estas solicitudes son archivadas en la carpeta de solicitudes de operación y pueden ser aprobadas o rechazadas por el jefe de reactor. Cada día que se trabaja en la instalación en una solicitud aprobada, se llena una bitácora de operación que relata qué trabajo se realiza, quién lo solicita, quién lo autoriza, quién lo realiza, y las condiciones y parámetros más relevantes del reactor y sus sistemas asociados.

La cantidad de operaciones por año es variable, dependiendo entre otros de los requerimientos y la disponibilidad de la instalación; en general se cuenta con unas 100 a 300<sup>13</sup> solicitudes por año. Estos datos permitieron conocer tanto cualitativa como cuantitativamente cómo fue variando el uso del reactor, qué grupos tuvieron más o menos acceso, a qué actividades se les dedicó trabajo, cuánto tiempo se invirtió en cada actividad, etc.

Se extrajeron los datos diarios de estos archivos correspondientes a los años mostrados en el ANEXO 2. Se muestrearon más años de los primeros períodos para compensar la menor cantidad de testimonios orales, que fueron más abundantes sobre las últimas etapas.

Se registró en planillas de cálculo tipo EXCEL (Figura 1), tomando como base una planilla de análisis diseñada y provista por el jefe de operaciones de RA-6. De la variedad de datos posibles de obtener se extrajo y registró día a día la fecha de la experiencia, el objetivo de la operación, la persona y/o el grupo solicitante, y la categoría de las tareas realizadas. Para caracterizar estos datos, se utilizaron filtros según los siguientes criterios:

---

<sup>13</sup> Tener en cuenta que existen solicitudes que pueden realizarse en forma simultánea.

El grupo de pertenencia de la persona solicitante:

ARN: Autoridad Regulatoria Nuclear

DIFRA: División Física de Reactores Avanzados

DOMI: Docencia, Operación, Mantenimiento e Investigación del reactor RA-6

IB: Instituto Balseiro (cátedras, cursos, visitas)

INVAP: INVAP S.E.

LAAN: Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica

OG: Otros Grupos (por ejemplo, pedidos de otros centros atómicos)

RP: Radioprotección del reactor RA-6

y la categoría de la tarea realizada:

APL: Aplicaciones

DES: Desarrollos

DYC: Docencia y Capacitaciones

INS: Inspecciones

Se tomaron las siguientes pautas de análisis:

- Un día de uso, independientemente de las horas de uso o de si el reactor se requirió a potencia cero o se encontraba funcionando, se contabilizó como una entrada para la categoría y el grupo solicitante.
- El caso de visitas con demostración del reactor, se contabilizó como DYC<sup>14</sup>.
- En caso de que un grupo externo, IB o INVAP S.E. solicitara algún trabajo que finalmente lo llevó a cabo personal de DIFRA, LAAN o DOMI, éste se contabilizó para el grupo que solicitó originalmente la experiencia.
- Para mostrar los resultados se promediaron las contabilizaciones de los años contenidos en cada período de interés.
- Las experiencias solicitadas, pero luego canceladas, no se contabilizaron.
- Cuando hubo dudas sobre si se estaba categorizando correctamente, éstas se discutieron con el jefe de operaciones del RA-6.

---

<sup>14</sup> Las visitas que no requirieron el reactor en operación NO se encuentran contabilizadas.

Microsoft Excel - Operacion RA6 1983

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help Adobe PDF

Type a question for help

Arial 10 B I U

P35

1	A	B	C	E	H	I	J	K	M	N	O	P	Q	
2	INFORME DE OPERACION Y USOS DEL REACTOR RA6 - AÑO 1983													
3	EXPER.	FECHA INIC	FECHA FIN	Hs. USO	POT(KW)	USOS	SOLICITANTE	CAT	SOLICITANTE			%	%	
4	844283	18/02/1983	18/03/1983	60	400	Planta en marcha aproximación a crítica para los ensayos de potencia de	IB	IB				LAAN	17	26
5												OG	2	3
6												IB	5	8
7												DIFRA	0	0
8												DOMI	33	51
9												RPCAB	8	12
10												INVAP	0	0
11												ARN	0	0
12												suma	65	100
13														
14												DYC	5	8
15												APL	24	37
16												DES	36	55
17												INSP	0	0
18												suma	65	100
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														

Figura 1: Ejemplo de planilla de cálculo con los datos extraídos de las hojas de operación del RA-6. Las columnas corresponden a: Número de Experiencia (EXPER.), Fecha de Inicio (FECHA INIC), Fecha de Finalización (FECHA FIN), Horas de Uso del Reactor (Hs. USO), Potencia en kilowatts (POT kW), Usos (USOS) Persona Solicitante (SOLICITANTE), Categoría (CAT), Grupo al que pertenece la persona solicitante (SOLICITANTE), A la derecha, en fondo gris, se observa el filtro aplicado para separar los usos por solicitante y por categoría. Los datos transcriptos se encuentran sombreados intencionalmente para respetar la confidencialidad.

## **Tesinas de grado, maestría y especializaciones**

Los trabajos de finalización de carreras o postgrados de ingeniería del IB fueron consultados en la biblioteca Leo Falicov, registrando y analizando títulos, fechas y directores. Son protagonistas de los trabajos académicos organizados en torno al RA-6.

## **Periodización de la trayectoria socio-técnica del RA-6**

La historia del RA-6, vista desde los cambios tecnológicos que atravesó el artefacto, se dividió en esta tesis en cuatro fases fundamentales:

Fase 1: Orígenes nucleares: desde su inauguración en 1982 hasta 1990.

Fase 2: Nuevos horizontes: abarcando la década de los 90' hasta el 2002.

Fase 3: El Cambio de núcleo: abarcando las tareas de rediseño y reconstrucción del RA-6 para bajar el enriquecimiento del núcleo a un porcentaje menor de  $^{235}\text{U}$ . Esta etapa se da a partir del 2005 y concluye en el 2009 con la puesta en marcha.

Fase 4: Multiplicidad de aplicaciones: abarcando el período más reciente (2003-2018).

Es menester aclarar que esta periodización teórica, en realidad es flexible en el tiempo, y que los aspectos centrales de las cuatro fases se solapan más allá de las fechas de separación aproximadas elegidas para analizar el caso. Sólo con estos fines de estudio se acotó cada una al período histórico de nacimiento de la fase, y se colocó el cierre alrededor del momento en que se percibe que nace la fase siguiente, en la que en los grupos sociales relevantes y en el artefacto se producen grandes cambios. En particular, como se verá más adelante, la Fase 3 se solapa enteramente con la Fase 4, pero tiene un origen y objetivos plenamente distintivos.

### ***Fase 1: Orígenes Nucleares (1982-1990)***

Este período abarca el nacimiento conceptual del RA-6 a finales de la década del 70', su construcción, inauguración en 1982 y operación durante los primeros años. Como esta tesis está enfocada en los cambios tecnológicos que atravesó el artefacto, una vez que ésta se encuentra en funcionamiento, se ha analizado la trayectoria socio-

técnica recién a partir de 1982, luego de su inauguración<sup>15</sup>. En esta fase, el desarrollo nuclear argentino y mundial estaban en auge, y era de importancia vital para el país poseer un reactor escuela, donde se pudieran capacitar los nuevos ingenieros nucleares y técnicos que debían construir y operar los nuevos reactores, y manejar el ciclo de combustible completo. La idea del RA-6 nace entonces en sintonía con la creación de la carrera de Ingeniería Nuclear en el Instituto Balseiro (IB), lo que muestra el fuerte matiz educativo de sus comienzos. Vale aclarar que en esta etapa ya se diseñó un reactor flexible, que pudiera adaptarse como banco de prueba para otras necesidades, aunque siempre en el marco de la construcción u operación de reactores nucleares<sup>16</sup>. Asimismo, las aplicaciones que se operaban con el RA-6 estaban dirigidas a conocer la instalación y dar soporte a investigación en el campo de materiales (sobre todo metalurgia nuclear) y física nuclear.

Los actores principales de esta etapa son sin duda el plantel estable del RA-6 (de operación, mantenimiento y radioprotección) que está conociendo su instalación, y los docentes y alumnos (del IB o externos) que utilizan la nueva herramienta para fines educativos.

Si bien los objetivos de docencia y capacitación, y el uso como banco de pruebas se extiende hasta el día de hoy, el cierre de esta etapa se consideró contemporáneo al cambio de políticas (económicas y nucleares) entre los gobiernos de Raúl Alfonsín y Carlos Menem.

## ***Fase 2: Nuevos Horizontes (1991-2002)***

En esta fase el reactor y su plantel ya han alcanzado un conocimiento maduro de la instalación y su operación. Durante el gobierno de Carlos Menem, bajo un esquema de privatizaciones y decaimiento del interés en lo nuclear, surge una búsqueda de nuevas opciones (tanto de tareas “mejor vistas” como de posibilidades de financiamiento), que se caracterizan por el desarrollo de temáticas medioambientales y de salud.

Los dos principales grupos sociales relevantes de esta etapa son, por un lado, el grupo del Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN) que inicia una investigación en temas de índole ecológica (ecología, paleo-ecología, vulcanismo,

---

<sup>15</sup> Se incluye un análisis histórico, institucional, político y económico que abarca años anteriores (sobre todo las políticas durante el gobierno militar) para poder enmarcar esta etapa.

<sup>16</sup> A mediados de los 80', por ejemplo, se modificó parte del diseño del RA-6 para probar configuraciones que se usarían en el reactor Argelino, vendido y construido por INVAP. Asimismo, en el 88' se realizó un programa de entrenamiento en manejo y mantenimiento destinado a los ingenieros argelinos, que había sido ofrecido como parte de la licitación.

contaminación ambiental, etc.) tomando un camino académico para incentivar ellos mismos el uso del laboratorio, y brindando además servicios de análisis a otros laboratorios del Centro Atómico Bariloche y a terceros (análisis de composición y materiales, etc.). Por el otro lado, se distingue el grupo de desarrollo de la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA) que, en el marco de CNEA y en colaboración con otros grupos interdisciplinarios, se dispone a planificar, desarrollar y construir, la primera aplicación en el país de un reactor nuclear como una herramienta médica<sup>17</sup>.

El cierre de esta etapa es difuso, ya que ambos grupos continúan hasta hoy día con las actividades mencionadas, sin embargo, para claridad se decidió ubicarlo antes del evento de cambio de núcleo y subida de potencia, ya que esta etapa también coincide con un cambio en las políticas nucleares.

### ***Fase 3: El Cambio de Núcleo (2005-2009)***

La etapa de cambio de núcleo a Uranio de bajo enriquecimiento y subida de potencia a 1MW se da entre el 2007 y el 2009, pero se consideran algunos años antes, para integrar en este período los trabajos previos y la organización institucional. Aquí se arma un grupo especial con personal de otras gerencias y de RA-6 para gestionar y llevar a cabo el proyecto. Durante el año y medio que el reactor está parado, este grupo se vuelve el más activo y toma las decisiones que afectarán luego a los demás usos. El cierre de esta etapa se coloca al momento de la nueva puesta en marcha del reactor, en donde todos los demás actores vuelven a tener una interacción con el RA-6

### ***Fase 4: Multiplicidad de Aplicaciones (2003-2018)***

Hacia el año 2000 y simultáneamente al trabajo de cambio de núcleo, se decidió incrementar la potencia del reactor a 3 MW, con el objeto de mejorar las prestaciones académicas, científicas y de medicina nuclear que se venían realizando hasta la fecha en el reactor. Actualmente (2018) se llegó a incrementar la potencia a 1MW, lo que permitió incorporar nuevos usos, como la técnica de análisis de materiales por neutrografía, la difracción de neutrones y la técnica de análisis por gammas instantáneos, antes no permitidos por las características operativas del primer diseño del RA-6. Se considera que esta etapa está aún abierta en la actualidad.

---

<sup>17</sup> En 2002 se acondiciona una de las facilidades de irradiación del reactor como "quirófano radiológico" para ser usado en el novedoso tratamiento oncológico experimental llamado BNCT<sup>G6</sup>. Modificado de <http://www.cab.cnea.gov.ar/index.php/oferta-tecnologica/equipamiento/reactor-RA-6>.

La caracterización de cada fase se organiza de la siguiente forma. Una primera parte, en la cual se resumen brevemente las características económicas, sociales y políticas del período en cuestión con un detalle de las políticas o planes nucleares, seguida de una explicación de los objetivos, un resumen de las características de la fase y un detalle de los cambios tecnológicos o de utilización. En una segunda parte se analizan los marcos tecnológicos presentes, los grupos sociales relevantes que actúan en esta etapa, los significados e interpretaciones que estos grupos atribuyen al artefacto y sus prácticas para intentar incidir en el mismo. Finalmente, se expone un primer análisis que servirá para construir las conclusiones finales de la tesis.

#### 4. Fase 1 - Origen Nuclear (1982-1990)

##### Cambios tecnológicos y/o de utilización en la fase 1

En esta etapa se inaugura el reactor. El plantel del RA-6 realiza tareas operativas para conocer su instalación. Aparece el reactor con una función docente dentro de la carrera de ingeniería nuclear del IB. INVAP S.E. lo requiere para entrenar y capacitar a planteles extranjeros. El LAAN, como usuario principal, se dedica a poner a punto la técnica de la activación neutrónica e investigar materiales de uso nuclear y constantes físicas. El grupo de desarrollo diseña un método de espectroscopía neutrónica, que luego se exporta a Chile.

##### Características históricas, económicas, sociales y políticas

Cuando el affaire Richter<sup>G1</sup> encontró su fin en 1952, gracias a las investigaciones de un grupo de físicos (entre ellos José A. Balseiro), el interés por fomentar la I+D nacional en temas de tecnología nuclear ya estaba asentado en la Argentina, y San Carlos de Bariloche en la provincia de Río Negro se perfilaba como un lugar estratégico para desarrollarla. Así nació el Centro Atómico Bariloche (CAB) y, de la necesidad de formar y capacitar los recursos humanos necesarios, el Instituto de Física de Bariloche (IFB<sup>G30</sup>) que luego pasó a llamarse Instituto Balseiro (IB). El IB, caracterizado desde un comienzo por la combinación de docencia e investigación, sería la cuna ideológica del “reactor escuela” de diseño flexible RA-6.

El proyecto de crear un reactor nuclear experimental en el CAB se gestó durante el gobierno militar, en el período 76-77', y del 78' al 82' se dio la construcción y puesta en marcha del artefacto.

La década del 70', como marco precursor al proyecto del RA-6, presentó una política impulsora del desarrollo nuclear nacional, en constante búsqueda de la autonomía energética (Hurtado, 2014). La CNEA comenzó este tiempo impulsando la construcción tanto de facilidades de irradiación y de gestión de residuos como de pequeños reactores de investigación (RA-0 y RA-4) relacionados a universidades nacionales, y continuó con la construcción de plantas piloto para la fabricación de elementos combustibles, la concentración de Uranio, el reprocesamiento de residuos y la producción de esponjas de zirconio, agua pesada y <sup>60</sup>Co, entre otros. Mientras tanto, comprada a empresas extranjeras, se estaba construyendo e inaugurando Atucha I, y se firmaban los contratos para construir las centrales de Embalse (con una empresa de Canadá) y Atucha II (con una empresa alemana), y la construcción del acelerador de iones pesados (TANDAR) (Hurtado de Mendoza, 2014). En este contexto, y

observando la necesidad de ingenieros y técnicos idóneos en el tema, en 1978 se crea la carrera de Ingeniería Nuclear en el IB, junto con el inicio de las obras para el RA-6.



Figura 2: Obra del edificio del reactor nuclear experimental RA-6 en el predio del Centro Atómico Bariloche. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández.

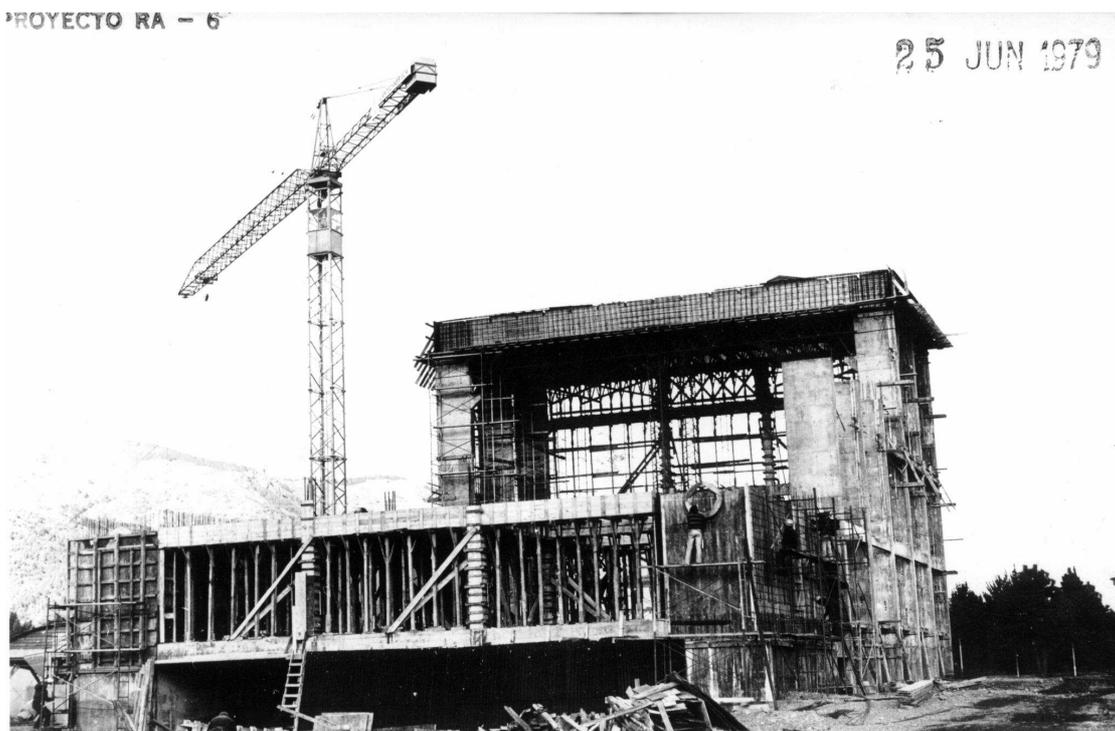


Figura 3: Detalle del hall del reactor nuclear experimental RA-6, en donde se alojará el reactor en sí. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández.



Figura 4: Introducción al hall del reactor del tanque de acero inoxidable que oficiará de pileta del reactor nuclear experimental RA-6. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández.

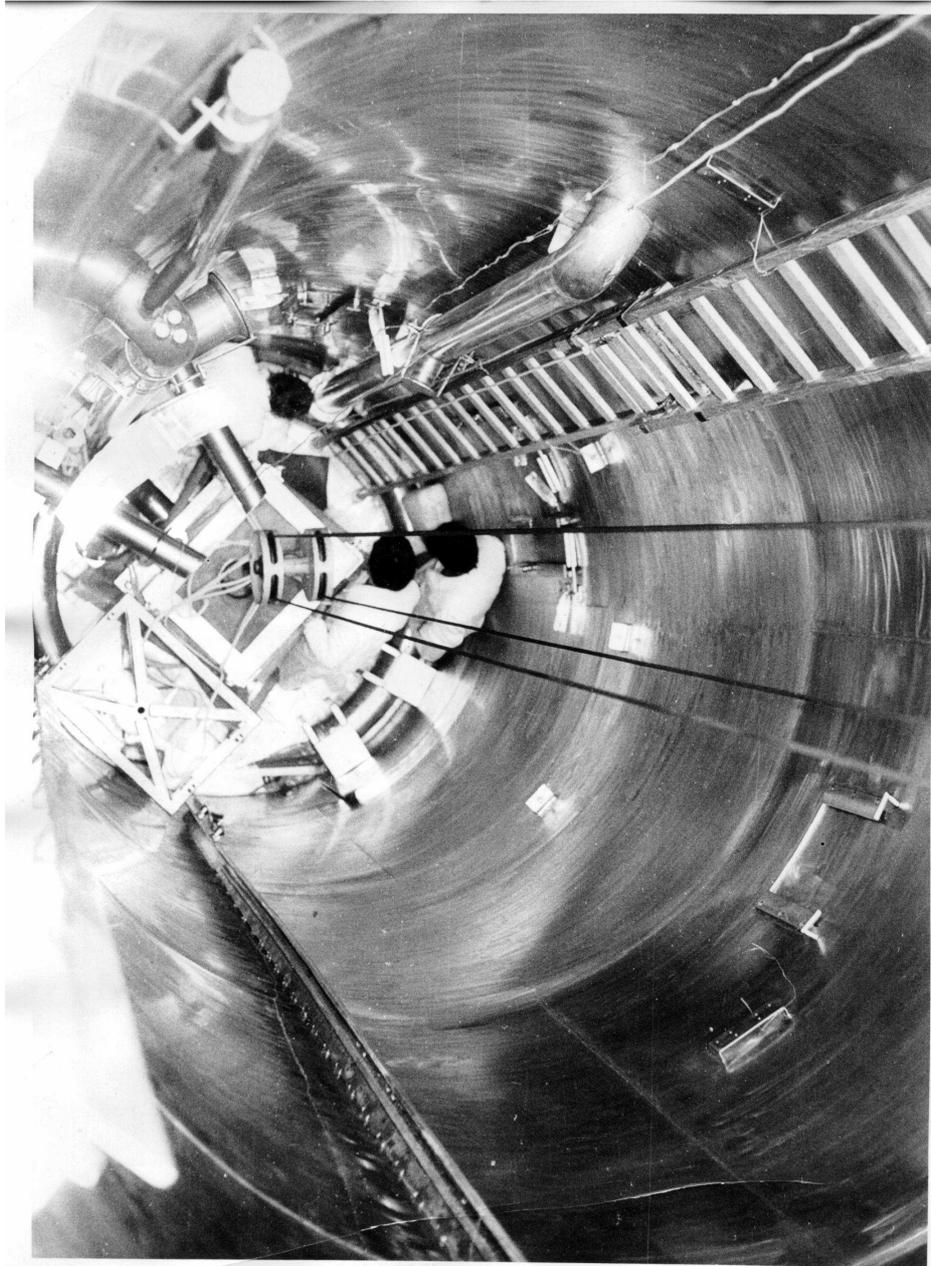


Figura 5: Interior de la pileta del reactor nuclear experimental RA-6, donde se colocará el núcleo de Uranio. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández.

En el contexto nacional, la década del 80' incluye la creación de varias empresas de base tecnológica como soporte a la industria nuclear (ENACE S.A., CONUAR S.A., ALTEC S.E., FAESA, CORATEC y ENSI S.E.). En esta década comienzan las obras de Atucha II (encargada a Siemens, Alemania) y de la planta de agua pesada en arroyito (encargada a Sulzer Brothers, Suiza); se inicia la explotación de Uranio en Sierra Pintada en la provincia de Mendoza y Los Gigantes en la provincia de Córdoba; se pone en operación una planta de purificación y concentración de Uranio para producción del  $UO_2$ , la fábrica de aleaciones especiales, la planta de fabricación de elementos combustibles y la central nuclear Embalse. En el marco internacional, se

inauguran también los reactores de investigación vendidos a Perú (construido por CNEA) y a Argelia (construido por INVAP S.E.). En ese marco, el RA-6 alcanza criticidad  $G^{15}$  en 1981, y es inaugurado en octubre de ese año. El TANDAR, por su lado, es inaugurado en 1986 (Hurtado, 2014).

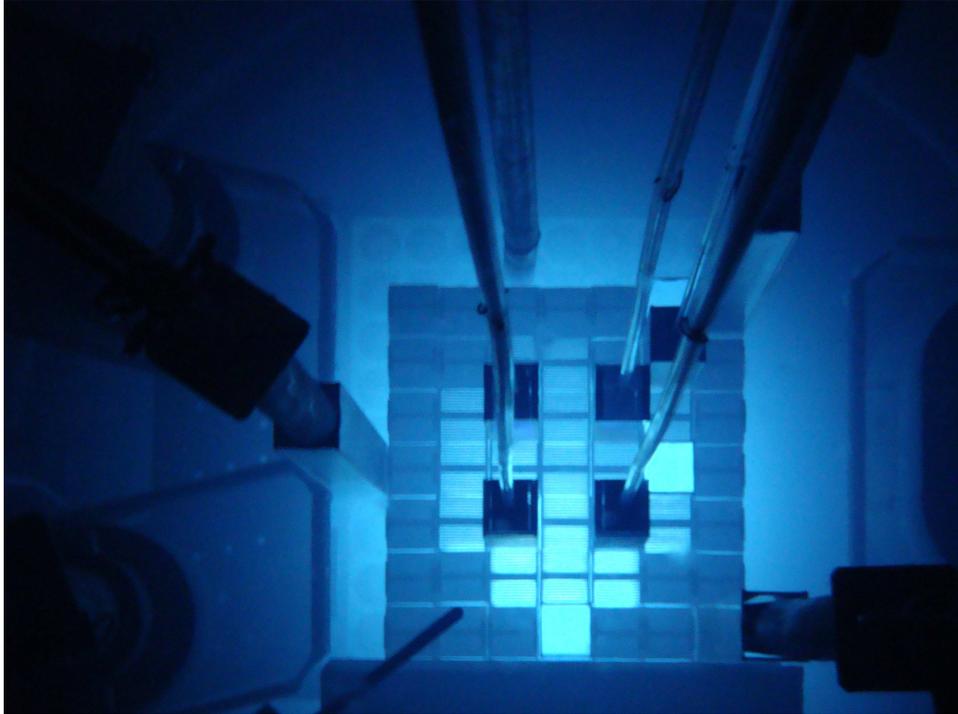


Figura 6: Núcleo del RA-6 en funcionamiento, mostrando la característica luz azul del efecto Cherenkov. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández.



Figura 7: Inauguración del reactor nuclear experimental RA-6, el día 26 de Octubre de 1982. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández.



Figura 8: Reactor nuclear experimental RA-6. Gentileza Ing. Carlos Fernández.

## El Plan Nuclear

Respecto de las políticas públicas presentes, pueden discernirse varios escenarios político-económicos que marcaron fuertemente el desarrollo de los acontecimientos en la trayectoria socio-técnica del RA-6 durante la fase 1. En un principio, entre el 76 y el 83, bajo un gobierno de régimen militar y con Castro Madero a la cabeza de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), de tendencias desarrollistas, egresado de la Escuela Naval y Doctorado en Física en el Instituto

Balseiro (IB), se destaca la continuación de una línea tecno-política que ya venía siendo implementada desde hacía dos décadas: el apoyo total al desarrollo de la capacidad nuclear autónoma del país, con el manejo de todas las etapas del ciclo de combustible, articulando la industria nacional, y con fines totalmente pacíficos. Testigo de ello son la construcción de dos centrales nucleares (Atucha I y Embalse), el plan de generar las plantas industriales de apoyo necesarias para dominar el ciclo de combustible completo (agua pesada, enriquecimiento, combustibles, reprocesamiento, repositorio), la búsqueda del liderazgo argentino en el mercado latinoamericano (con la venta de un reactor de investigación de 10MW a Perú), la oposición a la política exterior estadounidense (que intentaba cortar el desarrollo nuclear en la región con la excusa de evitar la proliferación de armamento nuclear) y la unión con Brasil en esta lucha. En ese contexto, poseer un reactor de investigación, sencillo, versátil y con componentes de una central de potencia, donde los estudiantes de la carrera de Ingeniería Nuclear del IB pudieran prepararse y entrenarse para su prometedor futuro profesional en el país, suena casi mandatorio.



Figura 9: Presidente Dr. Raúl Alfonsín visitando la consola de operación del reactor nuclear experimental RA-6. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández.

Con la llegada de la democracia, la mala situación económica heredada de la dictadura, la hiperinflación, un gas natural que se volvía cada vez más competitivo, el accidente de Chernobyl (Ucrania), una sociedad que reclamaba participación en las decisiones políticas y un ambiente internacional que clamaba por la desmantelación del Plan Nuclear Argentino, el panorama no era el más óptimo (Barbarán, 2015). Ese

contexto de desmilitarización y recorte presupuestario<sup>18</sup>, hacía mandatario una revisión total del Plan Nuclear. Castro Madero renuncia a la presidencia de CNEA y asume el primer presidente civil de la institución, Alberto Constantini. Alfonsín crea una comisión para conocer y auditar las actividades de la institución y en el ámbito científico-tecnológico se priorizan las áreas de biotecnología, medicina, electrónica e informática, en detrimento de las áreas más relacionadas a los sectores estratégicos de las fuerzas armadas, como la nuclear y la espacial (Rodríguez, 2015). Así mismo, surge un movimiento interno en contra de la localización de un repositorio nuclear en Gastre (Provincia de Chubut), con tanta fuerza, que logra parar este emprendimiento a fines de los 80'. En cuanto a la política nuclear exterior, Alfonsín preservó la línea confrontativa del gobierno anterior. En este sentido, siguió sin firmar el tratado de no proliferación (TNP)<sup>19</sup> y tampoco adhirió al tratado de Tlatelolco<sup>20</sup>, por considerarlos de carácter discriminatorio y atentatorio contra la independencia nuclear; esto, fue un tema de conflicto con el gobierno de Reagan en EE.UU.. Sin embargo, y desprendiéndose del estigma de la dictadura, accedió a realizar concesiones con los países vecinos sobre el tema de salvaguardias bilaterales e invitó al presidente de Brasil a conocer las instalaciones de Pilcaniyeu (a 50km de San Carlos de Bariloche), con el fin de tranquilizar los temores internacionales (Hurtado de Mendoza, 2014).

Durante este período se inauguraron la central nuclear de Embalse en Córdoba y el acelerador TANDAR en el Centro Atómico Constituyentes (Buenos Aires). Sin embargo, el resto de los proyectos fueron afectados por el progresivo recorte de presupuesto, que ralentizaba todas las demás obras. La constante emigración de científicos luego de 1985, el recorte presupuestario y la paralización de la mayoría de las obras en el ámbito nuclear, hicieron que en el plano académico mermara notablemente la cantidad de egresados en materia nuclear (Rodríguez, 2015).

## Objetivos

En la primera fase del RA-6 el objetivo principal fue conocer la instalación y utilizarla en su función docente, respondiendo al marco tecnológico (MT) que se denominará "Docencia". Por otro lado, se abre el uso de aplicaciones en investigación, como las que se realizan con la técnica de Análisis por Activación Neutrónica (AAN).

---

<sup>18</sup> El presupuesto programado por el Plan Nuclear se redujo a un tercio (ver Rodríguez, 2015).

<sup>19</sup> El TNP es un tratado multinacional abierto a la firma en 1969 que restringe la posesión de armas nucleares. La controversia surge porque permite que 5 países sí las posean (EE.UU., Reino Unido, Francia, Rusia y China).

<sup>20</sup> El tratado de Tlatelolco (1967) establece la desnuclearización de América Latina y el Caribe.

Estas investigaciones en un principio tienen un fuerte componente de interés nuclear y forman el MT "Investigación".

### Características principales

En esta etapa se inaugura el RA-6 y los primeros experimentos son desarrollos tendientes a conocer, caracterizar y poner a punto la instalación, los cuales ocupan más de un 50% de las horas de uso (Figura 11). Personal de operación y radioprotección del RA-6 se encarga de determinar parámetros neutrónicos, radiológicos, termohidráulicos y mecánicos de la instalación<sup>21</sup>, y desde el Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN) se irradian diversas hojuelas<sup>G29</sup> para caracterizar la distribución de flujo neutrónico<sup>G25</sup> en las distintas posiciones del núcleo<sup>22</sup>. Éstos son los dos grupos que se reparten mayormente la utilización del equipo. Respecto al uso del reactor en aplicaciones establecidas, cerca de un 25% del tiempo de operación, el LAAN analiza componentes minoritarios en materiales de tipo metálico con algún interés nuclear (como aleaciones de Zirconio)<sup>23</sup>, se hacen algunas neutrografías<sup>24</sup> (rudimentarias) y un grupo de vibraciones realiza ciertos ensayos sobre los componentes mecánicos del reactor<sup>25</sup>. El 8% restante lo ocupan cursos del Instituto Balseiro (IB) con las prácticas sobre reactores (por ejemplo caída y calibración de barras de control<sup>G4, 26</sup> y mediciones de coeficientes de reactividad<sup>G9</sup>).

---

<sup>21</sup> Bitácora de Operación 1: 1983 (Ejemplos N°070583, N° 220683)

<sup>22</sup> Bitácora de Operación 1: 1983 (Ejemplo N°100583)

<sup>23</sup> Bitácora de Operación 1: 1983 (Ejemplos N° 080583, N° 421083)

<sup>24</sup> Bitácora de Operación 1: 1983 (Ejemplos N°180683, N°130583)

<sup>25</sup> Bitácora de Operación 1: 1983 (Ejemplos N° 200683, N° 160683), Bitácora de Operación 2: 1986 (Ejemplo N°551186)

<sup>26</sup> Bitácora de Operación 1: 1983 (Ejemplos N°90583, N°30383), Bitácora de Operación 2: 1986 (Ejemplo N°471086)



Figura 10: Primer plantel de operaciones del reactor nuclear experimental RA-6. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández.

Con la llegada de la democracia el uso fundamental (~40% de las horas de uso) es para docencia y capacitación (tanto de alumnos de IB como de personal del RA-6). Otro ~40% se usa para desarrollo, y de ello gran parte de las horas las utiliza la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA) para diseñar un método con el cuál medir la energía de los neutrones (Figura 12). Más tarde este grupo puede hacer el traspaso de tecnología a un reactor chileno. La empresa INVAP S.E. aparece como usuario, en una demostración realizada a una visita extranjera. El LAAN sigue analizando muestras de materiales, metales, carbonatos, y algunas aleaciones de fabricaciones militares.

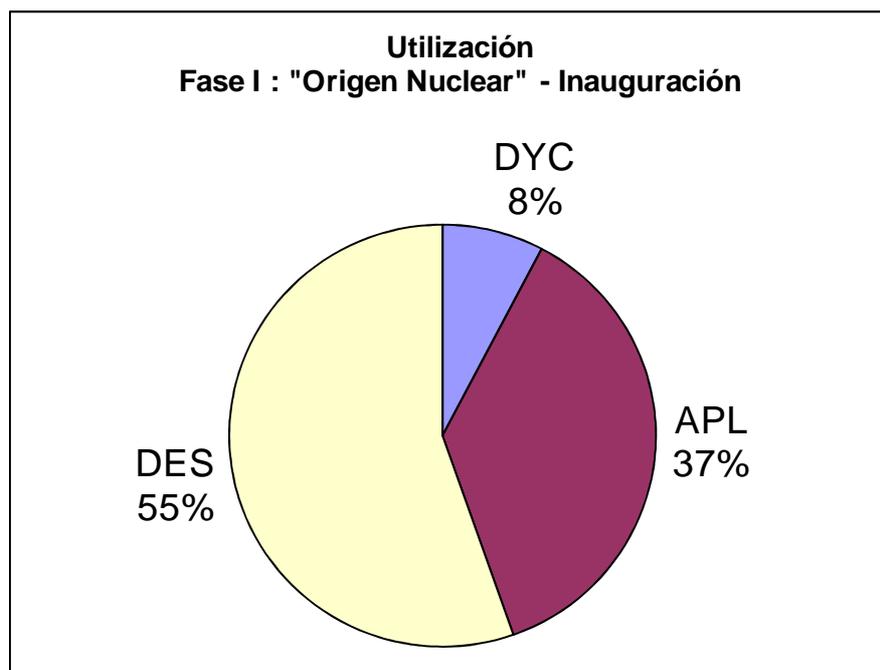
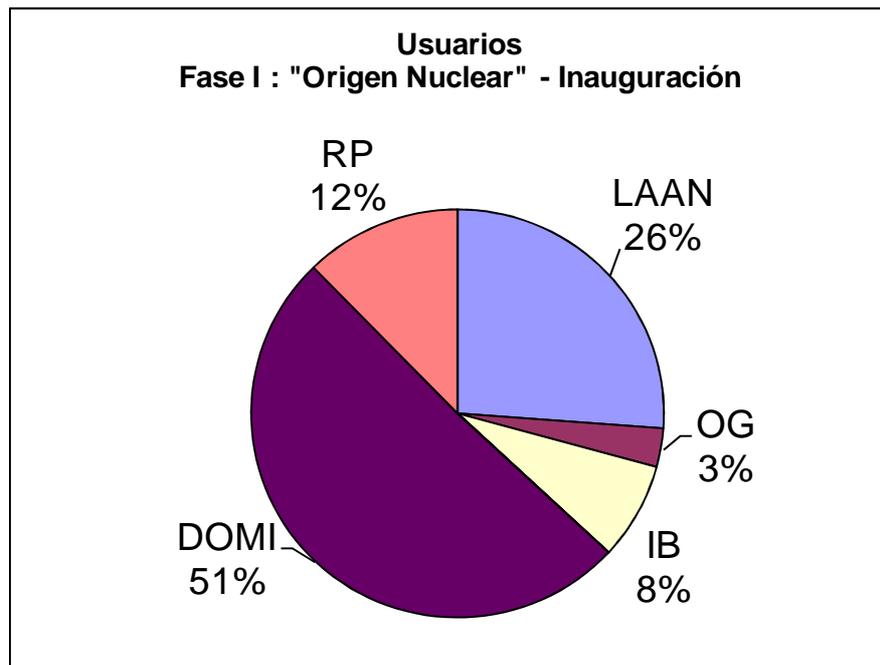


Figura 11: Operación del RA-6 durante el año 1983, analizada por el grupo de pertenencia de los usuarios (arriba) y por la categoría de la tarea realizada (abajo). DOMI: Docencia, Operación y Mantenimiento de la Instalación, IB: Instituto Balseiro, LAAN: Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica, OG: Otros Grupos, RP: Radioprotección. DYC: Docencia y Capacitación, APL: Aplicaciones, DES: Desarrollos.

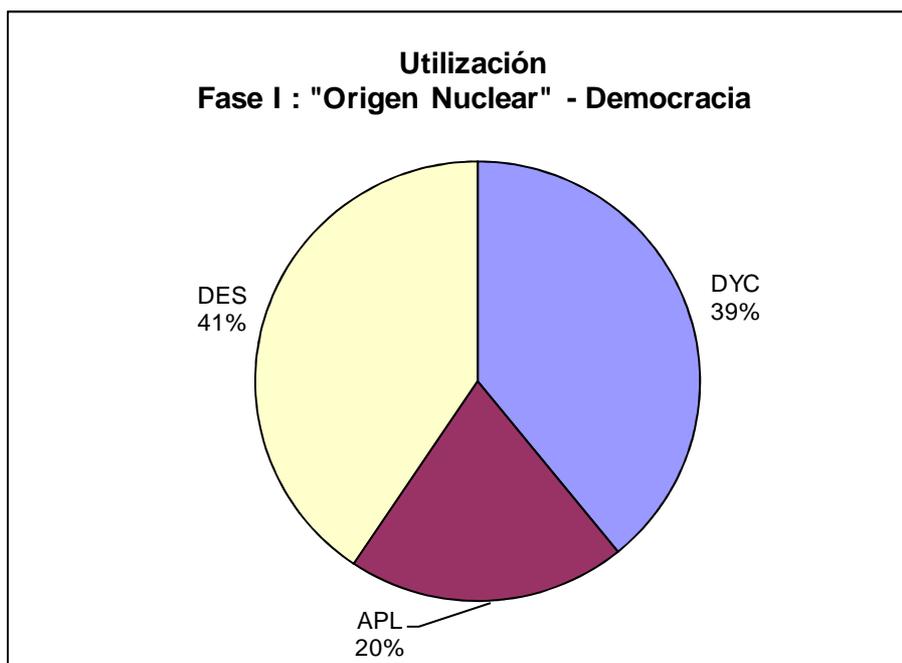
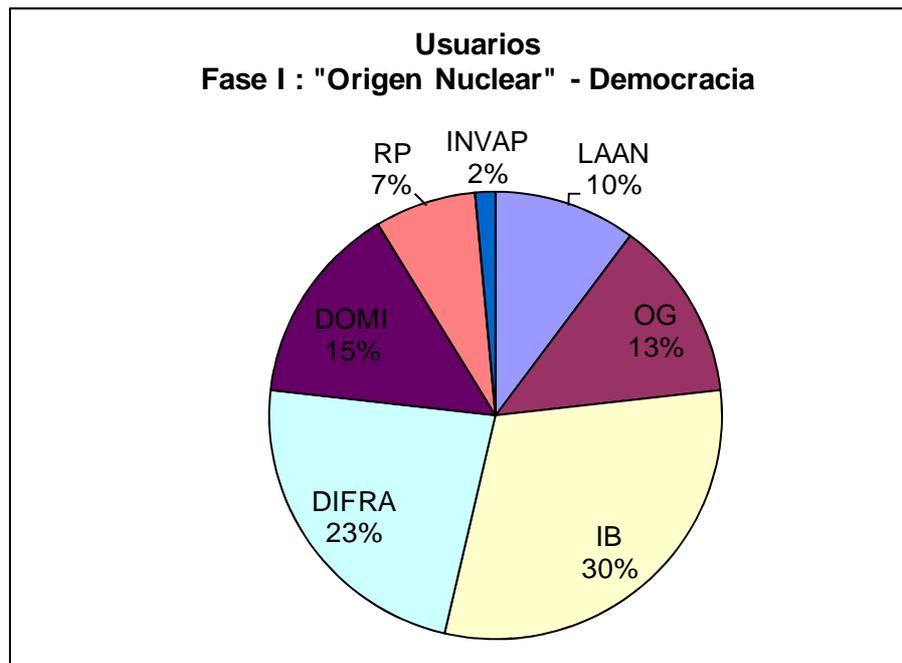


Figura 12: Operación del RA-6 durante el año 1986, analizada por el grupo de pertenencia de los usuarios (arriba) y por la categoría de la tarea realizada (abajo). DIFRA: División Física de Reactores Avanzados, DOMI: Docencia, Operación y Mantenimiento de la Instalación, IB: Instituto Balseiro, INVAP S.E.: Investigaciones Aplicadas, LAAN: Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica, OG: Otros Grupos, RP: Radioprotección. DYC: Docencia y Capacitación, APL: Aplicaciones, DES: Desarrollos.

## Detalle de los cambios técnicos o de utilización:

### *Reactor escuela*

De las entrevistas y el análisis de las hojas de operación del RA-6 durante los años 1983 y 1986, surge la evidencia inequívoca que la operación del reactor se destina desde sus comienzos, en un gran porcentaje a docencia, entrenamiento y capacitación. Estas tareas de aprendizaje y prácticas no podrían ser realizadas dentro de reactores de potencia (como Atucha o Embalse) o de producción (como el RA3)<sup>G47</sup> sin afectar los objetivos primordiales de esas instalaciones. El RA-6, gracias a su diseño con fines docentes, contiene variables de seguridad similares a las usadas en ese tipo de centrales nucleares, y es un campo de entrenamiento ideal a fines de licenciar y/o re-entrenar al personal de otros reactores, además de servir como lugar de prácticas para la carrera de Ingeniería Nuclear del Instituto Balseiro.



Figura 13: consola de operación. Posee una ventana vidriada que permite observar el hall del reactor. Las señales se adquieren y muestran con triple redundancia. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández.

### ***Reactor de investigación***

Ya desde la elección de un reactor experimental para officiar de reactor escuela del Instituto Balseiro está claro que la investigación experimental sería una de las ramas que se vería favorecida con el nuevo artefacto. En este caso, la técnica que surge como primera opción para investigación en el reactor es la de Análisis por Activación Neutrónica <sup>G2</sup> (AAN). El AAN es una técnica de determinación de elementos químicos, que sirve para identificar y cuantificar casi todos los elementos de la tabla periódica, aún en muy bajas concentraciones y en casi todos los tipos de materiales. Para realizarla es necesario convertir los elementos químicos en sus elementos radiactivos asociados que surgen de irradiar la muestra con neutrones, y luego cuantificar su desexcitación mediante detectores adecuados. Para poder realizar esta técnica en el RA-6 se introdujeron en el diseño del reactor posiciones adecuadas de irradiación donde poder ubicar las muestras tanto dentro como fuera del núcleo <sup>G36</sup>. También se contemplaron dos formas de introducir las muestras en esas posiciones: mediante canastas de irradiación <sup>G7</sup> y por un sistema neumático <sup>G49</sup>, con lo cuál se aseguraron de poder manejar los parámetros de los tiempos de irradiación, decaimiento y medición en el rango de minutos a los días. Además, con el fin de poder seleccionar la energía de los neutrones <sup>G18</sup> que se usan para irradiar las muestras (otro parámetro muy relevante para esta técnica), en un costado del núcleo se ubicó un gran bloque de grafito macizo, llamado columna térmica <sup>G12</sup>, con el cual se obtiene un flujo de neutrones <sup>G25</sup> de energía predominantemente en el rango térmico. Asimismo, se ubicó un laboratorio especial (el LAAN) donde preparar las muestras y recibirlas una vez irradiadas para su medición y análisis.

### ***Reactor de desarrollo***

El diseño del RA-6 contempló también desde un comienzo la versatilidad necesaria para desarrollar nuevas aplicaciones del uso de los neutrones. Para ello se colocaron a través del hormigón armado (que officia de blindaje estructural para la pileta del reactor) 5 conductos blindados, dos de ellos pasantes. De los mismos se podría, en un futuro, extraer diversos haces de neutrones para realizar distintos experimentos o implementar diferentes técnicas. Además, el mismo núcleo del reactor se diseñó de forma tal que pueda funcionar en distintas configuraciones de los elementos combustibles, para que sirviera de banco de prueba para evaluar diversos dispositivos.

## Marcos tecnológicos en la fase 1

Durante la fase 1 existen tres marcos tecnológicos (Tabla 1). Valga aclarar que los tres marcos aparecen ya antes o en la fase de diseño, y modelan el diseño del reactor. El marco tecnológico (MT) "Docencia" (Tabla 2) es el que impulsa y justifica en sí la construcción del reactor. Este MT se extenderá en la misma forma hasta los tiempos actuales. El problema que lo impulsa es la necesidad de un laboratorio experimental lo más cercano a la realidad, donde los alumnos de la carrera de Ingeniería Nuclear del Instituto Balseiro (IB) pudieran capacitarse para lo que se ve como un futuro prometedor en el área de la nucleoelectricidad en el país. Como grupos sociales relevantes aparecen el IB y el grupo que opera el reactor, DOMI (Docencia, Operación y Mantenimiento de la Instalación). Asimismo, algunos profesionales de la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA) y del Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN) participan como docentes. En conjunto actúan para preparar el concepto de un reactor de investigación que sirva a fines educativos, y comienzan a utilizarlo en clases prácticas y diversos cursos. Entre los cambios tecnológicos que se impulsan en este MT están la existencia de una doble consola, la multiplicidad de señales, la ventilación filtrada y el hall del reactor en depresión, las puertas tipo SAS de acceso, etc. Este tipo de elementos no son necesarios en un reactor de investigación, pero son los que se encontrarían en un reactor de potencia.

El hecho que la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) se perfilaba ya desde los años 50' como uno de los entes de investigación y desarrollo del país, justificaba en gran parte la gran inversión asociada al reactor escuela, dando lugar a la aparición de dos marcos tecnológicos más: el MT "Investigación" (Tabla 3) y el MT "Desarrollo" (Tabla 4). El primero aparece como respuesta a la necesidad de conocer distintos parámetros físicos y nucleares de ciertos elementos, combinado en parte a la demanda de una técnica analítica poderosa en cuanto a límites de detección, multiplicidad en la determinación de elementos e independencia de la matriz de análisis. El LAAN, junto al plantel de operación del RA-6, es quien se encargará de llevar adelante esta aplicación de los neutrones. Para crear el laboratorio se impulsan facilidades como la existencia de determinados lugares de irradiación en el núcleo y su periferia, la posibilidad de posicionar las muestras mediante canastas de irradiación o tubo neumático, un laboratorio apropiado para recibir las muestras irradiadas y medirlas, detectores adecuados, etc. El MT "Desarrollo" aparece como la clara posibilidad de diversificar el uso del reactor para dar lugar a nuevas técnicas y aplicaciones. En un principio para ello se colocan conductos pasantes y no pasantes a través del blindaje del núcleo que, aunque en esta fase permanecen cerrados,

permitirán en un futuro colocar los distintos dispositivos experimentales. Además, se diseñó un núcleo versátil en su conformación, para poder cambiar configuraciones y estudiar distintos dispositivos. El grupo encargado de diseñar, calcular e implementar estos desarrollos comienza como un grupo propio del RA-6 y luego se aloja en como un subgrupo de DIFRA.

**Tabla 1: Marcos Tecnológicos activos durante la fase 1**

Marco Tecnológico	Fase 1								
	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
MT1 Docencia	x	x	x	x	x	x	x	x	x
MT2 Investigación	x	x	x	x	x	x	x	x	x
MT3 Desarrollo	x	x	x	x	x	x	x	x	x

**Tabla 2: Características del MT “Docencia” durante la fase 1.**

Marco Tecnológico	Docencia
Fase analizada	Fase 1 (Origen)
Años	1982-1990
Grupos Sociales Relevantes e interpretación del artefacto	Plantel RA-6 (DOMI): Herramienta de docencia y capacitación para planteles de reactores argentinos y extranjeros  Profesores del Instituto Balseiro (IB): Herramienta de estudio y práctica para la carrera de ingeniería nuclear del IB
Problema	La carrera de ingeniería nuclear necesitaba un lugar experimental para realizar las prácticas profesionales
Solución	Crear un reactor de investigación flexible con facilidades para educación / prácticas
Disciplinas	Física de Reactores  Ingeniería Civil  Ingeniería Mecánica  Ingeniería Electrónica  Ingeniería Eléctrica  Termohidráulica  Ingeniería Química  Radioprotección

	Seguridad y Control Ventilación
<b>Cambios Impulsados en el artefacto y/o sus usos (desde el diseño)</b>	Reactor con doble consola Triplicidad de señales Ventilación filtrada Hall del reactor en depresión Puertas SAS de acceso al hall del reactor Facilidad de acceso a paneles

**Tabla 3: Características del MT “Investigación” durante la fase 1.**

<b>Marco Tecnológico</b>	<b>Investigación</b>
<b>Fase analizada</b>	Fase 1 (Origen)
<b>Años</b>	1982-1990
<b>Grupos Sociales Relevantes e interpretación del artefacto</b>	Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN): Herramienta analítica para identificación y cuantificación de multi-elementos en un amplio rango de concentraciones y en casi cualquier matriz. Herramienta analítica para determinar parámetros físicos de interés nuclear  División Física de Reactores Avanzados (DIFRA): Herramienta para evaluar diseños y dispositivos
<b>Problema</b>	Conocer distintos parámetros físicos y nucleares.  Falta de una técnica analítica poderosa en cuanto a límites de detección, multiplicidad en la determinación de elementos e independencia de la matriz de análisis
<b>Solución</b>	Instalar un Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica
<b>Disciplinas</b>	Física Nuclear Ingeniería Química Radioprotección Ingeniería Civil Ingeniería Electrónica
<b>Cambios Impulsados en el artefacto y/o sus usos (desde el diseño)</b>	Columna térmica  Lugares de irradiación en el núcleo

	<p>Canastas de irradiación</p> <p>Sistema neumático para envío de muestras</p> <p>Laboratorio de preparación de muestras y de análisis</p> <p>Detectores adecuados</p>
--	--

**Tabla 4: Características del MT “Desarrollo” durante la fase 1.**

<b>Marco Tecnológico</b>	<b>Desarrollo</b>
<b>Fase analizada</b>	Fase 1 (Origen)
<b>Años</b>	1982-1990
<b>Grupos Sociales Relevantes e interpretación del artefacto</b>	<p>División Física de Reactores Avanzados: Herramienta para implementar nuevos usos dispositivos. Herramienta de diseño y prueba</p> <p>Plantel RA-6 (DOMI): Máquina utilitaria que debe aprenderse a usar, modificar y mantener correctamente</p>
<b>Problema</b>	<p>Generar nuevas aplicaciones</p> <p>Diversificar los usos del reactor</p> <p>Ampliar las comunidades de usuarios</p>
<b>Solución</b>	Abrir un grupo abocado al desarrollo de aplicaciones
<b>Disciplinas</b>	<p>Física de Reactores</p> <p>Física Nuclear</p> <p>Ingeniería Nuclear</p> <p>Ingeniería Electrónica</p> <p>Cálculo Neutrónico</p> <p>Diseño</p> <p>Instrumentación</p> <p>Control</p>
<b>Cambios Impulsados en el artefacto y/o sus usos (desde el diseño)</b>	<p>Conductos pasantes y no pasantes</p> <p>Versatilidad en la configuración del núcleo</p>

## Grupos sociales relevantes en la fase 1

### *El plantel del RA-6 (DOMI)*

En esta etapa se afianza y nuclea el grupo que va a participar a lo largo de los siguientes años en la operación, el mantenimiento, la seguridad y la protección radiológica del reactor. Al no existir previamente la carrera de Ingeniería Nuclear del Instituto Balseiro (IB), la mayoría de los profesionales de este plantel son ingenieros eléctricos, químicos y físicos. A medida que avanzan los años comienzan a incorporarse los primeros ingenieros nucleares egresados del IB.

### *Docentes del Instituto Balseiro (IB)*

Históricamente, el RA-6 ha sido utilizado desde sus comienzos como laboratorio para la carrera de Ingeniería Nuclear de IB. En esta etapa, se utiliza para prácticas como parte de distintas cátedras (Física de Reactores, Activación Neutrónica, Mediciones Nucleares, Mecánica, Termohidráulica, Seguridad e Higiene, etc.)<sup>27</sup> y para trabajos especiales (tesinas) de grado.

Sin una injerencia directa en el MT Docencia <sup>28</sup>, aparecen como GSR para el reactor en sí dos grupos más:

### *El grupo de desarrollo (DIFRA)*

La historia de este grupo es sumamente interesante. El grupo se nuclea en 1985 cuando Herman Blaumann y Gustavo Genusso entran a trabajar como ingenieros al RA-6 (con Heriberto José Boado Magán como jefe de reactor), con el fin de formar un grupo desarrollador de aplicaciones para el reactor. Sin embargo, en esos primeros años del RA-6 el concepto de funcionamiento del reactor estaba más volcado hacia el

---

<sup>27</sup> Un salto en el uso del RA-6 como herramienta de capacitación de la carrera de Ingeniería Nuclear se da en el año 2009, cuando se crea una materia de ingeniería integradora, impulsada por Herman Blaumann y con afectación de varios profesionales del RA-6 y de DIFRA, llamada "Laboratorio de Ingeniería 2". Esta materia plantea el uso intensivo del reactor durante un semestre, con prácticas relacionadas a la operación y el mantenimiento del mismo, teniendo en cuenta sus diversas facetas (neutrónica, electrónica, instrumentación, termohidráulica, etc.) y finalizando con un proyecto de desarrollo novedoso llevado a cabo por los alumnos.

<sup>28</sup> Estos grupos están relacionados al IB, ya que muchos de sus integrantes son también docentes del instituto y participaron dando los cursos de capacitación para los planteles extranjeros en el reactor.

lado operativo y docente, que al desarrollo de nuevo instrumental o la implementación de nuevas técnicas. Esto se hacía dificultoso incluso desde el diseño mismo del reactor comprado, ya que requería obras de infraestructura, y por ende costos, no menores<sup>29</sup>.

Con la llegada de Carlos Gho a Bariloche, se funda la división de Física de Reactores Avanzados (DIFRA). Blaumann era ayudante de Gho en la materia de Física de Reactores de la carrera de Ingeniería Nuclear del IB, y desde esa relación se da la posibilidad de que tanto Genusso como él pasen a formar parte del nuevo grupo<sup>30</sup>. Si bien DIFRA estaba en su concepto original más abocado al estudio de nuevos reactores que a la búsqueda de aplicaciones para un reactor de investigación, se dio una simbiosis que duraría muchísimos años y facilitaría el desarrollo de todas las aplicaciones que se instauraron en el RA-6<sup>31</sup>. Quizás en eso tuvo que ver la presencia de profesionales con una veta más experimental, trabajando junto a personal altamente capacitado en temáticas de cálculo, todos interesados por hacer crecer el RA-6 como herramienta, con una visión operativa ingenieril y además, muy cercanos a la docencia por IB<sup>32</sup>.

Trabajando para el nuevo grupo y aunque estaban en una unidad orgánica distinta, tanto Blaumann como Genusso se mantuvieron siempre cerca de RA-6. Incluso intervinieron como fuerza docente para entrenar personal del reactor de Argelia y Egipto en San Carlos de Bariloche, y viajaron a colaborar con INVAP S.E. y el personal de RA-6 en la puesta en marcha de estos dos reactores.

#### *El Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN)*

El laboratorio para implementar la técnica de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN) existe desde el origen del RA-6. Ya el diseño original de fines de los 70 tenía planeado un sistema neumático <sup>G49</sup>, una columna térmica <sup>G12</sup> y varios lugares disponibles para irradiación <sup>G34</sup>. Este grupo social relevante, sin embargo, es un grupo a nivel de usuario de la instalación que, si bien no la modifica de ninguna manera, demanda históricamente alrededor de un tercio de las horas de uso del artefacto. La misma gente del grupo reconoce que son los que más han utilizado el reactor hasta

---

<sup>29</sup> De hecho, según relatan los entrevistados, si bien el reactor había sido diseñado con conductos para poner en un futuro otras aplicaciones, éstos no estaban preparados ni bien diseñados para tal fin (faltaban filtros, colimadores, blindajes, etc.). El ingreso de nuevas aplicaciones (la primera con BNCT) se retardó unos 15 años, hasta que se dieron las condiciones políticas y económicas que permitieran abordar un desafío de esa magnitud.

<sup>30</sup> Entrevista 4: 29/09/2017

<sup>31</sup> Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>32</sup> Entrevista 6: 05/10/2017 a

hoy, recalcando la alta disponibilidad de la máquina, y la buena disposición y compromiso de los operarios para con las mediciones para el laboratorio.

José Lolich (físico y jefe del reactor en su primer momento) abre el grupo de LAAN simultáneamente con la inauguración del RA-6. Lolich había estado haciendo su doctorado en Alemania en temas de materiales con la técnica de Análisis por Activación Neutrónica, midiendo Plomo en balas. Lo acompañó en esta apertura Abraham Kestelman, también físico, que en ese momento trabajaba en la división de Colisiones Atómicas <sup>G11</sup> del CAB. Es Kestelman quién se pone en contacto con Marcos Cohen, del grupo de activación del RA-3, para llevar a cabo la implementación de la técnica en el RA-6. Al estar a cargo de un grupo de físicos, las actividades de investigación del LAAN en esta primera etapa se orientaban a mediciones físicas y analíticas de diversos materiales, como por ejemplo la medición precisa de secciones eficaces y la caracterización del flujo neutrónico. La temática solía además estar relacionada a materiales de interés nuclear que se estudiaban en otros grupos del CAB, como las aleaciones de Zirconio.

### **Análisis socio-técnico de la fase 1**

El proyecto RA-6 surge a partir de la necesidad docente de una herramienta específica para la carrera de Ingeniería Nuclear del Instituto Balseiro (IB). Valga aclarar que en el momento de su concepción (hacia 1976) las capacidades computacionales para generar un simulador completo eran muy escasas y la única manera de aprender sobre un reactor nuclear era entrenándose en uno real<sup>33</sup>.

Además, en el ámbito político-económico, con Castro Madero a la cabeza de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), estaba en auge un ambicioso Plan Nuclear, que preveía el dominio del ciclo de combustible completo, con una fábrica de elementos combustibles y una planta de reprocesamiento de Plutonio (Buenos Aires), una planta de agua pesada en Arroyito (Neuquén), una planta de enriquecimiento de Uranio en Pilaniyeu (Río Negro), un repositorio nuclear en Gastre (Chubut) y la instalación de varias centrales nucleares además de las centrales Atucha I en Buenos Aires (ya inaugurada), Embalse en Córdoba (en construcción, inaugurada en 1983) y Atucha II (licitada en 1979, también para Buenos Aires) (Hurtado de Mendoza, 2012).

Con este fin se planea desde el inicio un reactor nuclear de investigación con facilidades docentes, como una doble consola <sup>G14</sup> con lectura de todas las señales relevantes, paredes vidriadas que permiten ver desde afuera la sala de operaciones, el

---

<sup>33</sup> Entrevista 4: 29/09/2017

hall del reactor <sup>G27</sup> y la boca del tanque <sup>G5</sup>, comodidad de entrada a muchos sectores, abundancia de instrumentación que facilita la toma de señales, presencia de aulas, biblioteca, sala de reuniones, etc<sup>34</sup>. También se le añaden otras capacidades técnicas, como un hall de reactor en depresión <sup>G43</sup> con puertas tipo SAS <sup>G44</sup>, sistemas de ventilación con filtrado <sup>G50</sup> y redundancia de las señales por triplicado <sup>G48</sup>. Estos recursos tecnológicos no son necesarios para un reactor de investigación de este estilo, pero son similares a los que se encontrarían en reactores de potencia<sup>35</sup>.

Asimismo, el diseño inicial ya contenía todo lo necesario para implementar un Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN), como un sistema neumático desde donde enviar muestras del laboratorio hacia el reactor en forma remota, canastas <sup>G7</sup> y lugares de irradiación, así como también permitía cierta flexibilidad para instalar y ensayar distintos diseños experimentales o componentes de ingeniería. Estas facilidades son comentadas en reuniones científicas incluso antes de la inauguración (Lolich y Abbate 1980; Abbate, 1997) y no dejan de entrar en un debate internacional por el creciente liderazgo que muestra el país en temas nucleares, a pesar de todos los esfuerzos que se hacen desde el gobierno para insistir en los usos pacíficos de estos desarrollos (Hurtado de Mendoza, 2009; Clarín, 2007/02/05).

En esta primera fase aparecen tres marcos tecnológicos (MT) dominantes: docencia, investigación y desarrollo, y cuatro grupos sociales relevantes, cuyas influencias e interrelaciones irán construyendo los distintos marcos tecnológicos que se identificarán y fomentarán los cambios tecnológicos del RA-6 en uno u otro sentido.

El grupo que obviamente tiene un lugar muy importante desde la etapa de diseño del reactor es aquél que concentra a docentes del IB, en particular aquellos físicos e ingenieros asociados a la incipiente carrera de Ingeniería Nuclear. Este grupo es el que impulsa el nacimiento del proyecto RA-6, a partir de la necesidad de un lugar de prácticas para los estudiantes. Sin embargo, al iniciarse la puesta en marcha de instalación<sup>36</sup>, hay otro grupo que comienza a cobrar mayor relevancia que el IB y es el plantel del RA-6, identificado en esta tesis como el grupo de operación y mantenimiento de la instalación (DOMI). Este grupo no sólo se dedica a hacer funcionar el artefacto y aprender las minuciosidades de la instalación, sino que también brinda actividades de capacitación y docencia a otros grupos y planteles. El DOMI es el grupo que en un primer momento tiene mayor incidencia en el tiempo de uso, y por ende en las decisiones que se toman en cuanto a la operación del artefacto. Obviamente, la supremacía del DOMI sobre el IB en la primera etapa de esta fase

---

<sup>34</sup> Entrevista 4: 29/09/2017, Entrevista 1: 02/12/2016

<sup>35</sup> Entrevista 4: 29/09/2017, Entrevista 3: 22/05/2017

<sup>36</sup> La fase 1 se contempla desde la inauguración en 1982.

responde a la necesidad de aprender sobre el artefacto y ponerlo a punto. El DOMI, además de interpretar al RA-6 como una herramienta de docencia, agrega la interpretación del artefacto como una máquina utilitaria que debe aprenderse a usar, modificar y mantener correctamente.

El grupo del Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN) ya venía definiéndose como un grupo relevante en torno al artefacto desde la etapa de diseño de la instalación, puesto que se añaden al reactor todas las facilidades necesarias para poder realizar esta técnica. En esta fase (y luego se verá que también en las fases sucesivas), el LAAN no tiene influencia en cambios que ocurren luego de la inauguración del artefacto, pero lo re-interpreta como una facilidad analítica para investigar materiales, tanto de usos nucleares como convencionales. Este grupo social relevante es desde los comienzos un grupo dedicado a la investigación, y forma parte impulsora del MT homónimo.

Asociado a la inquietud de generar nuevos desarrollos en torno al RA-6 aparece el grupo social relevante correspondiente los físicos e ingenieros de desarrollos del RA-6, que luego pasará a formar parte de la división de Física de Reactores Avanzados (DIFRA). Este grupo no tiene gran influencia en las horas de uso durante los primeros años del RA-6, ya que el concepto de funcionamiento del reactor estaba más volcado hacia el lado operativo y docente, que al desarrollo de nuevo instrumental o la implementación de nuevas técnicas. Sin embargo, en la segunda mitad de la fase tienen una fuerte influencia asociada al uso del reactor para desarrollar técnicas e instrumentación. Durante esta fase DIFRA, además de involucrarse fuertemente en el MT Docencia, reconstruye la interpretación del artefacto como una herramienta de diseño y prueba, dando lugar al MT Desarrollo.

## 5. Fase 2 – Nuevos Horizontes (1990-2002)

### Cambios tecnológicos y/o de utilización en la fase 2

En esta etapa comienza a gestarse uno de los cambios tecnológicos fundamentales del RA-6: el programa Terapia por Captura Neutrónica en Boro<sup>G6</sup>, un proyecto que coloca al RA-6 como herramienta de tratamiento para la salud, impulsado por un grupo de la División Física de Reactores Avanzados y por el personal de RA-6. El cambio en la maquinaria es mayor: implica realizar remoción de blindajes de un metro de espesor de cemento armado, quitar una columna de grafito<sup>G12</sup> de la periferia del núcleo, colocar en su lugar nuevos equipamientos como filtros<sup>G22</sup>, colimadores<sup>G10</sup> y detectores, diseñar y fabricar un nuevo blindaje seguro para la operación normal y para los pacientes, crear un lugar apto para irradiar pacientes, instrumentar y probar la facilidad en fantomas, animales pequeños y animales mayores y finalmente, obtener las habilitaciones correspondientes de la Autoridad Regulatoria Nuclear y la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica para volver a poner en marcha el reactor e irradiar pacientes. Por otro lado, el Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica comienza a investigar temas mas relacionados al medioambiente y la ecología, reinventándose como un grupo académico multidisciplinario, inserto en la trama científico-académica nacional e internacional.

### Características históricas, económicas, sociales y políticas

La década de 1990, con Carlos Menem en la presidencia del país, trajo un nuevo panorama en política tecno-nuclear, a tono con una economía neoliberal abierta, un mercado financiero y laboral desregulado y una política de privatización del Estado. Por un lado, Argentina baja su nivel de confrontación internacional y se alinea con EE.UU.; el acercamiento con Brasil se profundiza con la creación de la Agencia Brasileño Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (ABACC) y se ratifican los tratados de no proliferación internacionales<sup>37</sup>. Por otro lado, bajo la consigna de “achicamiento del Estado”, mientras se inaugura la planta de agua pesada en Arroyito, se para la obra de Atucha II, se cancela el proyecto de reprocesamiento de Plutonio y se suspende el proyecto de Enriquecimiento de Uranio en Pilcaniyeu (Hurtado de Mendoza, 2009).

La Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) tampoco queda ajena a los programas de privatización de las principales empresas públicas y servicios del Estado. En este período se fundan (con el objetivo de privatizarlas luego) la empresa Nucleoeléctrica Argentina S.A. para encargarse de la operación de reactores Atucha I

<sup>37</sup> El Tratado de No Proliferación en 1992 y el de Tlatelolco en 1994 (Hurtado de Mendoza, 2009).

(Buenos Aires) y Embalse (Córdoba), y el Ente Nacional Regulador Nuclear (ENREN) para las actividades de regulación y fiscalización (Hurtado de Mendoza, 2009).

La política institucional de CNEA estaba, según relata un ensayo de la Unión Personal Civil de la Nación (UPCN):

[...] forjada desde una concepción neoliberal, en donde primaba la lógica a corto plazo tendiente a equilibrar las cuentas fiscales y a aumentar la eficiencia productiva antes que la perspectiva a largo plazo enfocada en aumentar las capacidades internas y alcanzar mayores niveles de desarrollo científico-tecnológico autónomo (Polanyi, 2015, p 6).

Sin embargo, a pesar de todas las acciones tendientes a dismantelar y disgregar al sector nuclear, y a la reducción de presupuesto y personal, se sostiene un cierto grado de cohesión y algunas premisas básicas para el mantenimiento de la actividad institucional (Barbarán, 2014). Por ejemplo, se funda DIOXITEK S.A. para asegurar el ciclo de combustible y la ley de residuos traslada toda la responsabilidad sobre reprocesamiento y almacenamiento de residuos nucleares a la CNEA.

En este contexto, en 1990 se sanciona la Ley N° 23877 de Promoción y Fomento de la Innovación Tecnológica, quizás en un afán de productivizar el sector y resolver presuntos problemas de sub-utilización de las capacidades, disponiendo la creación de Unidades de Vinculación Tecnológica (UVT) que actúen como interfase entre el sector productivo y el sector científico universitario (Bushini & Di Bello, 2015). La UVT del Centro Atómico Bariloche pasa a ser la Fundación Balseiro<sup>G26</sup>, a la que se le otorgan las facultades de facturación y administración, abriéndose para los laboratorios la oportunidad de brindar servicios a terceros y cobrar por ellos<sup>38</sup>. En 1998, sin embargo, CNEA decide no permitir más la facturación de este tipo de transferencia de tecnología, y cancela muchos de los servicios que se habían abierto<sup>39</sup>.

Por otro lado, en el artículo de Maqueda (2009) se aclara que durante 1994, luego de la caída del muro de Berlín, la actividad nuclear ya no era considerada una tecnología estratégica, por lo que se retira a la CNEA de ciertas actividades productivas. En línea con esta política, a fines de diciembre de 1994, el Poder Ejecutivo Nacional aprueba un “sistema de retiro voluntario para el personal de la CNEA” (Decreto 2.236). Cuatro meses antes de concluir su mandato, Carlos Menem vuelve a intentar “transferir al sector privado la operación de las dos centrales

<sup>38</sup> Bitácora de Operación 3: 1990, Bitácora de Operación 4: 1993, Bitácora de Operación 5: 1996, Bitácora de Operación 5: 1996.

<sup>39</sup> Entrevista 7: 05/10/2017 b

nucleares en funcionamiento (Atucha I y Embalse Río Tercero) y la terminación de Atucha II, en base a la ley Nuclear (24.804) de 1997 y el decreto reglamentario 1390 de 1998” (Clarín, 1999/05/29) con plena oposición de la Alianza (De la Rúa, Álvarez, Alfonsín) y del candidato del Partido Justicialista (Duhalde).

La crisis del 2001, disparada entre otros factores por el desempleo, la escalada de precios, la recesión, la hiper-devaluación de la moneda y las restricciones a los retiros de fondos bancarios, concluye con el derrumbamiento de la matriz neoliberal y sumerge al país en un período de inestabilidad institucional, social, política y económica. Sumado a esto, la falta de inversión y mantenimiento en el sector energético, y los precios distorsionadamente bajos que se cobran, agravan la crisis energética (Etchanan, 2011).

## **El Plan Nuclear**

La década de los 90' comienza con una fuerte caída del prestigio y la posición que la energía nuclear y sus industrias y laboratorios relacionados habían alcanzado en las décadas anteriores. Falta de presupuesto, una planificación ausente, desmembramiento de la institución y vaciamiento de recursos humanos aparecen constantemente en los relatos<sup>40</sup>. Sin embargo, esta época de decaimiento en lo referente al uso de la energía nuclear para generación eléctrica moviliza a la CNEA, dando un fuerte impulso en el ámbito de la medicina nuclear, con la creación de la escuela de medicina nuclear y el centro de radiodiagnóstico (FUESMEN) en Mendoza y la puesta en funcionamiento de un ciclotrón para producción de radioisótopos y una planta de producción de <sup>99</sup>Mo en el Centro Atómico Ezeiza (CAE)<sup>41</sup>. También se crea la carrera de Ingeniería en Materiales en el Instituto Sábató (IT), una alternativa a la carrera de Ingeniería Nuclear del Instituto Balseiro (IB).

Cumpliendo con los protocolos internacionales firmados por el gobierno de Menem, se cambia el núcleo del RA-3 por uno construido con Uranio de bajo enriquecimiento <sup>G19</sup>. Esto se da mientras simultáneamente se observa un continuo esfuerzo por parte de la CNEA de demostrar su intención “no proliferadota”, realizando convenios de colaboración internacional para usos pacíficos de la energía nuclear<sup>42</sup>. Por otro lado, se inaugura el laboratorio de celdas calientes en el CAE y alcanza criticidad la facilidad RA-8, en donde se planean probar diseños del CAREM (reactor de potencia pequeño, diseñado en CNEA). Simultáneamente aparecen proyectos de

<sup>40</sup> Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 4: 29/09/2017

<sup>41</sup> Entrevista 9: 10/10/2017, Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 4: 29/09/2017, Entrevista 3: 22/05/2017, Entrevista 1: 02/12/2016.

<sup>42</sup> Entrevista 1: 02/12/2016

un ámbito más abierto que el tradicional de la CNEA, como la planta de irradiación de barros cloacales domiciliarios. Mientras tanto, siguen algunas obras en Atucha II, se inaugura un reactor realizado para Egipto y una planta de radiofármacos para Cuba, ambos construidos por INVAP S.E.

## Objetivos

El objetivo en esta etapa es desarrollar nuevas aplicaciones e investigaciones, que en lo posible tengan menos que ver con la generación nucleoelectrónica y más con objetivos social e internacionalmente mejor aceptados, como la medicina o la ecología.

## Características principales

Esta etapa se caracteriza por la búsqueda de aplicaciones alternativas de la tecnología nuclear. Los dos grupos sociales relevantes más establecidos hasta el momento, la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA) y el Laboratorio de Activación Neutrónica (LAAN), optan por dos caminos distintos para seguir trabajando, a pesar del momento difícil que experimentaba la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la actividad nuclear argentina.

Personal de DIFRA y de RA-6 pretenden utilizar el reactor como una nueva herramienta para la salud<sup>43</sup>. Visualizan el RA-6 como un instrumento para tratamientos de cáncer por Terapia de Captura Neutrónica en Boro <sup>G6</sup> (BNCT). Luego de los primeros cálculos, y viendo la factibilidad de la transformación y el interés internacional que hay en la técnica en ese momento, crean un proyecto-marco dentro de CNEA, con el cual consiguen apoyo institucional y financiación para llevar a cabo el proyecto<sup>44</sup>. El grupo de desarrollo de DIFRA junto con personal de RA-6 comienzan con las mediciones preliminares para instalar la nueva línea <sup>G33</sup>, se da un período de construcción donde se arma e instrumenta la facilidad <sup>G20</sup>, y luego aparece un trabajo intensivo para probar el haz <sup>G28</sup>, y caracterizar los flujos neutrónicos <sup>G25</sup> y las dosis <sup>G17</sup>, calcular sensibilidad y reproducibilidad de las mediciones<sup>45</sup>, etc., irradiando primero hojuelas <sup>G29, 46</sup> y luego fantomas<sup>47</sup>, para pasar finalmente a la irradiación de animales

---

<sup>43</sup> Entrevista 9: 10/10/2017, Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 3: 22/05/2017, Entrevista 4: 29/09/2017

<sup>44</sup> Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 9: 10/10/2017.

<sup>45</sup> Entrevista 9: 10/10/2017, Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 1: 02/12/2016.

<sup>46</sup> Bitácora de Operación 6: 1999 (Ejemplo N° 10299)

<sup>47</sup> Bitácora de Operación 6: 1999 (Ejemplo N° 370599)

pequeños (hámsteres y ratones)<sup>48</sup>. Asimismo, un pequeño grupo de personas continúa realizando algunas irradiaciones para temas de neutrografía<sup>G45, 49</sup>.

El LAAN, por otro lado, aprovechando la Ley de Promoción y Fomento de la Innovación Tecnológica. Comienza vendiendo servicios analíticos, y se va dedicando al análisis de muestras de agua, enfocados en Mercurio<sup>50</sup>, Plata<sup>51</sup>, Arsénico<sup>52</sup>, Cadmio<sup>53</sup> y otros metales pesados<sup>54</sup>; luego incluyen investigaciones en sedimentos<sup>55</sup> y muestras biológicas (por ejemplo líquenes)<sup>56</sup>. Hacia fines de los 90', y con la prohibición desde CNEA de facturar por estos servicios, el grupo opta por generar sus propios requerimientos de la técnica y comienzan un período de academización e ingreso a circuito científico tomando profesionales del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), colaborando con trabajos de la Universidad Nacional del Comahue, y ofreciendo doctorados. Se van definiendo en el grupo líneas temáticas más medioambientales, y se afianzan técnicas de fechado y análisis de composición en muestras geológicas de sedimentos y tefras volcánicas<sup>57</sup>. Por otro lado, el grupo desarrolla técnicas forenses, analiza filtrados de líquidos cloacales<sup>58</sup>, miden arcillas<sup>59</sup> y yesos<sup>60</sup>, y además participan de experiencias interlaboratorio para asegurarse un posicionamiento estandarizado a nivel mundial<sup>61</sup>. Con estos cambios pueden acceder a financiaciones externas de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) y a proyectos nacionales<sup>62</sup>. En menor medida, siguen en contacto con experiencias de interés puramente nuclear, como el

<sup>48</sup> Se pasa a irradiar animales mayores y finalmente pacientes en la etapa siguiente .Bitácora de Operación 7: 2005 (N°1501105).

<sup>49</sup>Bitácora de Operación 3: 1990 (Ejemplos N° 2221290, N° 2191090, N° 2181090), Bitácora de Operación 5: 1996 (N° 791196), Bitácora de Operación 6: 1999 (N° 590699, N° 530599), Bitácora de Operación 7: 2005 (Ejemplos N° 1581105, N° 1421005, N° 1411005, N° 1401005, N° 1381005). Entrevista 7: 05/10/2017 b, Entrevista 5: 04/10/2017

<sup>50</sup> Bitácora de Operación 3: 1990 (Ejemplos N° 2100990, N° 2070890, N° 1620180), Entrevista 7: 05/10/2017 b

<sup>51</sup> Entrevista 7: 05/10/2017 b

<sup>52</sup> Entrevista 7: 05/10/2017 b

<sup>53</sup> Bitácora de Operación 4: 1993 (N° 801193), Entrevista 7: 05/10/2017 b

<sup>54</sup> Entrevista 7: 05/10/2017 b, Entrevista 5: 04/10/2017.

<sup>55</sup> Bitácora de Operación 4: 1993 (Ejemplos N° 490793, 460693, 400693), Bitácora de Operación 5: 1996 (Ejemplos N° 250596)

<sup>56</sup> Bitácora de Operación 4: 1993, Bitácora de Operación 5: 1996 (N° 851196). Entrevista 7: 05/10/2017 b, Entrevista 5: 04/10/2017

<sup>57</sup> Bitácora de Operación 5: 1996 (Ejemplos: N° 090396, N° 661096, N°550896), Bitácora de Operación 6: 1999 (Ejemplos N°1291299, N°1241199, 790899). Entrevista 5: 04/10/2017, Entrevista 7: 05/10/2017 b.

<sup>58</sup> Bitácora de Operación 5: 1996 (N° 250596)

<sup>59</sup> Bitácora de Operación 3: 1990 (N° 1990790)

<sup>60</sup> Bitácora de Operación 3: 1990 (N° 2060890)

<sup>61</sup> Entrevista 7: 05/10/2017 b. Bitácora de Operación 3: 1990 (N° 1630190)

<sup>62</sup> Entrevista 7: 05/10/2017 b

análisis de muestras de Uranio y Torio<sup>63</sup> o investigaciones sobre plomo como monitor en programas de vigilancia de centrales nucleares<sup>64</sup>.

Surgen algunos pedidos de la empresa INVAP S.E. sobre investigación de la composición de ciertos materiales utilizados para el reactor de Argelia<sup>65</sup> y estudios de fragilidad por irradiación de equipos y partes<sup>66</sup>. Además se dictan cursos de capacitación para el plantel iraní con un uso moderado del reactor<sup>67</sup> a principios de los `90 y con un uso muy fuerte para la capacitación del plantel egipcio luego de mediados de esa década<sup>68</sup>. También se hacen demostraciones con el reactor operando para escuelas secundarias de San Carlos de Bariloche<sup>69</sup>.

Con respecto a los porcentajes de utilización de cada grupo, al comienzo del período y hasta la primera mitad de la década, el LAAN utiliza el RA-6 en promedio un 50% de los días de operación (Figura 14), mientras que DIFRA amplía su porcentaje de utilización gradualmente a medida que se van haciendo los trabajos de implementación de la línea BNCT, hasta llegar al 65% durante el año 1999, con la instalación BNCT culminada. En ese año comienzan todas las pruebas de caracterización de la nueva facilidad, con mediciones en hojuelas y fantomas<sup>70</sup>. Como puede verse en la Figura 15, durante esos años el porcentaje de utilización de otros grupos sociales relevantes baja abruptamente.

---

<sup>63</sup> Bitácora de Operación 4: 1993 (N° 260493, N° 250493, N° 240493, N° 200393).

<sup>64</sup> Bitácora de Operación 4: 1993(N° 150393, N°450693)

<sup>65</sup> Bitácora de Operación 3: 1990(N° 2251290)

<sup>66</sup> Bitácora de Operación 5: 1996 (N° 2251290, N° 2211290)

<sup>67</sup> Bitácora de Operación 3: 1990 (N° 1870490)

<sup>68</sup> Bitácora de Operación 5: 1996 (Ejemplos N° 831196, N° 600996)

<sup>69</sup> Bitácora de Operación 4: 1993(N° 470693)

<sup>70</sup> Bitácora de Operación 6: 1999 (Ejemplos N° 100999, N°960999, N° 740799)

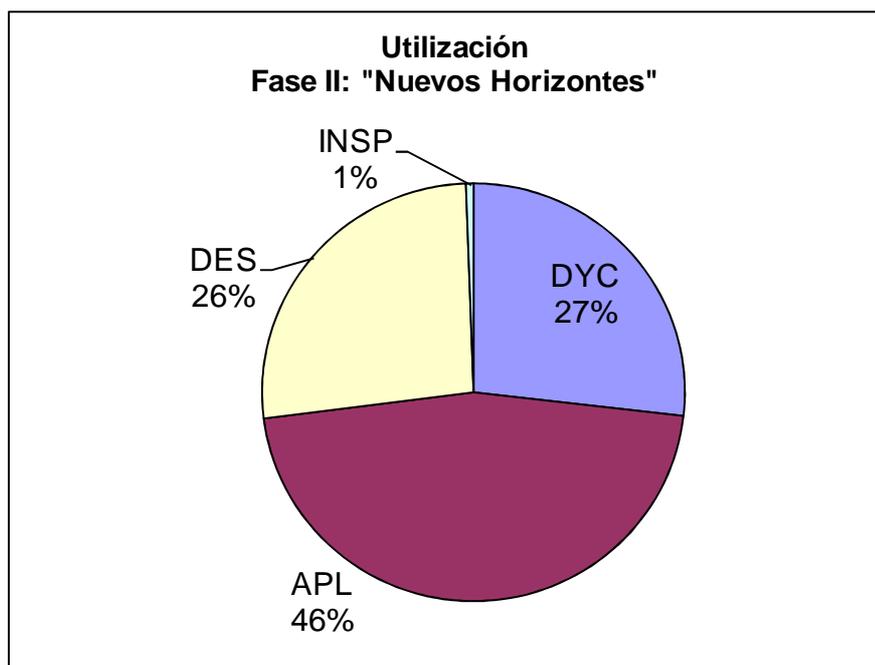
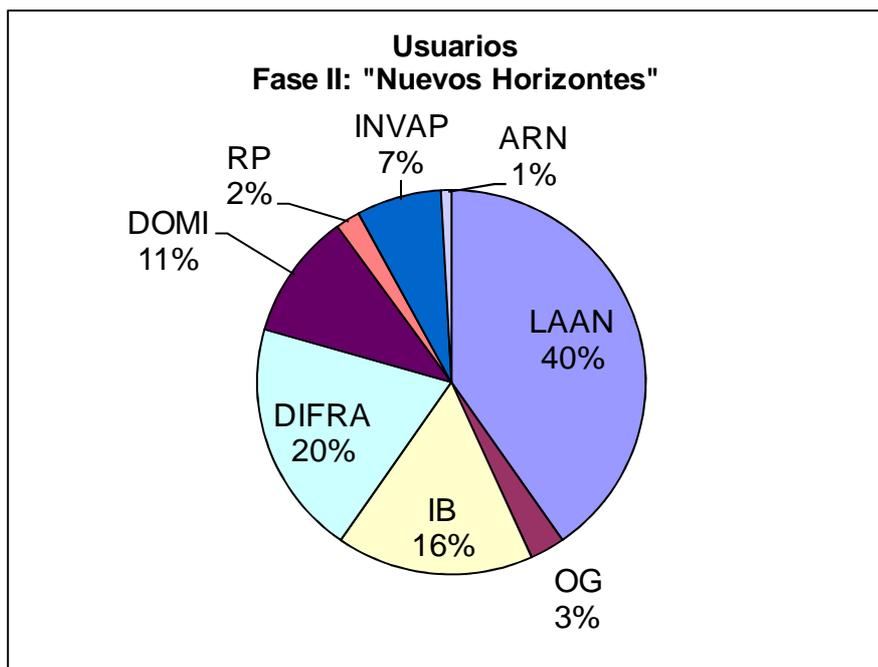


Figura 14: Operación del RA-6 promediada durante los años 1990, 1993, 1996 y 1999, analizada por el grupo de pertenencia de los usuarios (arriba) y por la categoría de la tarea realizada (abajo). ARN: Autoridad regulatoria Nuclear, DIFRA: División Física de Reactores Avanzados, DOMI: Docencia, Operación y Mantenimiento de la Instalación, IB: Instituto Balseiro, INVAP S.E.: Investigaciones Aplicadas S.E., LAAN: Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica, OG: Otros Grupos, RP: Radioprotección. DYC: Docencia y Capacitación, APL: Aplicaciones, DES: Desarrollos, INSP: Inspecciones.

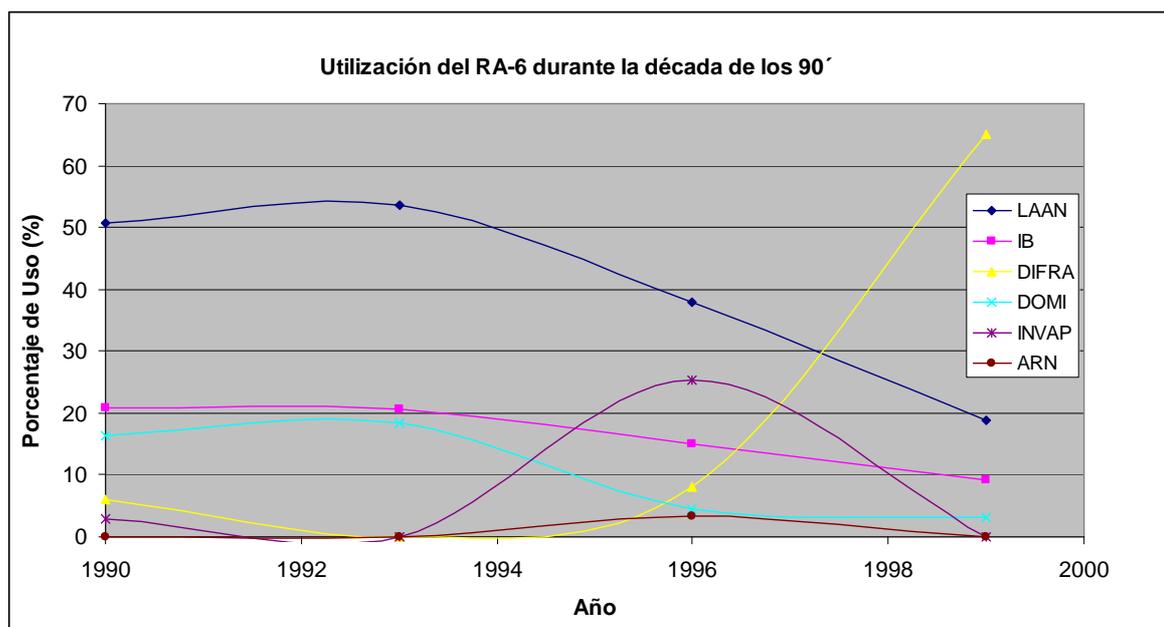


Figura 15: Porcentaje de uso del reactor en distintos años de la fase 2. Datos obtenidos de la utilización por grupo durante los años 90, 93, 96 y 99. Los puntos se unen con una línea como guía visual.

Respecto a las categorías de utilización (Figura 14, abajo), salvo durante la puesta a punto de la facilidad BNCT (que se considera un desarrollo, DES) la aplicación (APL) es la categoría mayoritaria, junto con docencia y capacitación (DYC). Esta última tiene un fuerte impulso desde INVAP S.E., que se convierte en un nuevo grupo social relevante para el marco tecnológico "Docencia", ya que a pedido de la empresa se entrenan en el RA-6 los planteles argelinos<sup>71</sup>, iraníes<sup>72</sup> y egipcios<sup>73</sup>. Asimismo existe un entrenamiento para un plantel del reactor RA-3<sup>74</sup>, cursos de postgrado en operación, arranque y puesta en marcha de reactores del Instituto Balseiro (IB)<sup>75</sup>, cursos de protección radiológica y de seguridad nuclear de la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN)<sup>76</sup> y cursos para el Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe (ARCAL)<sup>77</sup>. Aparecen por primera vez eventos de divulgación, como visitas de escuelas secundarias de San Carlos de Bariloche<sup>78</sup>, y a tono con la nueva política

<sup>71</sup> Bitácora de Operación 3: 1990 (N° 2251290)

<sup>72</sup> Bitácora de Operación 3: 1990 (N° 1870490, N°1740390),

<sup>73</sup> Bitácora de Operación 5: 1996 (Ejemplos N° 600996, N° 570996)

<sup>74</sup> Bitácora de Operación 3: 1990 (N° 2010790)

<sup>75</sup> Bitácora de Operación 6: 1999 (Ejemplos: N° 490599, N° 520599)

<sup>76</sup> Bitácora de Operación 5: 1996(N° 220596)

<sup>77</sup> Bitácora de Operación 3: 1990 (N° 2201190)

<sup>78</sup> Bitácora de Operación 4: 1993(N° 470693)

exterior, surgen varias inspecciones de la Organización Internacional de energía Atómica (OIEA)<sup>79</sup> y un grupo de seguridad física de EE.UU..

## **Detalle de los cambios tecnológicos o de utilización**

### ***Facilidad de Terapia Neutrónica por Captura en Boro (BNCT)***

Las iniciativas para implementar la técnica de Terapia por Captura de Boro (BNCT)<sup>66</sup> en el RA-6 comienzan a principios de la década del 90' y con ello nace el marco tecnológico MT "Salud", avalado por los grupos sociales relevantes de la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA) y por el plantel del RA-6 (DOMI). Herman Blaumann (en ese entonces, jefe de la división DIFRA) y Osvaldo Calzetta (Jefe del reactor) se interesaron en un proyecto internacional sobre irradiación de Boro en sangre para tratamiento de tumores, el BNCT. En presencia de un flujo de neutrones, el Boro produce un efecto de dosis muy local, que afecta sólo las células tumorosas con mínimo daño a células adyacentes sanas. En esa época los pocos que lo estaban estudiando, como el Massachusetts Institute of Technology (MIT), realizan BNCT con haces de neutrones epidérmicos<sup>618</sup>, lo cual era un desafío para el RA-6 desde el punto de vista técnico (Bustos & col., 1997).

Así, el proyecto se encaró en un principio como un problema académico de ingeniería<sup>80</sup>. En 1994 hubo una tesis de finalización de grado de la carrera de Ingeniería Nuclear haciendo las primeras evaluaciones numéricas para un posible filtro que pudiera conseguir un haz epitérmico para BNCT. En 1996 se presenta otro trabajo final de ingeniería, que ya era un análisis más detallado de un filtro de neutrones para obtener el haz epitérmico e incluía su diseño preliminar. Así se daban los primeros pasos en afianzar la capacidad experimental para cuantificar neutrones de esta energía<sup>81</sup>. En 1997 ingresa al plantel de DIFRA Juan Longhino, también para realizar su trabajo final de ingeniería, y le asignan construir, implementar y caracterizar experimentalmente junto a Blaumann y Calzetta un haz epitérmico de 15 cm de diámetro, pensando ya en una aplicación para tumores cerebrales (ésta era la dimensión promedio para un cráneo)<sup>82</sup>.

---

<sup>79</sup> Bitácora de Operación 3: 1990 (N° 1780490), Bitácora de Operación 5: 1996 (N° 440696)

<sup>80</sup> Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>81</sup> Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>82</sup> Entrevista 9: 10/10/2017, Entrevista 10: 27/02/2018



Figura 16: Hall del reactor RA-6 mostrando el equipo de trabajo junto a la nueva sala de irradiación (bloques de concreto hacia el centro de la foto, flecha blanca) alrededor de la salida del conducto que contiene la facilidad de BNCT. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández.

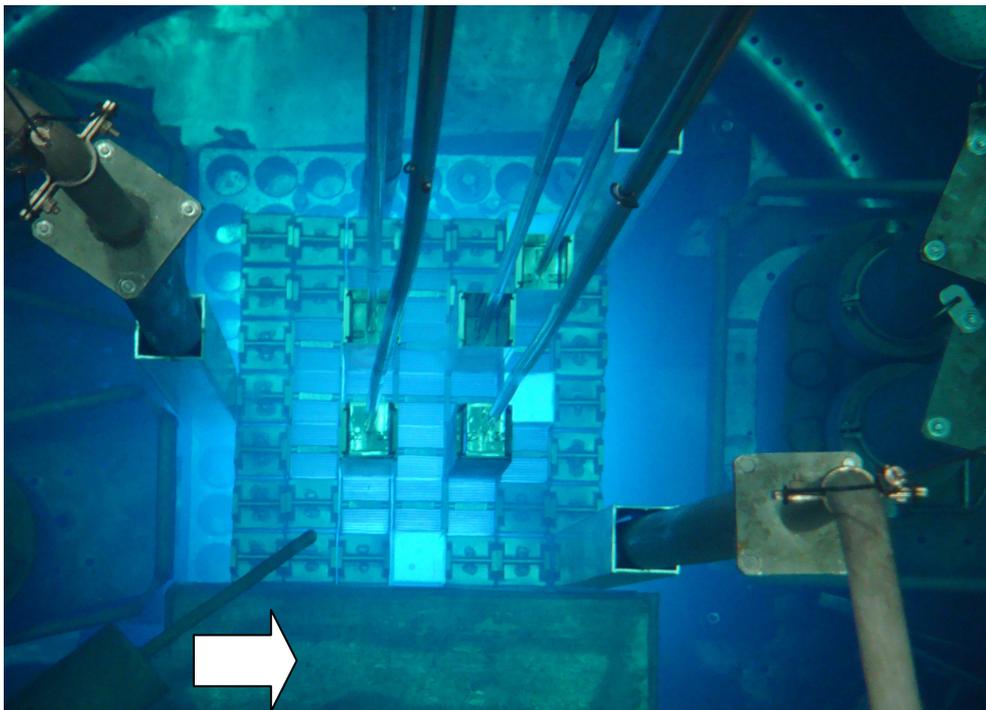


Figura 17: Pileta del reactor RA-6 mostrando el núcleo del mismo. En la parte inferior de la fotografía se observa el dispositivo que extrae los neutrones para la aplicación de BNCT (flecha blanca). Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández.

Este haz fue a ocupar el lugar que tenía la columna de grafito <sup>G12</sup> que utilizaba el LAAN para sus irradiaciones térmicas <sup>G32</sup>, y reemplazaron la misma por el filtro interno y externo de BNCT <sup>G23</sup>. Tanto el grupo social relevante DIFRA como el DOMI (encargado de aprobar las modificaciones) consideraban que la columna térmica no era necesaria, dado que de todas formas existían otros lugares de irradiación que podía usar el Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN), y que además ese lugar no se usaba para una producción a gran escala<sup>83</sup>. De hecho recuerdan que la última irradiación en esa posición había sido con el fin de esterilizar turbas<sup>84</sup>, un proyecto que se desarrolló sólo a escala de ensayo. Ambos grupos sociales relevantes vieron el cambio como una ganancia para la instalación y la Comisión de Energía Atómica (CNEA), sobre todo desde el punto de vista de instrumentación y uso de haces y radiaciones para otras aplicaciones<sup>85</sup>. El LAAN, por su lado, tuvo que adaptar sus metodologías para irradiar en otras posiciones<sup>86</sup>.

El mayor trabajo de instrumentación de la facilidad BNCT se dio entre el 1997 y el 2001, la ingeniería se hizo mayormente en San Carlos de Bariloche, con ayuda de personas del grupo de instrumentación de Buenos Aires<sup>87</sup>.

Como se necesitaba más información médica para poder usar esta facilidad, hacia 1994 se crea un programa global de CNEA, llamado BNCT, donde el RA-6 pasa a ser “la herramienta” que produce los neutrones<sup>88</sup>. Es en este momento donde comienzan a visualizarse los grupos que están relacionados a aspectos médicos y biológicos, que claramente formarán nuevos grupos sociales relevantes con influencia para el marco tecnológico “Salud”.

Con la obra terminada y la línea instrumentada, hacia el año 1999 tiene lugar una reunión en el ex Hotel Apartur de San Carlos de Bariloche<sup>89</sup> en donde se encuentran los integrantes de los grupos de Buenos Aires con el subgrupo de DIFRA dedicado a BNCT (Blaumann, Longhino) y personal del RA-6 (Calzetta), favoreciendo la interacción de las personas de San Carlos de Bariloche con profesionales de la radiobiología como Gustavo Santa Cruz (CAE), que acababa de volver de EE.UU. de hacer un doctorado en este tema, la química Sara Liberman, a cargo del proyecto, y una referente en Radiobiología, Amanda Schwimmt. Comienzan en este año las primeras irradiaciones en fantomas<sup>G21</sup> y animales pequeños, y se arma un grupo de

---

<sup>83</sup> Entrevista 6: 05/10/2017 a, Entrevista 9: 10/10/2017, Entrevista 3: 22/05/2017

<sup>84</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>85</sup> Entrevista 6: 05/10/2017 a, Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>86</sup> Entrevista 7: 05/10/2017 b, Entrevista 5: 04/10/2017

<sup>87</sup> Entrevista 4: 29/09/2017, Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 3: 22/05/2017

<sup>88</sup> Entrevista 9: 10/10/2017, Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 1: 02/12/2016

<sup>89</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

verificación de tratamientos en el Centro Atómico Constituyentes (CAC) con la Dra. Sara González<sup>90</sup>.

Si bien desde la parte técnica el proyecto había resultado exitoso, el haz obtenido no era el que más éxito podía dar desde la visión médica. El MIT, que venía trabajando hacía varios años en tumores cerebrales, estaba mostrando resultados dudosos y muchas complicaciones<sup>91</sup>. En el año 2000 se decide hacer una modificación en la facilidad BNCT del RA-6 y trabajar con un haz mixto <sup>G28</sup>, más práctico y con la expectativa de cumplir objetivos a corto plazo. Atendiendo a los últimos resultados médicos presentados internacionalmente, se cambia el foco de tumor cerebral a melanoma <sup>G35, 92</sup>. Un año después se obtiene un haz epi-hiper-térmico <sup>G28</sup>, que comienza a ser usado masivamente en irradiación de animales pequeños y grandes. En esta etapa aparece mucho intercambio internacional con grupos de radiobiología. Por ejemplo, se consiguen para irradiación ratas noruegas, y hasta el año 2004 los integrantes del grupo BNCT pueden viajar mucho, incluso participando de conferencias internacionales (como una en la ciudad de Boston)<sup>93</sup>.

En el año 2001 comienzan a realizar las gestiones para conseguir la habilitación del ANMAT, con el fin de comenzar con protocolos clínicos de investigación. El ambiente donde se irradiaban ratones, ratas y hamsters se prepara para la irradiación de pacientes. Se expande la sala, se mejora la iluminación y la pintura. ANMAT, reconociéndose incompetente en el tema nuclear remite la responsabilidad a la ARN. Los trámites demoran unos dos años y se obtienen los permisos recién en el 2003<sup>94</sup>. En este año ya estaba construida la primera versión de la sala de irradiación, en una configuración parecida a la que tiene hasta hoy. La misma se justificó también por las visitas de físicos, radiobiólogos, expertos en haces y en caracterización del haz<sup>95</sup>. Como aún no estaba clara la efectividad del tratamiento desde el punto de vista médico, se seleccionaron desde el Instituto Ángel H. Roffo sólo pacientes terminales, a los cuáles se le ofrecía BNCT como mejor opción paliativa. Entre el 2003 y el 2007 se irradiaron siete pacientes terminales.

---

<sup>90</sup> Entrevista 9: 10/10/2017 , Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>91</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>92</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>93</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>94</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>95</sup> Entrevista 9: 10/10/2017



Figura 18: Primera irradiación en un paciente realizada con la técnica BNCT en el RA-6.  
Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández.



Figura 19: Equipo de trabajo realizando las pruebas para la técnica BNCT en el hall del reactor RA-6. Fuente: Gentileza Ing. Carlos Fernández.

LA NACION | CIENCIA/SALUD

## Científicos argentinos probaron un nuevo método contra el cáncer

Ataca sólo las células tumorales con un haz de neutrones combinado con boro

Fabiola Czubaj **REPORTAJE**

10 de octubre de 2003



**L**uego de siete años de una minuciosa preparación, un equipo multidisciplinario liderado por doce investigadores argentinos realizó ayer el primer ensayo clínico en América latina de la terapia por captura de neutrones en boro (BNCT, por sus siglas en inglés), un tratamiento que intenta destruir *desde adentro* las células tumorales.

A las 13, una paciente del Hospital de Oncología Angel Roffo, afectada por un melanoma avanzado que no responde a las terapias clásicas, ingresó en un *búnker* construido especialmente en el reactor RA-6 del Centro Atómico Bariloche de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Una hora antes, los médicos le habían inyectado *borofenilalanina*, una sustancia inerte e inocua que se aloja selectivamente en las células tumorales.

LA NACION | CIENCIA/SALUD

## Un giro de la historia tecnológica

10 de octubre de 2003

**E**l RA-6, que hoy permite a la Argentina estar en una vanguardia mu investigación médica, fue diseñado y construido a fines de los años 70 con totalmente distintos, en una suerte de experimento institucional de la CN objetivos se cumplieron a rajatabla.

El RA-6 ha servido durante dos años sin ninguna falla para formar a física nucleares de la Argentina, pero también de otros países. No fue el primer experimental de la CNEA, como sugiere la cifra "seis" de su nombre, pero cuyo diseño y construcción se delegaron a Invap, una firma entonces muy entre la CNEA y el gobierno de Río Negro para unir la excelencia técnica

RECOMEN

**EL DÍA** La Plata 15 °C  
 Viernes 30 de Noviembre, 2018

Menú | La Región | Deportes | Policiales | Espectáculos | Política y Economía | El mundo | Sociedad | Opinión

TITULARES

### Gran avance argentino en la lucha contra el cáncer

Se logró la aplicación, por primera vez en América latina, de un tratamiento que no daña el tejido sano

10 de Octubre de 2003 | 00:00



En un significativo avance en la lucha contra el cáncer, científicos argentinos lograron aplicar, por primera vez en Latinoamérica, un novedoso tratamiento oncológico que ataca selectivamente las células cancerosas, sin dañar el tejido sano.

Este nuevo paso en la lucha contra el cáncer fue protagonizado, después de una década de trabajo, por investigadores de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y profesionales del Departamento de Terapia Radiante del Instituto de Oncología "Angel Roffo".

La principal ventaja de este nuevo método de tratamiento oncológico es que "no produce daños significativos en el tejido sano, dado que la acción destructiva ocurre principalmente en las células cancerosas", indicaron fuentes de la CNEA.

Figura 20: Artículos de diario aparecidos luego de la primera irradiación de un paciente en el RA-6. Fuentes: versión digital de los diarios La Nación y El Día.

La primera irradiación de un paciente humano en el RA-6 fue un suceso de médicos, pacientes, investigadores y técnicos<sup>96</sup>. Se había logrado convertir al reactor en una instalación de irradiación terapéutica. Eso fue un logro muy analizado por la prensa argentina (La Nación, 2003/10/03; La Nación 2003/10/10), que aumentó notablemente la visibilidad del RA-6 para un público general<sup>97</sup>. El RA-6 lograba hacer funcionar una técnica de avanzada en salud; muy pocos países, entre ellos Japón, Finlandia y EE.UU. venían desarrollando capacidades en esto, y en Argentina, un grupo muy serio de CAB, junto a radiobiólogos del CAE y médicos del Departamento de Terapias Radiantes del Instituto Ángel H. Roffo en Buenos Aires habían logrado implantarla en San Carlos de Bariloche, cumpliendo con todas las autorizaciones y certificaciones de salud como correspondía<sup>98</sup>.

<sup>96</sup> Entrevista 4: 29/09/2017, Entrevista 6: 05/10/2017 a, Entrevista 9: 10/10/2017, Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 1: 02/12/2016, Entrevista 8: 06/10/17

<sup>97</sup> Entrevista 8: 06/10/17

<sup>98</sup> Entrevista 9: 10/10/2017 Entrevista 9: 10/10/2017

### **Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN)**

En los 90', y bajo una situación económica difícil para el laboratorio, aparece la Ley de Promoción y Fomento de la Innovación Tecnológica que permitió asociar a Fundación José A. Balseiro<sup>G26</sup> como unidad de vinculación. Con esta ley, el 80% de lo cobrado por cualquier servicio que brindara el laboratorio a un cliente externo quedaba para el grupo<sup>99</sup>. Los integrantes del LAAN recuerdan que se cobraba igual o más barato que la misma medición en un laboratorio internacional, convirtiéndose así la metodología del "servicio" en una fuente de financiamiento importante para equipamiento, insumos, recursos humanos, desarrollos, etc. Incluso cuentan que con estos ingresos pudieron hacer obras de mejoramiento de la infraestructura del laboratorio, comprando piso y calefactores<sup>100</sup>. Con el LAAN como su grupo social relevante impulsor en el RA-6, esta modalidad hace su aparición como un nuevo marco tecnológico, el MT "Servicios", que viene a modificar el anterior MT "Investigación". Ahora, el artefacto es entendido como una herramienta de investigación que, cubriendo las necesidades de terceros, permite obtener fondos para el laboratorio.

Los servicios les permiten, además, conectarse con necesidades de la sociedad. Así surge por ejemplo, un convenio con los Departamentos de Aguas de Río Negro, Mendoza y La Pampa para análisis de metales pesados, donde había que se involucran no sólo en tarea analítica que implica el análisis, sino también en entender los procesos biológicos y fisicoquímicos, planificar los muestreos, interpretar los resultados, etc<sup>101</sup>. En definitiva, comienzan a plantear una investigación completa para resolver un problema concreto asociado a un servicio<sup>102</sup>. Eso fue quizás el punto de partida del LAAN hacia el desarrollo de líneas de investigación propias en esta etapa.

A mediados de los años 90' el LAAN, y por incentivo propio de los investigadores María Arribere y Sergio Ribeiro, empieza a definir líneas propias de investigación orientadas a la aplicación de estudios analíticos de medio ambiente. Comienzan con la cuantificación de los metales pesados en sedimentos, aguas, cadena trófica, etc. e incorporan las líneas de fechado de muestras geológicas por  $^{210}\text{Pb}$ . Como los mismos investigadores relatan<sup>103</sup>, trabajar en temas medioambientales era complicado, porque había muchos intereses involucrados y poco sustento institucional ante posibles complicaciones. Una salida a eso, fue reinventarse como un grupo de investigación en

<sup>99</sup> Entrevista 7: 05/10/2017 b

<sup>100</sup> Entrevista 7: 05/10/2017 b, Entrevista 5: 04/10/2017

<sup>101</sup> Entrevista 7: 05/10/2017 b, Entrevista 5: 04/10/2017

<sup>102</sup> Entrevista 5: 04/10/2017

<sup>103</sup> Entrevista 7: 05/10/2017 b, Entrevista 5: 04/10/2017

temas propios, que les permitieran realizar cosas más comprometidas, sin necesidad de depender del financiamiento de un privado, y así salir del juego de las presiones e intereses de terceros, publicando los datos obtenidos en forma de artículos en revistas internacionales y presentaciones a congresos<sup>104</sup>.

En definitiva, el LAAN pasa de ser un servicio analítico del RA-6 a ser un grupo de investigación inserto en el mundo científico-académico desde un nuevo ángulo. Para ello requieren la incorporación de biólogos, geólogos y químicos, trabajo en colaboración con otros grupos argentinos y del exterior, escritura de proyectos para pedir financiación externa a la CNEA, etc. Naturalmente, este desarrollo atrae algunos investigadores de CONICET, que a su vez comienzan a formar doctorandos y postdocs, y así las líneas de investigación se van asentando, creciendo y diversificando, dando lugar a un espacio de formación de recursos humanos con alto nivel académico, lo cual no se observa con esta intensidad entre los otros grupos usuarios del RA-6<sup>105</sup>. A expensas de una merma en el MT “Servicios” va aumentando en relevancia un nuevo marco tecnológico, el MT “Bio/Eco”, una reinterpretación del MT “Investigación”, que había aparecido en la fase anterior. En esta etapa de la fase 2 las investigaciones se dan en un ámbito académico e internacional, y más allegado a temas no nucleares.

Siendo el Análisis por Activación un nicho tan potente para la investigación en general, y dado el buen nivel académico interno que se fue generando en el grupo, rápidamente el LAAN comenzó a publicar a nivel internacional, y esto les permitió crecer en la dimensión de investigación con proyectos PICT<sup>G38</sup>, PIP<sup>G39</sup>, PUN-CUYO<sup>G40</sup>, PROEVO<sup>G41</sup> y 3 proyectos de la OIEA (de unos 300 mil dólares cada uno) que permitieron comprar equipamiento grande y consolidar líneas de trabajo con la venida de expertos, pasantías en el exterior de algunos integrantes del grupo, etc. Así lograron generar colaboraciones con EE.UU., Canadá y Eslovenia, que le dio al LAAN otra proyección y otro sustento, permitiéndoles además suplantar el financiamiento obtenido por cobro de servicios a terceros o directamente de la CNEA<sup>106</sup>.

## **Marcos tecnológicos presentes en la fase 2**

Durante la fase 1 habían aparecido tres marcos tecnológicos (MT) “Docencia”, “Investigación” y “Desarrollo”, como puede observarse en la Tabla 5, el primero continúa durante la fase 2 del mismo modo que en la fase 1, mientras que los dos

---

<sup>104</sup> Entrevista 5: 04/10/2017

<sup>105</sup> Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>106</sup> Entrevista 5: 04/10/2017, Entrevista 7: 05/10/2017 b

últimos se actualizan según los nuevos intereses impuestos por los grupos sociales relevantes en esta etapa. Así, el MT “Desarrollo” evoluciona en el MT “Salud”, mientras que el MT “Investigación” se recrea en el MT “Servicios” primero y luego en el MT “Bio/Eco”.

El MT “Docencia” tendrá durante esta fase al grupo de la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA) y al plantel del RA-6 (DOMI) como los dos grupos sociales relevantes más activos en este marco, generando cátedras de laboratorio y prácticas diversas para la carrera de grado del Instituto Balseiro (IB), más capacitaciones y cursos para planteles de otros reactores. En segundo lugar, aparece el Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN), con una materia optativa sobre la técnica para alumnos del IB (Tabla 6).

El MT “Salud” (Tabla 7) surge de la necesidad de una alternativa a la radioterapia para tratar tumores cerebrales en el país y la oportunidad de convertir el RA-6 en un instrumento para fines médicos. El grupo social relevante más significativo en un principio es DIFRA, conjugándose un corto tiempo después con los grupos sociales relevantes de radiobiología del CAE y del Instituto Ángel Roffo de Buenos Aires. Durante esta fase los estos dos últimos grupos impulsan fuertes cambios estructurales y de finalidad en el RA-6.

Por otro lado, aparecen asociados al LAAN el MT “Servicios” en la primera etapa de los 90’ (Tabla 8), que es reemplazado por el MT “Bio/Eco” en la segunda mitad de la década (Tabla 9). El MT “Servicios”, impulsado por la necesidad de obtener recursos financieros, se desarrolla hacia la búsqueda de clientes externos a CNEA que necesiten de las capacidades técnicas del AAN. El LAAN es el impulsor, ayudándose de la Fundación José A. Balseiro para la vinculación tecnológica con las empresas.

Al cancelarse la posibilidad de facturar por los servicios hacia mitad de los 90’, el LAAN se academiza, abriendo sus propias líneas de investigación en temas que no tienen un origen nuclear, sino biológico o ecológico, a tono con el mal momento que pasa la generación nucleoelectrónica en el país<sup>107</sup>. Se da lugar así a la evolución del MT “Investigación” con el nacimiento del MT “Bio/Eco”, que se desarrollará también en las fases siguientes, incluyendo nuevas relaciones con organismos nacionales e internacionales del ámbito científico-académico como el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICET), la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Universidad Nacional del Comahue.

---

<sup>107</sup> Entrevista 3: 22/05/2017

Tabla 5: Marcos tecnológicos presentes en la Fase 2.

Marco Tecnológico		Fase 2											
		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
MT1	Docencia	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
MT2	Investigación												
MT3	Desarrollo												
MT4	Salud			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
MT5	Servicios	x	x	x	x	x							
MT6	Bio/Eco					x	x	x	x	x	x	x	x

Tabla 6: Características del MT “Docencia” durante la fase 2

Marco Tecnológico	Docencia
Fase analizada	Fase 2: Nuevos horizontes
Años	1990-2002
Grupos Sociales Relevantes e interpretación del artefacto	<p>Instituto Balseiro (IB): Herramienta educativa</p> <p>División Física de Reactores Avanzados (DIFRA): Herramienta educativa para cátedras de laboratorio y trabajos de fin de carrera.</p> <p>Plantel RA-6 (DOMI): Herramienta para capacitar operadores de otros reactores y dar cursos.</p> <p>Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN): Herramienta educativa para cátedras de laboratorio y trabajos de fin de carrera.</p> <p>INVAP S.E.: Herramienta para capacitar operadores de otros reactores y ventaja competitiva al vender un paquete de reactor/capacitación.</p> <p>Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN): Herramienta para realizar capacitaciones en Radioprotección y Seguridad Nuclear</p> <p>Acuerdo Regional de Cooperación para la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y Caribe (ARCAL): Herramienta para realizar capacitaciones en Radioprotección y Seguridad Nuclear.</p>
Problema	<p>Necesidad de prácticas experimentales con el reactor para la carrera de Ingeniería Nuclear del Instituto Balseiro.</p> <p>Necesidad de un lugar para capacitar planteles de operadores de otros reactores.</p>
Solución	Usar el RA-6 en las prácticas de estudiantes y profesionales.
Disciplinas	Ingeniería Nuclear

<b>Cambios Impulsados en el artefacto y/o sus usos</b>	Ninguno
--	---------

**Tabla 7: Características del MT “Salud” durante la fase 2**

<b>Marco Tecnológico</b>	<b>Salud</b>
<b>Fase analizada</b>	Fase 2: Nuevos Horizontes
<b>Años</b>	1990-2002
<b>Grupos Sociales Relevantes e interpretación del artefacto</b>	<p>División Física de Reactores Avanzados con subgrupo BNCT: Herramienta para probar desafíos tecnológicos. Herramienta para curar el cáncer.</p> <p>Plantel del RA-6 (DOMI): Herramienta para probar nuevos diseños de ingeniería. Herramienta para curar el cáncer.</p> <p>Instituto Ángel Roffo (ROFFO): Herramienta para curar el cáncer. Máquina que produce los neutrones para utilizar en el tratamiento de cáncer.</p> <p>Dosimetría y Radiobiología del Centro Atómico Ezeiza (CAE): Herramienta para curar el cáncer.</p>
<b>Problema</b>	Internacionalmente comienzan a investigarse tratamientos de tumores cerebrales con una terapia que utiliza las emisiones del Boro cuando es irradiado con neutrones epitérmicos. En la Argentina no existe una facilidad para investigar este tratamiento.
<b>Solución</b>	Modificar el RA-6 para permitir la irradiación de tumores cerebrales.
<b>Disciplinas</b>	<p>Ingeniería</p> <p>Física de Reactores</p> <p>Neutrónica</p> <p>Radioprotección</p> <p>Radiobiología</p> <p>Dosimetría</p> <p>Medicina</p>
<b>Cambios Impulsados en el artefacto y/o sus usos</b>	<p>Quita de columna térmica del núcleo</p> <p>Apertura de canal de irradiación</p> <p>Retiro de blindaje de hormigón sobre el canal</p>

	<p>Instalación de filtros y colimadores</p> <p>Rediseño de blindajes</p> <p>Instalación de una sala de irradiación con camilla y posicionador</p>
--	---

**Tabla 8: Características del MT “Servicios” durante la fase 2**

<b>Marco Tecnológico</b>	<b>Servicios</b>
<b>Fase analizada</b>	Fase 2: Nuevos Horizontes
<b>Fase</b>	Nuevos Horizontes
<b>Años</b>	1990-2002
<b>Grupos Sociales Relevantes e interpretación del artefacto</b>	<p>Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN): Herramienta para investigar para terceros. Ventaja competitiva para atraer clientes. Herramienta para conseguir financiación para el grupo.</p> <p>Clientes del LAAN que solicitan servicios de análisis: Herramienta que brinda un análisis cuantitativo preciso de elementos traza.</p>
<b>Problema</b>	Falta de recursos financieros del Estado para mantener los laboratorios y financiar líneas de investigación.
<b>Solución</b>	<p>Aprovechar la la Ley de Promoción y Fomento de la Innovación Tecnológica, que permite la facturación por servicios.</p> <p>Incorporar monotributistas para determinadas tareas (por ejemplo recolección y preparación de muestras).</p> <p>Trabajo bajo normas de calidad.</p>
<b>Disciplinas</b>	<p>Ingeniería Nuclear</p> <p>Química Analítica</p>
<b>Cambios Impulsados en el artefacto y/o sus usos</b>	Nuevo uso: brindar servicios.

**Tabla 9: Características del MT “Bio/Eco” durante la fase 2**

<b>Marco Tecnológico</b>	<b>Bio/Eco</b>
<b>Fase analizada</b>	Fase 2: Nuevos Horizontes
<b>Fase</b>	Nuevos Horizontes

<b>Años</b>	1990-2002
<b>Grupos Sociales Relevantes e interpretación del artefacto</b>	<p>Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN): Herramienta de investigación en temas no nucleares. Herramienta de investigación científico-académica. Herramienta para conseguir subsidios. Lugar de trabajo para científicos no nucleares. Ventaja competitiva a nivel internacional</p> <p>Profesionales Bio/Eco: Herramienta de investigación científico-académica. Lugar de trabajo para científicos no nucleares. Ventaja competitiva a nivel internacional</p>
<b>Problema</b>	Los servicios de análisis no brindan la libertad ni los recursos necesarios para crecer como grupo.
<b>Solución</b>	<p>Generar una línea de investigación propia que además provea de financiación y recursos humanos en forma externa a CNEA.</p> <p>Incorporación de becarios e investigadores CONICET.</p> <p>Presentación de proyectos PICT, PIP, Cuyo, IAEA.</p>
<b>Disciplinas</b>	<p>Ingeniería Nuclear</p> <p>Química Analítica</p> <p>Geología</p> <p>Biología</p> <p>Vulcanismo</p> <p>Paleoecología</p> <p>Ecotoxicología</p>
<b>Cambios Impulsados en el artefacto y/o sus usos</b>	Nuevo Uso: Académico e Investigación en temas no nucleares.

## **Grupos sociales relevantes presentes en la fase 2**

*MT "Docencia": IB, DIFRA, LAAN, INVAP S.E., ARN, ARCAL*

El MT "Docencia" en esta fase sigue funcionando con el Instituto Balseiro (IB) desde su función educativa como uno de los grupos sociales relevantes más importantes (LAAN y DIFRA tienen materias especiales dictadas en el reactor) y aparecen nuevos grupos que también interpretan el RA-6 como una herramienta educativa. Ejemplos son la empresa INVAP S.E., que requiere la formación de planteles extranjeros o la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) y, los participantes del Acuerdo Regional de

Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe (ARCAL) que lo utilizan para dar cursos de radioprotección y seguridad nuclear a nivel nacional e internacional.

*MT “Salud”: DIFRA, Radiobiología, Roffo*

Para el proyecto BNCT (que es la solución al problema tecnológico representado en el MT “Salud”) los grupos sociales relevantes en San Carlos de Bariloche son la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA) con su subgrupo BNCT, y el personal de RA-6 (DOMI). En conjunto llevan a cabo la planificación y puesta en marcha del proyecto. Además, desde Buenos Aires aparecen los grupos sociales relevantes de Radiobiología (CAE) y el Instituto Ángel H. Roffo de medicina oncológica, como la contrapartida biomédica. Son estos dos grupos los que finalmente tendrán la decisión sobre los requerimientos que se le pedirán al artefacto, ya que son los que dominan la técnica médica y trabajan con los pacientes. Los grupos de San Carlos de Bariloche serán los encargados de diseñar e implementar las modificaciones necesarias para alcanzar con éxito esos requerimientos.

*MT “Servicios”: LAAN, Clientes*

Para el MT “Servicios” el grupo social relevante primordial es el LAAN, que interpreta al RA-6 como una herramienta de investigación para conseguir clientes externos a la CNEA, con los que financiar las actividades del laboratorio. El otro grupo social relevante son los mismos clientes, que requieren los servicios del RA-6 para determinar elementos trazas (Departamentos de Aguas, por ejemplo), interpretando el RA-6 como una máquina útil a sus necesidades y accesible más allá del Centro Atómico Bariloche. Asimismo, aparece la Fundación José A. Balseiro, que si bien no es un grupo social relevante para el RA-6 (ya que no lo interpreta de una manera especial) es utilizada como Unidad de Vinculación Tecnológica entre el LAAN y los clientes, para la facturación.

*MT “Bio/Eco”: LAAN*

El surgimiento del MT “Bio/Eco” en el LAAN a expensas del MT “Servicios” hace desaparecer grupo social relevante de los clientes externos a CNEA y en contrapartida, surge como un nuevo grupo relevante los profesionales de otras áreas (biólogos, geólogos, químicos) que encuentran dentro del LAAN un lugar de trabajo en

el RA-6. Asimismo, aparecen las relaciones con el CONICET, la CNEA y la Universidad Nacional del Comahue como proveedores de recursos humanos y con las agencias de financiamiento nacionales e internacionales (OIEA), como proveedoras del recurso económico.

## **Análisis socio-técnico de la fase 2**

La fase 2 encuentra a los grupos sociales relevantes en torno al RA-6 conociendo los detalles del funcionamiento del aparato mucho mejor que durante la fase 1, y por lo tanto con una gran confianza en su capacidad de modificar el artefacto. El marco tecnológico (MT) "Docencia" sigue activo, tanto para instruir a los alumnos de la carrera de Ingeniería Nuclear del Instituto Balseiro (IB) como para entrenar y capacitar planteles de otros reactores. También se dan cursos especiales de radioprotección y seguridad nuclear para distintos organismos. En este marco tecnológico actúan con un fuerte compromiso algunos profesionales de la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA) y del plantel de operaciones del RA-6 (DOMI). El Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN) por su lado, brinda una materia optativa sobre la técnica para los alumnos del IB.

En el contexto político-económico de la década de los 90' (neoliberal, de falta de presupuesto, de privatizaciones y alineado a las voluntades extranjeras en temas estratégicos) aparecen dos factores importantes que cambian el rumbo del RA-6: Primero una cierta renuencia del gobierno a seguir involucrándose en temas de generación de energía y una ganancia de temáticas más aceptadas social e internacionalmente, como la salud y el medioambiente. Segundo, la aparición de una ley (la Ley de Promoción y Fomento de la Innovación Tecnológica) que permite cobrar por servicios.

Respecto del primer punto, esta situación brinda el coctel necesario para que pueda gestarse en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) un proyecto tan interdisciplinario y abarcativo como la Terapia Captura Neutrónica por Boro (BNCT). En respuesta a la necesidad de una alternativa a la radioterapia para tratar tumores cerebrales en el país, y junto a la oportunidad de convertir el RA-6 en un instrumento para tal fin, surge un nuevo marco tecnológico en torno al reactor, el MT "Salud".

Acompañando los nuevos intereses de los grupos sociales relevantes DIFRA y DOMI, el MT "Desarrollo" de la fase 1 deviene en el MT "Salud" y todos los esfuerzos de ambos grupos se concentran en desarrollar esta nueva aplicación. El proyecto involucra (por primera vez en la historia del RA-6) grandes cambios estructurales, la instalación de nuevos equipamientos e instrumentación, la necesidad de capacitación,

el requerimiento de re-licenciamientos, trabajo interdisciplinario en equipo, gestión de proyecto y por sobre todo brinda al artefacto una nueva interpretación: el RA-6 como una herramienta para curar el cáncer.

En esta fase, la trayectoria socio-técnica del reactor se ve influenciada además por dos grupos sociales relevantes externos al Centro Atómico Bariloche (CAB): el grupo de radiobiología del Centro Atómico Ezeiza (CAE) en la Provincia de Buenos Aires y el grupo de oncología del Instituto Ángel Roffo en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Si bien la idea de realizar la técnica de BNCT nace de la interacción entre personas de los grupos DIFRA y DOMI, al ampliarse el conjunto de grupos sociales relevantes involucrados, las necesidades y visiones de los médicos del Instituto Ángel Roffo y de los radiobiólogos pasa a ser la interpretación dominante, ya que son estos grupos los que tienen el conocimiento sobre cómo debe funcionar finalmente la técnica para servir como la herramienta para la cuál está pensada. Los grupos de Bariloche quedan a disposición de éstos para lograr que técnicamente se llegue a cumplir con los requerimientos impuestos. La línea de trabajo se maneja como un grupo de ingeniería multidisciplinario, sin entrar al mundo académico o de investigación más allá de las varias tesis finales de ingeniería, que han sido parte del recurso humano y económico necesario para generar una buena parte del proyecto.

Paralelamente, el MT "Investigación" que había aparecido en la fase 1 asociado al LAAN con sus investigaciones sobre la determinación de constantes físicas y el estudio de materiales de uso en la generación nucleoelectrónica, se recrea en gran medida en el MT "Servicios" primero y en el MT "Bio/Eco" después.

El primer cambio de marco se da durante la primera mitad de la década del 90', cuando validado por la Ley de Promoción y Fomento de la Innovación Tecnológica, el RA-6 pasa a tener como unidad de vinculación a la Fundación Balseiro. En este contexto, los investigadores podían cobrar para el laboratorio un 80% de lo facturado por contratos de innovación tecnológica, asesorías y servicios. Con esta política, uno de los grupos sociales relevantes del RA-6 que más se benefició en su momento fue el LAAN, ya que podían proveer servicios de análisis a otras empresas e instituciones estatales, como por ejemplo a los departamentos provinciales de aguas, para análisis de metales pesados. Siendo los fondos de CNEA escasos para mantener las actividades del LAAN, el grupo toma entonces el camino de la investigación para terceros, buscando clientes externos interesados en la técnica, dando así el nacimiento al MT "Servicios".

Si bien este mecanismo funcionaba, y permitía comprar equipamiento y mejorar la infraestructura del LAAN, en un momento de fuerte recorte presupuestario, CNEA decide hacia mitad de la década de los 90' no permitir más este tipo de transferencia

de tecnología, y cancela la posibilidad de facturar por servicios. Según los entrevistados, la explicación institucional era “evitar que se contamine la mente del investigador”, que podía pensar más en el retorno económico para el grupo o para él mismo, que para objetivos que estuvieran bien alineados con el plan de la institución. Sin embargo, los mismos entrevistados reconocen la falacia de esta declaración, ya que existía una cota máxima para complemento de los sueldos y gastos administrativos. Con este giro en la política institucional de CNEA, sumado a la problemática que surge en torno investigaciones para los intereses privados, hacen que el grupo rápidamente tome un camino evolutivo diferente al de otros grupos sociales relevantes del RA-6: el LAAN se academiza para formar sus propias líneas de investigación, y obtener así recursos.

Teniendo en cuenta la mala prensa de la actividad nuclear en el mundo, y aprovechando los conocimientos que se habían ido adquiriendo durante el MT “Servicios”, el LAAN comienza a reunir profesionales de otras áreas, como la geología, la biología y la ecología, que encuentran en este grupo un lugar de trabajo. El RA-6, con la posibilidad de realizar la técnica de Análisis por Activación Neutrónica, aparece como una ventaja competitiva frente otras técnicas analíticas para este grupo social relevante. Comienzan a fomentar líneas de investigación propias y rápidamente el LAAN va adquiriendo experiencia en la escritura de artículos científicos y la gestión de financiamiento en agencias nacionales e internacionales.

En esta fase, la trayectoria socio-técnica del RA-6 se encuentra fuertemente marcada por el MT “Salud”, por sobre los demás marcos tecnológicos presentes. Hacia fines de la década del 90’, a medida que se hacen necesarias más horas de trabajo para el desarrollo de la línea BNCT, y luego para las pruebas en fantomas y animales, las solicitudes de uso del grupo DIFRA para estas tareas aumentan a expensas de las solicitudes de los grupos sociales relevantes LAAN e IB. Las obras de remodelación para instalar la nueva línea, con el reactor fuera de servicio, afectan momentáneamente a estos dos grupos y los obliga a replantear el uso del reactor. El LAAN realiza intensos trabajos de irradiación de muestras antes de la salida de servicio del RA-6, y luego se dedica al análisis de datos, escritura de artículos científicos y nuevas campañas de recolección de muestras. Y el IB por su lado suspende momentáneamente algunas prácticas de laboratorio que se daban en el reactor.

## 6. Fase 3 - Cambio de Núcleo (2005-2009)

### Cambios tecnológicos y/o de utilización en la fase 3

En esta etapa se rediseña el núcleo del RA-6 para devolver las placas con Uranio enriquecido a EE.UU. Para ello fue necesario no sólo quitar el núcleo original, embalarlo acondicionado para su transporte y llevarlo hasta el puerto Ingeniero White en Buenos Aires, sino también fue necesario diseñar un núcleo nuevo utilizando Uranio de bajo enriquecimiento y en otra forma química, fabricarlo, probarlo, instalarlo, generar los nuevos permisos de operación ante la ARN, y poner la (cuasi nueva) instalación en marcha.

El trabajo de rearmado del núcleo se aprovechó asimismo para subir la potencia nominal del RA-6 de 0.5MW a 1MW. Este cambio requirió la rediseñar la ingeniería de todo el sistema termohidráulico y neutrónico, incluidos el reemplazo de todos los sistemas de refrigeración del reactor (bombas del circuito primario, torres de enfriamiento, intercambiadores de calor, etc.), verificar teórica y experimentalmente los nuevos márgenes de seguridad, rediseñar la mecánica, modernizar la electrónica y los circuitos de control, y realizar el mantenimiento y puesta a punto de la instrumentación más antigua del reactor, para adaptarla a las nuevas condiciones.

### Características históricas, económicas, sociales y políticas

Luego de la crisis económica, social y política del 2001, con del derrumbamiento de la matriz neoliberal, aparece en el 2003 el movimiento kirchnerista, de orientación peronista y centro-izquierda, primero con Néstor Kirchner (2003-2007) y luego con Cristina Fernández (2007-2015) en la presidencia. Se da así inicio a una política económica que rechaza el ajuste y se muestra contraria a los tratados de libre comercio impulsados por EE.UU.; está a favor de la intervención estatal en el mercado en algunos sectores, plantea el fortalecimiento de un eje regional con otros países latinoamericanos, e intenta recuperar áreas estratégicas desde el Estado y devolver un papel dinámico primario a la industria nacional, incluyendo a las pequeñas y medianas empresas (Hurtado, 2014).

Durante el período de Néstor Kirchner se impulsó la nacionalización de empresas, como las correspondientes a Aeropuertos Argentinos, el servicio de Correos, Aguas Argentinas y servicios públicos privatizados durante la presidencia de Menem. Fernández impulsó en 2012 la ley de la Soberanía Hidrocarburífera<sup>108</sup>, con la que se logró la nacionalización del 51% accionario de los Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF).

<sup>108</sup> Ley 26741 de de la Soberanía Hidrocarburífera de la República Argentina, sancionada el 3/05/2012 y promulgada el 4/4/2012.

Asimismo, en agosto de 2006, en un contexto de fuerte crecimiento económico y siguiendo las directrices de industrialización y estatismo, el gobierno argentino pone en marcha la reactivación del sector nuclear con el nuevo Plan Nuclear. Éste incluye la generación masiva de energía nucleoelectrica de la mano de la continuación de las obras de la central Atucha II y la reactivación del reactor CAREM. También incentiva la reactivación de la planta de agua pesada en Arroyito en la Provincia de Neuquén, y la planta piloto de enriquecimiento de Uranio en Pilcaniyeu, Provincia de Río Negro. Asimismo, este plan contempla el desarrollo de aplicaciones de la tecnología nuclear para la salud pública y la industria. En definitiva, y enmarcándolo en un conjunto de políticas que fortalecen la ciencia y tecnología, devuelve al sector nuclear argentino la calidad de “tecnología estratégica” que había tenido durante otros años, volviendo a considerarlo objeto de una planificación estratégica del Estado y con amplias perspectivas a futuro.

## **El Plan Nuclear**

La década del 2000 continúa con un fuerte apoyo a la medicina nuclear, reflejado en la creación del Plan Federal de Medicina Nuclear, que apunta a llevar los usos clínicos de la tecnología nuclear a las regiones más postergadas del país. Además, se inaugura un laboratorio de radioquímica en donde se logra la separación y purificación del  $^{90}\text{Sr}$  y la fabricación de  $^{99}\text{Mo}$ . Comienza la provisión de  $^{18}\text{F}$  desde el ciclotrón de Ezeiza. Se abre el Centro de Diagnóstico Nuclear (en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires) y se crea el primer contenedor nacional para el transporte de radioisótopos. En 2002, por otro lado, se termina de acondicionar la facilidad de irradiación del RA-6 como “quirófano radiológico” para ser usado en pacientes en el marco del novedoso tratamiento oncológico experimental llamado BNCT<sup>109</sup> y durante el 2003 se da la primera aplicación de la terapia en un paciente humano<sup>110</sup>. Asimismo, se toma la decisión de construir el reactor multipropósito RA-10 en vistas de consolidar el proceso de fabricación de radioisótopos y uso de haces.

Durante este período también se observa nueva actividad en el tema remediación, con el inicio de las obras de restitución ambiental en el predio del ex – Complejo Minero Fabril Malargüe (Proyecto PRAMU) y en el tema de gestión de residuos, con la presentación del primer informe anual de gestión de residuos

---

<sup>109</sup> Modificado de <http://www.cab.cnea.gov.ar/index.php/oferta-tecnologica/equipamiento/reactor-RA-6>

<sup>110</sup> Este evento se comprende desde la historia de la política insitucional de la CNEA como un punto clave, que indica claramente un acercamiento continuado hacia la medicina nuclear desde la creación de la FUESMEN en la ciudad de Mendoza, en 1991.

radioactivos y combustibles gastados. En 2002 se crea el Instituto de Energía y Desarrolla Sustentable (IEDS) en el marco de un Acuerdo firmado entre la CNEA y la Secretaría de Energía, y luego en 2008 el Banco Mundial aprueba un préstamo para contribuir a la financiación de los trabajos del Proyecto Restitución Ambiental de la Minería del Uranio. Por otro lado, se crean institutos laterales a la actividad más tradicional de la CNEA como el Observatorio de Rayos Cósmicos del Proyecto Internacional Pierre Auger y el Laboratorio Internacional Asociado en Nanociencias.

En el año 2006 se realiza en la Casa de Gobierno de la Nación el acto de lanzamiento de la reactivación de la actividad nuclear en la Argentina, junto con el dictado del Decreto del Poder Ejecutivo Nacional N° 1.612/06, aprobando una nueva estructura organizativa para la CNEA. Durante el 2009, se dicta el Decreto del Poder Ejecutivo Nacional N° 1.760/2009 que autoriza la cesión del 20% de las acciones de la empresa Nucleoeléctrica Argentina S. A. (NASA) a favor de la CNEA.

Como solución al déficit energético del país también se promueve la firma de contratos y acuerdos para: extender la vida útil de la central Embalse (Río Tercero, Provincia de Córdoba) por medio de un contrato con sus constructores originales, Candu Energy Inc.<sup>111</sup>), continuar la obra de Atucha II (Lima, provincia de Buenos Aires) y comenzar allí mismo con la construcción de la cuarta central Atucha III. Asimismo, se declara de interés nacional (encargando a la CNEA) la construcción del prototipo del reactor de diseño argentino CAREM, con el establecimiento de cadenas de proveedores de empresas nacionales para la construcción de algunos de sus componentes.

Durante estos años también se desarrollan los proyectos de cambio de núcleo, optando por el Uranio levemente enriquecido (0.85%), para los reactores Atucha I (que operaba con U natural) y por Uranio de bajo enriquecimiento (19.7%) para el RA-6 (que operaba con U enriquecido)<sup>112</sup>.

En el marco internacional, INVAP S.E. gana la licitación para el reactor OPAL<sup>113</sup> de Australia, y encarga la provisión de 64 elementos combustibles a la planta de fabricación de elementos combustibles para reactores de investigación (ECRI) del Centro Atómico Constituyentes (Provincia de Buenos Aires).

---

<sup>111</sup> Se promulga la Ley N° 26.566 declarando de interés nacional la extensión de vida de la Central Nuclear Embalse, autorizando la creación de fideicomisos para dicha extensión.

<sup>112</sup> En 2009 se pone a crítico nuevamente el reactor RA-6, con una nueva configuración del núcleo que utiliza combustibles de siliciuro de uranio de bajo enriquecimiento (menos del 20%), convirtiéndose así en el primer reactor de investigación argentino que funciona con ese tipo de combustible.

<sup>113</sup> Reactor multipropósito de 20MW de potencia térmica, del tipo de agua liviana en pileta abierta y con un combustible nuclear de Uranio de bajo enriquecimiento, en donde pueden producirse radioisótopos para uso medicinal entre otros usos. Fue vendido a Australia por la empresa INVAP S.E. y se inauguró oficialmente en Abril de 2007.

## Objetivos

El objetivo del proyecto tecnológico de cambio de núcleo es devolver el combustible altamente enriquecido a EE.UU., cumpliendo con los compromisos internacionales, y convertir todos los sistemas del reactor para que funcionen con un nuevo combustible enriquecido al 19.7% de  $^{235}\text{U}$ , diseñado y fabricado en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Como segundo objetivo aparece la subida de potencia del reactor, de 0.5 MW a 3MW.

## Características principales

En el año 2000 se da la posibilidad de inscribir a la Argentina en un programa internacional para disminuir la amenaza de proliferación en instalaciones que presentasen poca protección física (como ser facilidades críticas y reactores de investigación)<sup>114</sup>. El objetivo de este proyecto era evitar el uso ilegal del material combustible para fines no pacíficos y preveía trasladar los combustibles enriquecidos a EE.UU. (en el caso argentino repatriarlos, ya que el combustible provenía de este país). El Departamento de Energía de EE.UU. (DOE) junto a la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) ofrecían el Uranio necesario y el dinero (aproximadamente dos millones de dólares) para rediseñar la ingeniería del reactor, fabricar los nuevos combustibles nucleares a bajo enriquecimiento, y acondicionar y transportar el combustible enriquecido de vuelta a EE.UU.<sup>115</sup>. Este país pagaría los costos de reingeniería y transporte, valuados en más de 13 millones de dólares, con el programa de "Aceptación de Elementos Combustibles Gastados de Reactores de Investigación Extranjeros".

En sí, no existía ningún acuerdo ni contrato que obligara a Argentina a devolver los combustibles enriquecidos al 90%, pero no hacerlo significaba, por un lado, tomar una posición internacional comprometida respecto de los países que ya habían devuelto sus combustibles (como por ejemplo, Brasil), y por otro lado, quedar incluido en la categoría de país "proliferador" o terrorista que el país tuvo que arrastrar desde fines de los 60´.

En este sentido, Hurtado de Mendoza (2014) afirma:

El 1° de marzo de 1954, las primeras pruebas de EE.UU. en el atolón de Bikini, en las islas Marshall, mostraron tres veces el poder de destrucción estimado y niveles de radiación alarmantes con daño físico a habitantes

---

<sup>114</sup> Entrevista 1: 02/12/2016, Entrevista 3: 22/05/2017

<sup>115</sup> Entrevista 4: 29/09/2017

de islas vecinas. A modo de compensación de esta faceta sombría, el programa Átomos para la Paz debía ayudar a crear un clima de distensión en cuestiones de seguridad [...] Con este objetivo, se organizó la Primera Conferencia Internacional sobre Usos Pacíficos de la Energía Atómica. [...] Simultáneamente a la realización de esta conferencia internacional, EE.UU. comenzó a preparar el terreno para construir un mercado de reactores de investigación. Entre 1955 y 1961, US AEC promovió la firma de veintiocho acuerdos de cooperación en “usos civiles de la energía atómica”. Como fue el caso de otros países en desarrollo, la Argentina firmó en Washington un acuerdo bilateral el 29 de julio de 1955. Este acuerdo anticipaba que EE.UU. se comprometía a proveer el Uranio enriquecido necesario para los futuros reactores de investigación argentinos.

EE.UU. se posicionaba así como único proveedor comercial para el país, posición hegemónica que se vio atacada cuando algunos años más tarde la Argentina optó por la línea de Uranio natural para sus reactores de potencia, volviéndose el blanco de una cruda campaña de desprestigio.

Para los “expertos” en proliferación, los reactores de Uranio natural y agua pesada (el tipo que había elegido la Argentina para Atucha y Embalse) eran considerados una opción más bélica que los de Uranio enriquecido, ya que por las características de operación permitían producir más plutonio y los elementos combustibles se podían extraer furtivamente, sin necesidad de detener la marcha del reactor. Además, aseguraban que el reactor de diseño alemán (Atucha) no podía competir contra los de diseño norteamericano, considerando que las razones para adquirirlo debían tener entonces intenciones proliferadoras. Sin embargo, ignoraban abiertamente el hecho que usar Uranio enriquecido, existiendo reservas naturales de Uranio en el país, generaba una dependencia estratégica y comercial de EE.UU., en ese momento el único proveedor. Sumado a esto, el hecho que Argentina se negara a firmar el tratado de no proliferación (TNP) y que contara con una planta piloto de reprocesamiento de plutonio, la ubicaba (según ellos) más cerca de las armas nucleares. Mientras que por la década de los 70’ el país había producido en realidad menos de medio gramo de plutonio, en los contextos internacionales, y apoyado por la maquinaria periodística y diplomática, se hablaba de una producción del orden de 200 kg por año, ocultando en realidad las intenciones comerciales de EE.UU. detrás del argumento de la proliferación.

Accediendo a los nuevos requerimientos internacionales, la CNEA se comprometió entonces a bajar el enriquecimiento a menos del 20% para los reactores RA-3 y RA-6. El proyecto para RA-6 se denominó UBERA-6 (Uranio Bajo Enriquecimiento para el RA-6). Ya durante el año 2002 José Abbate presenta esta voluntad en el trabajo del Encuentro Internacional para Reducción del Enriquecimiento en Reactores de Investigación y Testeo que tiene lugar en San Carlos de Bariloche (Abbate & col., 2002). Durante el 2005, la Argentina firma el acuerdo con el DOE para devolver los combustibles y pasar de Uranio altamente a levemente enriquecido, en consonancia con el discurso del entonces presidente Néstor Kirchner ante el Consejo de Seguridad de la ONU: *"la proliferación de armas de destrucción masiva y el peligro de su desvío a grupos terroristas constituye hoy más que nunca una clara amenaza a la paz y a la seguridad internacional"* (Clarín, 2005/09/18; Río Negro, 2005/09/19).

En el 2008, y bajo estrictas medidas de seguridad, las 42 placas con Uranio enriquecido retiradas del RA-6 son devueltas a EE.UU. con cierto eco en algunos medios locales y nacionales.

La noticia se conoció dos días después de que la presidenta Cristina Kirchner y su par brasileño, Lula Da Silva, firmaron un acuerdo para enriquecer Uranio con fines pacíficos en forma conjunta y de construir un submarino a propulsión nuclear. (Clarín, 2008/02/26).

En el marco del proyecto UBERA-6 se retomó una idea más antigua gestada por Osvaldo Calzetta y Carlos Gho que era aumentar las capacidades que están atadas al flujo neutrónico <sup>G25</sup> del reactor, aumentando la potencia <sup>G42</sup> del RA-6 <sup>116</sup>. Ya que era necesario cambiar el núcleo, y el núcleo nuevo y su ingeniería serían solventados por el proyecto UBERA-6, el mismo se diseñaría de forma tal que se tuviera un beneficio neto extra para el reactor: el aumento de su potencia. Este proyecto se denominó internamente UBERA-6+ <sup>117</sup>.

En el año 2000 se solicitó un estudio técnico para establecer la máxima potencia que el RA-6 podría tener con el núcleo nuevo, con la condición de que no fuera necesario cambiar los blindajes de la pileta del reactor, ni la cañería empotrada en el mismo<sup>118</sup>. En principio, con el nuevo combustible podrían haber llegado teóricamente

---

<sup>116</sup> Entrevista 4: 29/09/2017

<sup>117</sup> Entrevista 1: 02/12/2016

<sup>118</sup> Modificar las cañerías y/o los blindajes de más de 1 m de espesor de hormigón que recubren la pileta del reactor, en donde las mismas están empotradas, hubiera sido un enorme trabajo de desmantelamiento, reconstrucción y relicenciamiento, con altos costos económicos y de tiempo.

hasta potencias de alrededor de 30MW. Sin embargo, bajo las condiciones antes nombradas, los cálculos hidráulicos determinaron que la máxima potencia a la que se podía aspirar era de 3MW, debido al máximo caudal que se podía obtener a través de las cañerías ya instaladas en el blindaje de concreto del reactor<sup>119</sup>.



RIO NEGRO y NEUQUÉN - PATAGÓNIA ARGENTINA ONLINE

© 26/02/2008 - 00:00 | Clarín.com | Noticias
Todos los títulos
Tapa de pe

BAJO ESTRUCTAS MEDIDAS DE SEGURIDAD Y EN RESERVA
Lunes 19 de setiembre de 2005

## EE.UU. se llevó uranio usado para evitar el riesgo de un robo terrorista

Se trata de 42 barras de combustible del reactor nuclear de Bariloche.

En otro ejemplo del interés mundial que está recobrando la energía atómica por razones económicas y políticas, el gobierno norteamericano se llevó en forma reservada los elementos combustibles usados del reactor nuclear de Bariloche (RA6). Lo hizo para evitar el riesgo de que el uranio gastado que contienen sea robado por terroristas para construir con ellos una bomba atómica "sucia". Tras firmar un acuerdo con el Gobierno argentino y bajo fuertes medidas de seguridad de la Gendarmería, la Secretaría de Energía de EE.UU. trasladó 42 barras de combustibles usadas del reactor de investigación RA6 desde el Centro Atómico Bariloche al centro atómico Savannah River, ubicado en Charleston. Primero fue por vía terrestre y luego por vía marítima. La operación, cuyos detalles se desconocen, se hizo en diciembre, pero recién fuentes oficiales argentinas lo confirmaron ayer a Clarín. La noticia se conoció dos días después de que la presidenta Cristina Kirchner y su par brasileño, Lula Da Silva, firmaron un acuerdo para enriquecer uranio con fines pacíficos en forma conjunta y de construir un submarino a propulsión nuclear. En el 2000, EE.UU. ya se había llevado 207 elementos combustibles gastados del reactor de investigación RA3 del Centro Atómico de Ezeiza. Ambos estaban

## EE. UU. retirará material nuclear de Bariloche

**Temen que termine en manos de grupos terroristas. Se llevarán desechos del reactor RA-6.**

En los próximos meses, y en fecha que mantiene en reserva, Estados Unidos retirará de San Carlos de Bariloche los desechos que genera el reactor nuclear RA-6. Su temor es que caigan en manos de terroristas que puedan construir con ellos una bomba atómica sucia.

Según un informe que publicó ayer "Clarín", el gobierno norteamericano ya se llevó 207 elementos combustibles gastados de uranio enriquecido al 90% del reactor de investigación nuclear RA-3 de la localidad bonaerense de Ezeiza.



El reactor RA-6 se halla dentro de las instalaciones del Centro Atómico

Figura 21: Artículos de diario comentando el traslado del núcleo enriquecido del RA-6.

Al comienzo se pensó (como una forma de justificar internamente en el uso de recursos en la CNEA) ofrecer el RA-6 mejorado con el UBERA-6+ como un *backup* para el RA-3 en la producción de  $^{99}\text{Mo}$ <sup>120</sup>. El RA-3, que es el único productor de  $^{99}\text{Mo}$  en el país, necesita parar un mes al año para hacer su mantenimiento anual y la provisión de Tecnecio queda pendiente en los hospitales argentinos y también en países importadores de la región como Brasil. La manera de resolver esta situación fue entonces ofrecer el tandem RA3-RA-6 como garantía de producción continuada para clientes externos, con lo cual se facilitaba la firma de contratos para provisión internacional. Tal era la necesidad, que en caso de no disponer de un reactor de *backup*, el RA-3 debía asociarse a un tercero que pudiera mantener la producción en caso de parada. Para ejercer el rol de *backup* el RA-6 necesitaba un flujo

<sup>119</sup> Entrevista 1: 02/12/2016

<sup>120</sup> Entrevista 1: 02/12/2016

correspondiente a la potencia de 3MW y una celda caliente para acondicionar las placas que contenían el Molibdeno y enviarlas a Buenos Aires. El reprocesamiento de las mismas y la extracción del  $^{99}\text{Mo}$  seguirían realizándose en el Centro Atómico Ezeiza. Con estas premisas el proyecto UBERA-6+ era útil en varios aspectos para la CNEA.<sup>121</sup>.

### **Detalle de los cambios tecnológicos o de utilización<sup>122</sup>**

En el año 2004 se realizó una consulta a todos los grupos usuarios del RA-6, de la que surgió que no era tan importante el aumento del flujo neutrónico <sup>G25</sup> como la posibilidad de hacer un mejor filtrado <sup>G22</sup> de todas las contribuciones al haz que hacen perder su performance<sup>123</sup>. El aumento de potencia permitiría entonces aumentar el flujo, y esto posibilitaría mejorar los filtrados, obteniéndose finalmente un flujo neto más o menos igual al anterior, pero mucho más puro en energía y mejor caracterizado<sup>124</sup>. La línea BNCT por ejemplo, podría cambiar sus filtros de neutrones y con tiempos de tratamiento iguales a los de antes (40-50 minutos cada tratamiento) generaría dosis por efectos secundarios mucho menores<sup>125</sup>. El Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN) por otro lado, accedería a flujos neutrónicos algo mayores que posibilitarían bajar los tiempos de irradiación<sup>126</sup>. Para todas las aplicaciones el aumento de potencia era considerado positivo, aunque implicara dejar fuera de servicio el reactor por muchos meses.

El principal desafío tecnológico que implicaba la subida de potencia a 3MW era la reingeniería de todo el sistema termohidráulico y neutrónico. Por ejemplo, se hacía necesario reemplazar todos los sistemas de refrigeración del reactor (incluyendo las bombas del circuito primario, las torres de enfriamiento, los intercambiadores de calor, etc.), verificar teórica y experimentalmente los nuevos márgenes de seguridad, rediseñar la mecánica, modernizar la electrónica y los circuitos de control, poner a punto y realizar mantenimiento en la instrumentación del reactor para las nuevas condiciones, etc. Para ello intervinieron muchos grupos de la Gerencia de Ingeniería Nuclear (GIN)<sup>127</sup>.

---

<sup>121</sup> Entrevista 1: 02/12/2016

<sup>122</sup> Durante esta fase el reactor se encuentra fuera de operación, por lo que no existen Bitácoras de estos años. Los cambios son completamente estructurales.

<sup>123</sup> Entrevista 3: 22/05/2017

<sup>124</sup> Entrevista 3: 22/05/2017, Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>125</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>126</sup> Entrevista 7: 05/10/2017 b, Entrevista 5: 04/10/2017

<sup>127</sup> Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 1: 02/12/2016

En el año 2005, en correspondencia con el discurso de Néstor Kirchner ante la ONU, se da comienzo intensivo a la tarea de análisis y se realizan los primeros cálculos de ingeniería<sup>128</sup>. La coordinación, organización y gestión del proyecto se alojan completamente en el RA-6, asistiéndose de diversos grupos de la GIN en las principales áreas temáticas (neutrónica, termohidráulica, mecánica, control, electrónica, etc.). El objetivo primordial era minimizar el tiempo de parada del reactor, sobre todo teniendo en cuenta su disponibilidad para el Instituto Balseiro (IB)<sup>129</sup>.

Así, el personal encargado de la gestión debió organizar la compra de equipamientos, la contratación de proveedores y empresas tercerizadas, la fabricación de los nuevos elementos combustibles (en la Provincia de Buenos Aires), la fabricación de un nuevo reflector de grafito (en San Carlos de Bariloche), la coordinación de las tareas de ingeniería, la comunicación entre grupos, la realización de la nueva documentación y el licenciamiento. Paralelamente, gestionaban el retiro del núcleo viejo, su acondicionamiento para traslado y su transporte por tierra hasta el puerto de Ingeniero White (Provincia de Buenos Aires), por el que salía por barco hacia EE.UU.<sup>130</sup>.

En Julio del 2007 se inicia la última irradiación y parada del reactor. En forma muy optimista se preveía que el cambio tardaría unos seis meses<sup>131</sup>.

A poco de la parada, Osvaldo Calzetta obtiene un trabajo en Brasil y se va de la CNEA. Fabricio Brollo, que venía trabajando muy involucrado en el proyecto, sigue con la parte de la gestión técnica; Carlos Fernández (nuevo jefe de reactor) se encarga de la parte de documentación y licenciamiento, y Herman Blaumann (DIFRA) comienza a desarrollar el equipo de trabajo para la puesta en marcha<sup>132</sup>.

Los mismos actores aclaran con orgullo que desde la gestión y la realización hasta el licenciamiento y puesta en marcha del reactor, todo el proyecto fue realizado íntegramente en CNEA<sup>133</sup>. De hecho, este fue el primer proyecto de tanta envergadura de gestión abordado por personal del RA-6 y la GIN<sup>134</sup>. Ellos mismos reconocen que a la hora de gestionar no había formación de base, ni una estructura dentro de CNEA desarrollada para tal fin<sup>135</sup>. Por supuesto, también recuerdan que hubo contingencias, mala planificación, errores de gestión y mucho aprendizaje, que hicieron que la muy

---

<sup>128</sup> Entrevista 4: 29/09/2017

<sup>129</sup> Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>130</sup> Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 4: 29/09/2017, Entrevista 3: 22/05/2017

<sup>131</sup> Entrevista 1: 02/12/2016

<sup>132</sup> Entrevista 1: 02/12/2016, Entrevista 4: 29/09/2017, Entrevista 3: 22/05/2017, Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>133</sup> Entrevista 1: 02/12/2016, Entrevista 3: 22/05/2017, Entrevista 4: 29/09/2017, Entrevista 6: 05/10/2017 a, Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>134</sup> Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>135</sup> Entrevista 6: 05/10/2017 a, Entrevista 10: 27/02/2018

optimista fecha de puesta en marcha planificada para finales del 2007 se retrasara hasta mediados de 2009<sup>136</sup>.

Dentro de los proveedores externos, contrataron a INVAP S.E. para tareas específicas, como la fabricación del nuevo sistema de cañerías y a una empresa civil para fundaciones de los nuevos equipos y obra general<sup>137</sup>. En este proyecto, sin embargo, no se involucraron alumnos del IB, sobre todo porque la envergadura del mismo producía tanto impacto en el tiempo de los profesores (que eran a su vez parte del plantel y del equipo de puesta en marcha) que no se podían dedicar a la dirección de los alumnos<sup>138</sup>.

Una vez finalizada la obra, aún faltaban cerrar algunos aspectos de los cálculos termohidráulicos que necesitaban un aval experimental para la verificación de los márgenes de seguridad en el límite de flujo laminar a turbulento. A esto se sumaba que a una potencia de 3MW, el <sup>14</sup>N, el <sup>16</sup>O y el <sup>40</sup>Ar disueltos en el agua de la pileta y ciertos componentes del reactor como el Al y el Na, se activarían mucho más que a 0.5MW (la potencia original), y generarían una dosis mayor en boca de tanque, lo cual obligaría a cambiar todos los niveles de alarma y replantear los límites de seguridad de la instalación<sup>139</sup>. Estas consideraciones comenzaron a demorar los permisos de la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) para poner en marcha nuevamente el reactor. En ese momento, y teniendo en cuenta la presión ejercida por el proyecto MIPS<sup>140</sup> para volver a operar el reactor a la brevedad, se decidió presentar un enfoque más conservador, que evitaba la necesidad de justificar experimentalmente esos márgenes de seguridad y las cotas elegidas, pero que limitaba la potencia del reactor a sólo 1MW (lo mínimo requerido para poder llevar a cabo la investigación MIPS). El reactor se pudo poner en marcha a mediados de 2009 a una potencia de funcionamiento máxima igual al doble de la original<sup>141</sup>.

Ya con el reactor operativo y el proyecto MIPS en marcha, se decide armar un proyecto complementario para lograr por etapas el aumento de potencia a 3MW, con Fabricio Brollo como jefe del mismo<sup>142</sup>. Sin embargo, la aparición de otros proyectos relevantes para CNEA, con afectación de recursos humanos muy intensa (como fueron el MIPS y el RA-10), impidió que hasta ahora (2018) se llevara adelante dicho proyecto<sup>143</sup>.

---

<sup>136</sup> Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 3: 22/05/2017, Entrevista 6: 05/10/2017 a

<sup>137</sup> Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>138</sup> Entrevista 3: 22/05/2017, Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>139</sup> Entrevista 1: 02/12/2016

<sup>140</sup> Ver capítulo 7.

<sup>141</sup> Entrevista 1: 02/12/2016

<sup>142</sup> Entrevista 3: 22/05/2017, Entrevista 1: 02/12/2016

<sup>143</sup> Entrevista 3: 22/05/2017

A pesar de que todos los grupos esperaban con optimismo un reactor más potente, uno de ellos, el LAAN, no se vio plenamente beneficiado por la siguiente razón: en irradiaciones cortas, el material a irradiar se coloca en su posición de irradiación mediante un sistema neumático <sup>G49</sup> que es movilizado con aire; el aire contiene <sup>40</sup>Ar que se activa a <sup>41</sup>Ar, y es arrastrado por el porta-muestras cuando éste vuelve al laboratorio. Los valores de dosis provenientes del <sup>41</sup>Ar eran suficientemente bajos a 0.5MW, pero no así a 1MW. En un principio se planificó cambiar el sistema de aire por N<sub>2</sub> puro (que no presenta ese inconveniente), pero al arrancar el reactor en el 2009 este sistema no estaba instalado. Como condición se puso que el LAAN realizara este tipo de irradiaciones por mecanismo neumático a 0.5MW, pudiendo usarlo a 1MW sólo cuando realizaban irradiaciones posicionando la muestra por boca de tanque mediante una canasta <sup>G7,144</sup>. En estas condiciones, el flujo mejora notablemente y aumenta la sensibilidad de la medición, aunque no es posible medir aquellos radioisótopos de período de semidesintegración <sup>G37</sup> muy corto.

### **Marcos tecnológicos presentes en la fase 3**

En esta fase surge un nuevo marco tecnológico (MT) el “UBERA-6” (Tabla 10 y Tabla 11). Impulsado por el problema a resolver de las presiones internacionales para devolver el Uranio enriquecido del núcleo del RA-6, la solución en este nuevo marco se encuentra en realizar un cambio de tecnología del reactor, pasando a un núcleo de Uranio de bajo enriquecimiento (<20%), y aprovechando el rediseño para obtener mayor potencia. Este último punto coincide con la necesidad que surge en el MT “Salud” de obtener un haz de neutrones mejor filtrado. En el MT “UBERA-6” están involucrados los grupos sociales relevantes de la casa, como el plantel del RA-6 (DOMI) y la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA), apoyados por distintas divisiones de CNEA, y externamente se constituyen también como grupos sociales relevantes la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) y el Departamento de Energía de EE.UU. (DOE), exigiendo la devolución del Uranio enriquecido.

Valga aclarar en este punto, que la fase 3 (2005-2009), que abarca específicamente el proyecto de cambio de núcleo, se encuentra completamente incluida en la escala temporal que involucra a la fase 4 (2003-2018). Por esta razón, el MT “UBERA-6” convive con los otros marcos tecnológicos presentes en la fase 4, que serán analizados en el próximo capítulo.

---

<sup>144</sup> Entrevista 1: 02/12/2016

Además, durante las obras de desmantelamiento del núcleo viejo, reconstrucción con el núcleo nuevo y etapas de re-licenciamiento (2007-2009), no se llevan a cabo operaciones en el reactor. En esta etapa los demás marcos tecnológicos presentes (“Docencia”, “Salud” y “Bio/Eco”) no se disuelven, pero su desarrollo se da por fuera del RA-6. Asimismo, existen en esta fase otros dos marcos (“Soporte Analítico” y “Banco de Pruebas”) que al igual que los tres anteriores se están desarrollando sin uso de la instalación durante esos meses, y que serán explicados como parte del próximo capítulo, ya que también están relacionados a la fase 4.

**Tabla 10: Marcos tecnológicos presentes en la fase 3**

Marco Tecnológico		Fase 3				
		2005	2006	2007	2008	2009
MT1	Docencia	x	x			
MT2	Investigación					
MT3	Desarrollo					
MT4	Salud	x	x			
MT5	Servicios					
MT6	Bio/Eco	x	x			
MT7	UBERA-6	x	x	x	x	x

**Tabla 11: Características del MT “UBERA-6” durante la fase 3**

<b>Marco Tecnológico</b>	<b>UBERA-6</b>
<b>Fase analizada</b>	Cambio de Núcleo
<b>Años</b>	2005-2009
<b>Grupos Sociales Relevantes y su interpretación del artefacto</b>	<p>Plantel RA-6 (DOMI): Artefacto que permite la prueba e implementación de nuevas tecnologías</p> <p>División Física Reactores Avanzados (DIFRA): Artefacto que permite la prueba e implementación de nuevas tecnologías</p> <p>Comisión Nacional de Energía Atómica: Artefacto que permite la prueba e implementación de nuevas tecnologías</p> <p>Estado argentino: Instrumento de política internacional en materia nuclear</p> <p>Organización Internacional de Energía Atómica: Instrumento de política internacional en materia nuclear</p> <p>Departamento de Energía de EE.UU.: Elemento de interés para fines terroristas</p>
<b>Problema</b>	Se requiere devolver el combustible altamente enriquecido

	que posee el RA-6 y cambiarlo por uno de bajo enriquecimiento Se requiere subir la potencia del RA-6 a 3MW
<b>Solución</b>	Cambiar la tecnología del combustible nuclear utilizado en el RA-6 a Uranio de bajo de enriquecimiento y modificar los sistemas asociados.
<b>Disciplinas</b>	Física de Reactores Ingeniería Nuclear Electrónica Termohidráulica Neutrónica Radioprotección Combustibles Nucleares Transporte de Sustancia Radiactivas Mecánica Control
<b>Cambios Impulsados en el artefacto y/o sus usos</b>	Retiro del combustible altamente enriquecido Reemplazo del combustible por Uranio enriquecido al 19.7% Reemplazo del sistema de refrigeración Aumento de potencia (hasta 1MW)

### Grupos sociales relevantes presentes en la fase 3

*MT "UBERA-6": Grupo especial armado para gestionar el proyecto*

Por su envergadura, durante el proyecto UBERA-6 de cambio de núcleo y subida de potencia, Herman Blaumann, desde la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA), junto con Osvaldo Calzetta primero y con Carlos Fernández después (plantel de RA-6), formó el equipo especial de planificación, ejecución, re-licenciamiento, arranque y puesta en marcha del reactor renovado<sup>145</sup>.

El trabajo de gestión lo aborda este grupo, con mucha voluntad y esfuerzo personal de todos los involucrados, trabajando horas extra y durante los fines de

<sup>145</sup> Entrevista 1: 02/12/2016, Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 4: 29/09/2017, Entrevista 3: 22/05/2017

semana<sup>146</sup>. Según aclaran durante las entrevistas, esta instancia fue de un gran aprendizaje sobre distintos aspectos de la gestión de proyectos, como la formación de equipos, trabajo en grupo, coordinación, articulación y comunicación entre los actores, cumplimiento de plazos, planificación y ejecución<sup>147</sup>. Varios de los entrevistados consideraron que fue una buena práctica para encarar luego proyectos de mucha más envergadura, como el diseño de los reactores RA-10 y CAREM, ya que se afianzaron los criterios y elementos técnicos de la gestión, como el control de calidad y la planificación<sup>148</sup>.

*MT “Docencia”: Instituto Balseiro*

En este caso, el Instituto Balseiro (IB) deja de utilizar las instalaciones del reactor durante los casi tres años que dura el cambio de núcleo, tanto porque la instalación no está operativa, como porque el plantel docente está sobre-exigido por la envergadura del proyecto<sup>149</sup>.

*MT “Salud”: grupo de BNCT (DIFRA)*

En el año 2007 con el proyecto de cambio de núcleo UBERA-6 se tuvieron que suspender todos los trabajos y las irradiaciones de la facilidad BNCT, en primera instancia porque no tenían el reactor disponible, y luego de la puesta en marcha en 2009 porque se volvía indispensable caracterizar el haz de neutrones completamente de nuevo<sup>150</sup>. Con el haz más potente, tenían ahora no sólo el beneficio de optimizar los tiempos de irradiación, sino también filtrarlo mejor para quitar la componente de radiación gamma. Como contrapartida, al tener el doble de potencia necesitaban más blindaje y/o modificar la disposición de los lugares de irradiación del paciente. Eso a su vez abría la posibilidad de optimizar la parte externa del haz (la parte interna de los filtros no se modificó)<sup>151</sup>.

Entre mediados de 2008 y mediados de 2009 hubo un rediseño en papel de todos los blindajes y filtros del haz. La implementación comenzó ese mismo año y durante el 2010 contaban ya con toda la instrumentación optimizada para el núcleo

---

<sup>146</sup> Entrevista 6: 05/10/2017 a

<sup>147</sup> Entrevista 3: 22/05/2017, Entrevista 6: 05/10/2017 a, Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>148</sup> Entrevista 6: 05/10/2017 a, Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 3: 22/05/2017

<sup>149</sup> Entrevista 3: 22/05/2017

<sup>150</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>151</sup> Entrevista 9: 10/10/2017, Entrevista 6: 05/10/2017 a

UBERA-6<sup>152</sup>. En ese momento llega una sugerencia de Sara González y de Gustavo Santa Cruz para expandir más la sala de irradiación, ya que había algunos pacientes que no se podían irradiar porque estaban excesivamente incómodos o poco seguros en la posición actual de la camilla<sup>153</sup>. Atendiendo este requerimiento de la parte de planificación de tratamientos y dosimetría de Buenos Aires, la sala de irradiación entra en etapa de rediseño y se construye una sala gemela en Buenos Aires para estudiar el posicionamiento de cada paciente. Como eso también implicaba reducir los blindajes del reactor (se retiró un bloque de 0.70x1.20x1 m<sup>3</sup>) hubo que colocar blindajes exteriores adicionales para no afectar la radioprotección de la instalación<sup>154</sup>. Adicionalmente, hubo que hacer cálculos sísmicos y poner refuerzos antisísmicos en lugares adecuados. Para esta modificación colaboró personal del RA-6 de radioprotección, mantenimiento, operación y taller, personal del grupo DIFRA, e incluso un técnico del LAAN<sup>155</sup>.

A esta etapa, Calzetta había conseguido ya un trabajo en Brasil, y Blaumann, que seguía como jefe del proyecto UBERA-6 hasta su finalización en el 2009, pasa a ocuparse del proyecto RA-10<sup>156</sup>. La última etapa de construcción toma entonces al proyecto BNCT sin cargos gerenciales que consigan recursos para hacer funcionar este proyecto, disminuyen así las visitas y las salidas del personal a capacitarse a otros centros. En San Carlos de Bariloche queda Juan Longhino a cargo del proyecto, acompañado por un grupo de estudiantes<sup>157</sup>.

#### *MT "Bio/Eco": El LAAN*

En esta etapa el LAAN no tiene un rol específico, y continúa sus tareas académicas y científicas con las muestras que irradian previo al corte de la operación del reactor para UBERA-6. Luego de la puesta en marcha del 2009, el grupo debe caracterizar nuevamente la distribución y características del flujo neutrónico <sup>G25</sup> para retomar trabajos del tipo de los realizados en la Fase 1 (como medición de secciones eficaces). Meses después de concluido este trabajo, desde RA-6 se decide quitar uno de los reflectores con el fin de propiciar un flujo epitérmico más alto para la aplicación de BNCT, con lo que el LAAN nuevamente necesita realizar una caracterización total del flujo para utilizar la técnica mencionada. Esta tarea no se volvió a realizar en forma

---

<sup>152</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>153</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>154</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>155</sup> Entrevista 9: 10/10/2017, Entrevista 6: 05/10/2017 a, Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 3: 22/05/2017

<sup>156</sup> Entrevista 10: 27/02/2018, Entrevista 9: 10/10/2017, Entrevista 6: 05/10/2017 a

<sup>157</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

completa hasta la fecha (2018). En cambio, los investigadores del LAAN dedicaron los esfuerzos principalmente a continuar con los temas ambientales<sup>158</sup>.

### **Análisis socio-técnico de la fase 3**

Este período incluye el mayor de los cambios tecnológicos abordados en la trayectoria socio-técnica del RA-6, y forma parte de un nuevo marco tecnológico (MT): el MT “UBERA-6”.

Aprovechando la campaña anti-terrorista de EE.UU. luego de los ataques a las torres gemelas, el RA-6 y los demás reactores con Uranio enriquecido de Argentina son reinterpretados por el Departamento de Energía (DOE) de EE.UU. y por la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) como peligrosos, en un hipotético escenario en que sus combustibles gastados pudieran ser robados por terroristas para fabricar bombas atómicas sucias. Este hecho le da validez a estos dos grupos sociales relevantes para influenciar fuertemente la trayectoria socio-técnica del RA-6.

El MT “UBERA-6” surge entonces como solución o respuesta política al problema de la presión internacional y su exigencia en devolver los combustibles con Uranio enriquecido al 90%, colaborando a coronar la larga y ardua lucha de la diplomacia argentina en contra de la etiqueta de país “proliferador”, que durante años sufrió por parte de los países desarrollados, que parecieran pretender continuar con su hegemonía en temas de generación nucleoelectrónica.

Desde la política interna, la existencia de un Plan Nuclear marco en auge, y de presupuesto para equipar la facilidad, se aprovecha también para aumentar la potencia del reactor, abriendo el juego a nuevas aplicaciones, que se afianzarán durante los siguientes años, dando cierta flexibilidad interpretativa al conjunto problema/solución planteado durante esta fase.

El evento de cambio de núcleo es apoyado fuertemente desde la casa, por la conexión que existe entre el plantel del RA-6 (DOMI) y la Gerencia de Ingeniería Nuclear (GIN). Esta relación funcional se da no sólo a través del mismo grupo a cargo del reactor, que depende estructuralmente de la GIN, sino también gracias a la presencia de Herman Blaumann, ahora desde un puesto directivo, haciéndose cargo del proyecto UBERA-6. Así, la coordinación, organización y gestión del proyecto se alojan completamente en el RA-6, asistiéndose de diversos grupos de la GIN en las

---

<sup>158</sup> Entrevista 7: 05/10/2017 b

principales áreas temáticas (neutrónica, termohidráulica, mecánica, control, electrónica, etc.).

En esta fase se aprecia también la presencia del grupo de desarrollo de la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA) como un grupo social relevante influyente. Apoyando a un equipo de trabajo multidisciplinario, este grupo junto al plantel del RA-6 se movilizan en pos de un tema que aparece ya en la fase 2 como central en la agenda de política científica-tecnológica del momento: la salud. En este contexto, se gestiona junto con el cambio de núcleo un aumento de potencia del reactor, que permitiría aumentar el flujo neutrónico, y posibilitaría mejorar los filtrados, obteniéndose finalmente un flujo neto más o menos igual al anterior, pero mucho más puro en energía y mejor caracterizado. Mayor potencia permitiría realizar nuevos e interesantes desarrollos, como la tomografía de neutrones, pero también mejorar las aplicaciones existentes. La línea de Terapia por Captura Neutrónica en Boro (BNCT) podría, por ejemplo, cambiar sus filtros y mejorar su performance, mientras que el Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN) acortaría sus tiempos de irradiación.

El trabajo de cambio de núcleo y subida de potencia asociado al proyecto UBERA-6 implica no sólo quitar el núcleo original del reactor, embalarlo, acondicionado para su transporte y llevarlo hasta el puerto Ingeniero White, sino que también se hace menester diseñar un núcleo nuevo utilizando Uranio de bajo enriquecimiento y en otra forma química, fabricarlo, probarlo, instalarlo, generar los nuevos permisos de operación ante la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), y poner la (cuasi nueva) instalación en marcha. Además, como el rearmado del núcleo se aprovecha también para subir la potencia nominal del RA-6 de 0.5MW a 3MW, se requiere la reingeniería de todo el sistema termohidráulico y neutrónico, incluidos el reemplazo de todos los sistemas de refrigeración del reactor (bombas del circuito primario, torres de enfriamiento, intercambiadores de calor, etc.), verificar teórica y experimentalmente los nuevos márgenes de seguridad, rediseñar la mecánica y modernizar la electrónica y los circuitos de control, y además realizar el mantenimiento y puesta a punto de la instrumentación más antigua del artefacto, para adaptarla a las nuevas condiciones.

Con respecto a las actividades de los otros grupos sociales relevantes en torno al reactor, el Instituto Balseiro (IB) deja de utilizar las instalaciones durante los casi tres años que duran las obras y la etapa de re-licenciamiento. Esto se da, tanto porque la instalación no está operativa, como porque el plantel docente está demasiado ocupado con la carga de trabajo que implica el proyecto UBERA-6. Cabe aclarar que en este caso no se involucraron en los trabajos a alumnos del IB con tesis de maestría o de

grado, sobre todo porque los trabajos producían tanto impacto en el tiempo de los profesores (que eran a su vez parte del plantel y del equipo de puesta en marcha) que no se podían dedicar a la dirección de los alumnos.

Por otro lado, en esta fase el grupo del Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN) sigue interpretando al RA-6 como una herramienta analítica que le posibilita avanzar con las líneas de investigación en temas más alejados de la generación nucleoelectrónica (como la geología, la biología y la ecotoxicología) y continúa sus tareas académicas y científicas con las muestras que irradian previo al corte de la operación. Luego de la puesta en marcha, existen dos hechos que producen una pseudo desventaja para este grupo respecto de los otros grupos sociales relevantes. El primer hecho, es que no se cambia el sistema neumático antiguo a uno que utilizara  $N_2$  puro en vez de aire, para empujar la cápsula que lleva las muestras a irradiar hasta su posición final en el núcleo del reactor. Esto tiene como consecuencia que el LAAN sólo puede aprovechar la potencia de 1MW en algunos tipos de irradiaciones y no en todas. El segundo hecho es que, luego de la puesta en marcha del 2009, el LAAN debe caracterizar nuevamente los parámetros del reactor. Sin embargo, meses después de concluido este arduo trabajo, se vuelven a cambiar los parámetros para propiciar un requerimiento de BNCT, obligando al LAAN a re-caracterizar por segunda vez todas sus posiciones de irradiación. Éstos son un ejemplo de que, por su rol de usuario o por la menor importancia relativa de su temática de investigación con respecto a los objetivos estratégicos de la CNEA, el LAAN no tiene una influencia fuerte en los cambios que se llevan a cabo en el RA-6

## 7. Fase 4 - Multiplicidad de aplicaciones (2003-2018)

### Cambios tecnológicos y/o de utilización

En esta fase se diseñan y afianzan nuevas aplicaciones. Además de mejorar la facilidad de irradiación de para la Terapia por Captura Neutrónica en Boro <sup>G6</sup>, aparecen las técnicas de neutrografía <sup>G45</sup>, la aplicación de Análisis por Activación Neutrónica de Gammas Instantáneos <sup>G3</sup>, una facilidad de difracción de neutrones <sup>G16</sup> y una nueva modalidad para la enseñanza de la ingeniería nuclear: el RA-6 on-line. Para implementar todas estas facilidades surge la necesidad de modificar los blindajes de concreto del reactor, colocar filtros <sup>G23</sup>, detectores y nuevo equipamiento.

Además aparece por requerimiento de INVAP S.E. un proyecto especial (el MIPS) para probar un módulo para producción de radioisótopos, colocando un dispositivo que con material féril <sup>G24</sup> (Nitrato de Uranilo) en el núcleo del RA-6. El mismo requiere un licenciamiento especial, reingeniería de algunas partes del reactor y la instalación de una celda caliente <sup>G8</sup> en los subsuelos del RA-6.

### Características históricas, económicas, sociales y políticas

Como se mencionó en el capítulo anterior, luego de la crisis económica, social y política del 2001, asumen hasta el año 2015 gobiernos de orientación peronista y centro-izquierda, que privilegian el desarrollo de la industria, la ciencia y la tecnología nacional. En ese contexto, en agosto de 2006, se reactiva el Plan Nuclear, que incluye la generación masiva de energía nucleoelectrica junto con el desarrollo de aplicaciones de la tecnología nuclear, en temas de salud pública e industria.

### El Plan Nuclear

La activación del sector nuclear contiene dos ejes centrales, que ya han sido explicados en detalle en el capítulo anterior. El primero es la salud y el segundo la generación nucleoelectrica.

Brevemente, con respecto al tema de medicina nuclear, la década del 2000 trae aparejada la creación del Plan Federal de Medicina Nuclear, que apunta a llevar los usos clínicos de la tecnología nuclear a las regiones más postergadas del país. Dentro de los avances, se logra la fabricación de radioisótopos para diagnóstico y tratamiento de cáncer como el <sup>18</sup>F, el <sup>90</sup>Sr y el <sup>99</sup>Mo. Se inaugura el Centro de Diagnóstico Nuclear (en Buenos Aires), se inaugura la facilidad para Terapia por Captura Neutrónica en Boro (BNCT) en el RA-6, y se decide construir el reactor multipropósito RA-10, uno de cuyos objetivos es la fabricación de radioisótopos medicinales.

Asociado al tema de generación nucleoelectrónica, durante el año 2006 se lanza un plan de reactivación, que incluye la extensión de la vida útil de la central Embalse, la terminación de la central Atucha II, la construcción de la central Atucha III y el avance del reactor CAREM. Asimismo, aparecen obras de remediación ambiental y actividades de gestión de residuos. Durante estos años, también se desarrollan los proyectos de cambio de núcleo de los reactores Atucha I y RA-6.

Desde el 2010 hasta el 2018, se suceden eventos importantes en la actividad nuclear del país para la generación eléctrica. El más relevante es sin duda la inauguración de la central Néstor Kirchner (Atucha II, Lima, Provincia de Buenos Aires) en el 2014. Por otro lado, se firman acuerdos con Brasil para la construcción de dos reactores de investigación gemelos, diseñados para la fabricación de diversos radioisótopos de uso medicinal e industrial, entre otros usos (el RA-10 y su par el Reactor Multipropósito Brasileiro). También se inauguran equipos de medicina nuclear en el Hospital de Clínicas, en colaboración con la Universidad de Buenos Aires. Además, durante esta etapa hay un compromiso formal de CNEA con la sociedad, que se revela en forma de presentación de informes, planes estratégicos, participación en muestras tecnológicas, etc.

## **Objetivos**

El objetivo principal en esta fase fue ampliar la utilización del reactor RA-6 para incluir nuevas aplicaciones y grupos de usuarios. Por otro lado, se facilita y expande el uso docente del artefacto al añadir el sistema de enseñanza on-line, que permite presenciar experimentos en el RA-6 desde otros lugares.

## **Características del período**

A parte del uso del RA-6 en docencia, la instalación ha sido conceptualmente siempre un centro de investigación y desarrollo (I+D), y la Fase 4 (Figura 22) no es una excepción: en este período aparece un fuerte impulso a la realización de experimentos orientados a diseñar diversas herramientas y desarrollar una variedad de aplicaciones que pudieran funcionar como servicio para otros grupos<sup>159</sup>. Este impulso ocurre preponderantemente desde la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA), con alrededor de un 40% de las horas de uso<sup>160</sup>.

---

<sup>159</sup> Entrevista 6: 05/10/2017 a, Entrevista 3: 22/05/2017

<sup>160</sup> Bitácora de Operación 8: 2014

Con respecto a las aplicaciones, al comienzo de este período se encontraban funcionando como aplicaciones afianzadas los análisis por activación de muestras biológicas y geológicas del Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN)<sup>G2</sup> y la facilidad de irradiación de pacientes para terapia BNCT<sup>G6</sup> de DIFRA<sup>161</sup>. En esta época, sin embargo, ya se va gestando la formación de nuevas aplicaciones: las primeras pruebas para el análisis de gammas instantáneos (PGNAA<sup>G3</sup>) comienzan en el 2000 pero tienen un fuerte impulso hacia el 2003<sup>162</sup>, mientras que el tema de neutrografía<sup>G45</sup> aparece un poco más tarde, hacia el 2005<sup>163</sup>.

Con la llegada del nuevo Plan Nuclear a mediados de la década del 2000, y la presencia de un presupuesto mucho más considerable, el ingreso de personal técnico y profesional, dedicado absolutamente a la construcción de las facilidades, aparece un quiebre en la velocidad de desarrollo de herramientas y aplicaciones para el reactor.

De mediados de 2007 a mediados de 2009 el reactor se encuentra fuera de funcionamiento por el proyecto UBERA-6 de cambio de núcleo y subida de potencia. Inmediatamente luego de la puesta en marcha, las tareas son mayoritariamente de calibración y caracterización de todas las variables físicas y nucleares<sup>164</sup>.

Por otro lado, hacia el 2009, y mientras se estaba terminando de instalar el nuevo núcleo UBERA-6, INVAP S.E. presenta un pedido de trabajo, que surge de un contrato con una empresa norteamericana que desea testear un dispositivo para fabricar el radioisótopo <sup>99</sup>Mo en un reactor homogéneo. El mismo incluye combustible líquido (solución de Nitrato de Uranilo), que debe ser colocado dentro del núcleo del RA-6. Para ello es necesario realizar ciertas modificaciones en el núcleo y obtener nuevamente los permisos necesarios para la operación. Los trabajos para este proyecto comienzan hacia el 2011 y se extienden hasta el 2013. En esta etapa se da también la remodelación de la sala de irradiaciones para BNCT, que lleva otro tiempo de parada del reactor<sup>165</sup>.

---

<sup>161</sup> Entrevista 7: 05/10/2017 b, Entrevista 5: 04/10/2017, Entrevista 9: 10/10/2017, Entrevista 6: 05/10/2017 a

<sup>162</sup> Entrevista 6: 05/10/2017 a

<sup>163</sup> Entrevista 6: 05/10/2017 a

<sup>164</sup> Entrevista 7: 05/10/2017 b, Entrevista 9: 10/10/2017, Entrevista 6: 05/10/2017 a

<sup>165</sup> Entrevista 1: 02/12/2016

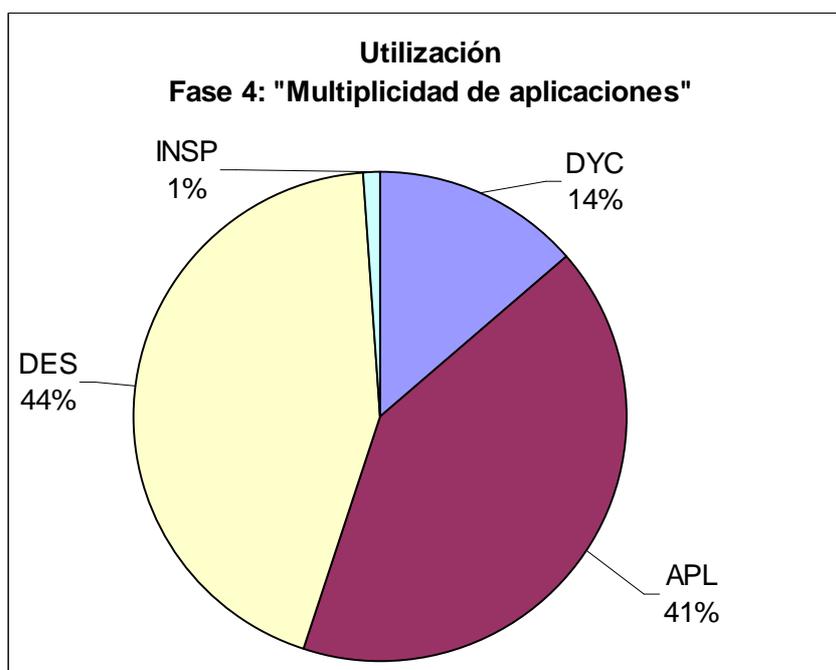
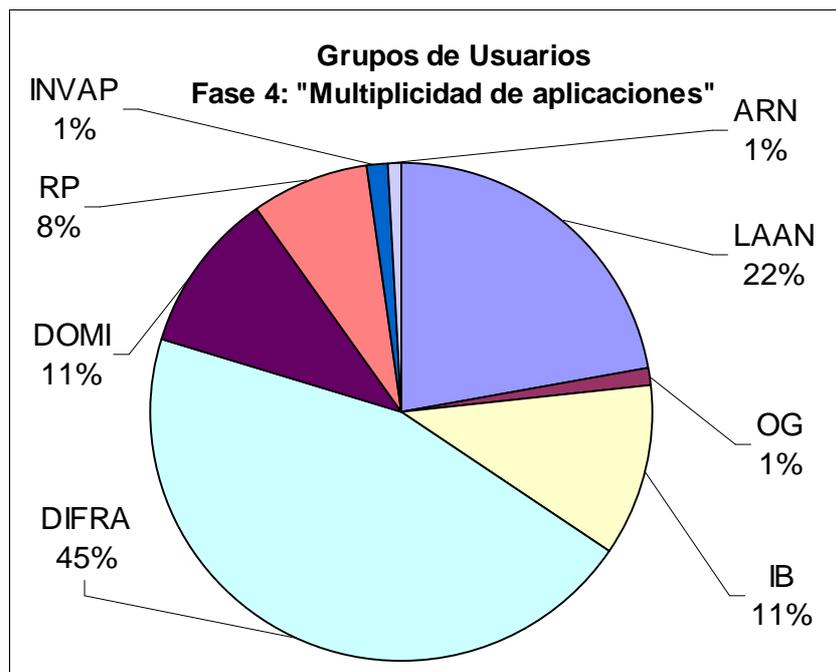


Figura 22: Operación del RA-6 promediada durante los años 2002, 2005, 2007, 2009 y 2014, analizada por el grupo de pertenencia de los usuarios (arriba) y por la categoría de la tarea realizada (abajo). ARN: Autoridad regulatoria Nuclear, DIFRA: División Física de Reactores Avanzados, DOMI: Docencia, Operación y Mantenimiento de la Instalación, IB: Instituto Balseiro, INVAP S.E.: Investigaciones Aplicadas S.E., LAAN: Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica, OG: Otros Grupos, RP: Radioprotección. DYC: Docencia y Capacitación, APL: Aplicaciones, DES: Desarrollos, INSP: Inspecciones.

Entre el año 2011 y el 2014, con fondos del Banco de Proyectos de Inversión Pública (BAPIN) y luego con fondos del proyecto RA-10, se compra nuevo equipamiento para instrumentar las facilidades: un nuevo detector para PGNAA y un difractómetro <sup>G16</sup> de neutrones<sup>166</sup>.

Finalmente, las nuevas herramientas que se afianzan en el reactor en esta fase son<sup>167</sup>:

- Neutrografía ubicada en el conducto pasante <sup>G13</sup> N°1
- Análisis por Activación Neutrónica de Gammas Instantáneos (PGNAA), ubicada en el conducto pasante N°2, solapado con el N°3.
- Difractometría de neutrones, ubicada en conducto N°4.
- RA-6 online
- Y una idea para colocar en el conducto N°5 un sistema académico para medición de espectro neutrónico por tiempo de vuelo<sup>168</sup>.

Respecto al tiempo dedicado a docencia y capacitación afianzada la materia “Laboratorio de Ingeniería 2” el IB pasa a utilizar un 10% del tiempo del tiempo del reactor<sup>169</sup>, mientras que a su vez se dan cursos especiales para un plantel de Arabia Saudita (contrato de INVAP S.E.).

## **Detalle de los cambios tecnológicos y/o de utilización**

### ***Análisis por Activación Neutrónica de Gammas Instantáneos (PGNAA)***

Alrededor de los años 2001-2002, surge un requerimiento de la técnica de BNCT: se necesitaba implementar la técnica analítica de espectroscopía gamma instantánea (llamada también *prompt gamma* <sup>G3</sup>) para determinar la concentración de Boro en sangre con una sensibilidad de 1-10 ppm, sobre el paciente que estaba siendo irradiado. Ya se había comprado todo el equipamiento y había una idea de cómo implementarlo, pero ese año Gustavo Genusso se adhirió al retiro voluntario, y se fue

<sup>166</sup> Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>167</sup> Entrevista 6: 05/10/2017 a

<sup>168</sup> Esta última es una idea del grupo de Neutrones, para mantener la capacidad de enseñar esa técnica, ya que desde hace unos 5 años que el acelerador lineal LINAC dejó de operar. (Entrevista 10: 27/02/2018)

<sup>169</sup> Valga aclarar que este valor podría parecer una disminución del tiempo absoluto dedicado a docencia y capacitación, cuando en realidad no es así: el reactor opera más del doble de horas que en los períodos anteriores y hay experiencias que se dan en simultáneo.

de la CNEA. Allí queda Fernando Sánchez, a cargo de Herman Blaumann, como encargado de comenzar los estudios para este desarrollo<sup>170</sup>.

A esta altura, se tenía mucho conocimiento sobre haces para usos médicos, pero no para otros usos. Se necesitaba diseñar blindajes adecuados y toda la infraestructura de la medición para poder distinguir un ínfimo de radiación al lado de la boca del reactor abierto. No había noción siquiera de cuánto más bajo en nivel de radiación debían colocarse respecto de la dosis del núcleo para poder identificar la radiación que venía de esa muestra, y la capacidad de cálculo era entonces todavía muy limitada. La física del núcleo por teoría de difusión estaba muy bien caracterizada, pero esta teoría no se aplica a conductos vacíos; recién con el desarrollo del método Montecarlo, que simula el comportamiento partícula por partícula, se podía predecir teóricamente cómo se comporta esa radiación sin aproximaciones, permitiendo el estudio de este tipo de conductos. El CAB contaba entonces con un primer y pequeño centro de cálculos (que tenía alrededor de 10 PCs tipo Pentium). Sin embargo, este centro de cómputos era de difícil acceso ya que estaba destinado mayoritariamente a otros usos, por lo que el abordaje inicial fue entonces fuertemente experimental y se hicieron sólo unos pocos cálculos<sup>171</sup>.

De a poco fueron entendiendo los procesos que estaban ocurriendo y se arma todo el equipo para medir PGNAA. Sin embargo, la puesta en marcha de la línea no tuvo éxito. En el año 2003 la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) los invita a participar en un proyecto internacional coordinado por ese organismo, donde Fernando Sánchez toma contacto con investigadores de Budapest (Hungría) que manejaban PGNAA a través de una guía de neutrones. Si bien no era con un reactor nuclear como fuente, Sánchez puede aprender la técnica y tomar los niveles de radiación que hacían falta para alcanzar las sensibilidades requeridas, lo cual le permite diseñar los blindajes que sería necesario colocar en el RA-6 para concentrar la radiación de la muestra respecto de todo lo demás emitido. A su vuelta se logra poner a punto la facilidad para analizar por este método componentes mayoritarios y el grupo participa de una inter-comparación de laboratorios con muestras de cementos. Para conseguir los niveles de detección de Boro necesarios para BNCT (varios órdenes de magnitud por debajo que en estas pruebas) se dan cuenta que hacen falta colocar más blindajes, detectores y filtros<sup>172</sup>.

Con la llegada de mayores presupuestos incluidos en el nuevo Plan Nuclear, se mejora la línea y la instrumentación (entre 2011 y 2014 se compra un detector nuevo)

---

<sup>170</sup> Entrevista 6: 05/10/2017 a

<sup>171</sup> Entrevista 6: 05/10/2017 a

<sup>172</sup> Entrevista 6: 05/10/2017 a

y se pone a punto una técnica para medir Boro en semiconductores, identificando su profundidad en el material<sup>173</sup>.

### **Neutrografía**

La técnica de radiografía con neutrones, o neutrografía <sup>G45</sup>, aparece junto con el Análisis por Activación Neutrónica (AAN) como una herramienta para ser aplicada a desarrollos industriales e investigación en materiales desde el inicio de operación del RA-6<sup>174</sup>. En un principio se realizaban neutrografías revelando una placa de radiografía ubicada en el exterior de la columna térmica <sup>G12</sup>. Si bien las imágenes no tenían una buena resolución, la técnica se utilizaba esporádicamente, sobre todo con fines docentes, hasta el momento en que se retira la columna para instalar la línea BNCT<sup>175</sup>. El cambio a adquisición digital se da a mediados de los 2000 y trae junto con la facilidad de la adquisición de las imágenes y el aumento de resolución, la profesionalización de la aplicación como un servicio del RA-6<sup>176</sup>.

Durante el 2005 se realizan los primeros estudios con un trabajo final para la carrera de ingeniería nuclear (Mezio, 2007). En el 2006 comienzan los trabajos de ingeniería para poner a punto facilidad implementando un sistema de cámaras digitales acopladas a una placa centelladora para convertir la señal neutrónica en luz. Esta línea la diseñan completamente, desde los planos y cálculos, hasta lograr una facilidad funcional y un sistema de neutrografía online, y en el 2010 se toma personal técnico (un becario) para esta facilidad. El becario pasa a planta de Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) el 2015 y hoy se encuentra como investigador de línea, realizando su tesis de doctorado con neutrografía aplicada al estudio de almacenadores de hidrógeno.

La neutrografía es una técnica principalmente no destructiva que puede detectar elementos livianos dentro de materiales más pesados, en dimensiones de 20x20cm<sup>2</sup>, y por el momento (2018) el RA-6 es el único lugar de la Argentina donde puede realizarse este tipo de estudios. Apoya principalmente fines científicos: por ejemplo, el grupo de Fisicoquímica de Materiales del Centro Atómico Bariloche (CAB) ha hecho neutrografías de celdas de almacenamiento de Hidrógeno (Pieck, 2009). También arqueólogos de la Asociación Paleontológica Bariloche han irradiado fósiles (Carabajal & col., 2015) y hubo un proyecto para evaluar la densidad en componentes para satélites de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Actualmente,

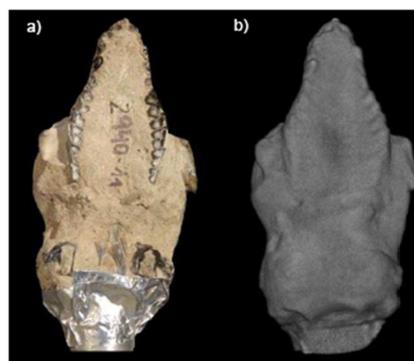
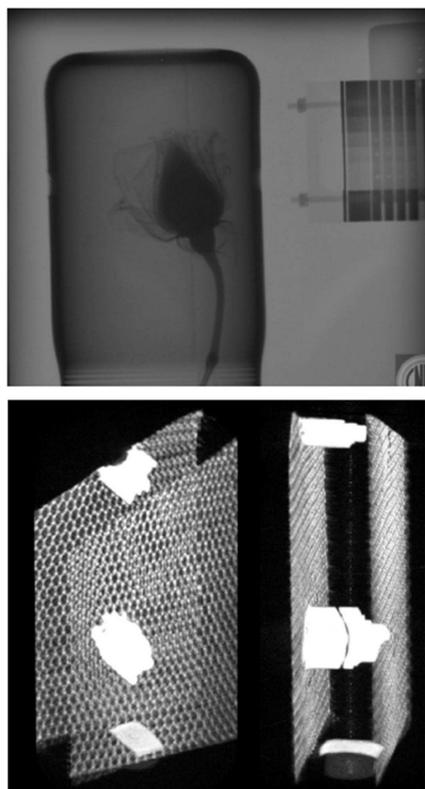
<sup>173</sup> Entrevista 6: 05/10/2017 a

<sup>174</sup> Bitácora de Operación 2: 1986

<sup>175</sup> Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>176</sup> Entrevista 3: 22/05/2017, Entrevista 10: 27/02/2018

se está avanzando en la tomografía de neutrones para revelar la estructura interna de piezas. En particular, en el año 2014 se probó un dispositivo rotatorio elaborado *in house* y se obtuvo exitosamente la primera tomografía con neutrones. Durante el 2015 se ha mejorado el procesamiento de los datos y se han dado los primeros pasos en la segmentación de elementos en las tomografías (Marín, 2015).



#### AVANCES EN LA ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE TOMOGRAFÍAS CON NEUTRONES EN EL RA6

Marín, J.

Centro Atómico Bariloche, CNEA, Av. Bustillo 9500, Bariloche, Argentina

E-mail: [jmarin@cab.cnea.gov.ar](mailto:jmarin@cab.cnea.gov.ar)

La radiografía con neutrones es un ensayo no destructivo en el que se registra una imagen de la atenuación que sufre un haz de neutrones al atravesar un objeto. La única instalación de neutrografía en Argentina se encuentra en el reactor RA6 y comenzó a operar en 2012. Desde entonces se ha trabajado en caracterizar y mejorar la instalación, así como también se ha empleado esta herramienta en diversas áreas de interés científico.

Análogamente a lo que ocurre con rayos X, es posible realizar tomografías con esta técnica. Al rotar la muestra y tomar una secuencia de imágenes, se consigue un conjunto de proyecciones que, luego de procesadas, permiten obtener una reconstrucción tridimensional de los objetos bajo estudio.

En 2014 se probó un dispositivo rotatorio elaborado localmente y se obtuvo la primera tomografía con neutrones. En el transcurso del último año se ha mejorado el procesamiento de los datos y se han dado los primeros pasos en la segmentación de elementos en las tomografías. En este trabajo se mencionarán los conceptos básicos que hacen a una tomografía con neutrones. También se mostrarán los resultados obtenidos y se comentará el software utilizado. Por último, se mencionarán posibles mejoras a realizar.

Figura 23:Neutrografías de una rosa, un cráneo arqueológico y una pieza, publicadas en la página del Centro Atómico Bariloche ([www.cab.cnea.gov.ar](http://www.cab.cnea.gov.ar)) y en un artículo de J. Marín publicado en la conferencia de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, AATN, XLII Reunión Anual, 2015, Bs As, Argentina.

### **Difractometría de neutrones**

Si bien la facilidad de difractometría de neutrones <sup>G16</sup> es mucho más compleja y con componentes mucho más caros que las otras, el retorno al país de expertos en la temática, permitió consolidar esa propuesta junto a la llegada del equipamiento financiado por el proyecto RA10<sup>177</sup>. El objetivo de desarrollar esta capacidad en el RA-6 va de la mano con el objetivo y la necesidad de poner a punto una herramienta que permita capacitar al plantel del reactor RA-10 y a los futuros usuarios de la técnica, en

<sup>177</sup> Entrevista 6: 05/10/2017 a, Entrevista 10: 27/02/2018

una de las líneas de trabajo diseñadas para el reactor en construcción<sup>178</sup>. El hecho que el difractor quede instalado en RA-6, luego de la construcción de RA-10, permitirá generar un grupo de usuarios locales y facilitar la herramienta para docencia, lo cual se concuerda con el estilo de gestión logrado por Herman Blaumann<sup>179</sup> y el grupo dedicado a desarrollos del RA-6 gestado dentro de la Gerencia de Ingeniería Nuclear (DIFRA).

### ***Sistema de Producción de Isótopos Medicinales (MIPS) de INVAP S.E.***

La perspectiva a nivel mundial de que más parte de la población va a acceder a diagnóstico y tratamiento de enfermedades cancerígenas con radioisótopos, atado a la disminución de los costos de fabricación, ha hecho que se busque diseñar reactores más chicos, sólo abocados a la producción de radiofármacos. El proyecto MIPS<sup>180</sup> es el desarrollo de un método alternativo para la producción de molibdeno (<sup>99</sup>Mo) con fines médicos, basado en la irradiación de una solución de Nitrato de Uranilo que evita procesar Uranio en placas, una técnica muy costosa tanto en residuos generados como en dosis. En este método, la solución pasa directamente por el núcleo del reactor y se separa en columnas cromatográficas. Así puede extraerse fácilmente el <sup>99</sup>Mo, y el resto del Uranio se reutiliza. El proyecto fue generado por INVAP S.E., en respuesta a un contrato con Babcock & Wilcox Company de EE.UU., quienes querían patentar un reactor homogéneo de producción para este fin y necesitaban hacer un prototipo y probarlo. Finalmente, el prototipo es desarrollado por INVAP S.E., y los cálculos de diseño de la física del núcleo en esas condiciones lo realiza el grupo DIFRA. El prototipo se prueba en el núcleo del RA-6<sup>181</sup>.

El MIPS fue un proyecto de gran relevancia para el reactor y tuvo muchas implicancias para la seguridad del mismo, ya que parte de la experiencia consistía en instalar un recinto abierto con combustible fisible <sup>G24</sup> (el Nitrato de Uranilo) en medio del núcleo. Además preveía la instalación de una celda caliente <sup>G8</sup> con telemanipuladores, en donde reprocesar la solución para extraer el <sup>99</sup>Mo, lo cual involucró a todo un grupo del reactor en su construcción e implementación<sup>182</sup>. En sí, era un proyecto de presupuesto chico, pero técnicamente con todos los condimentos de un proyecto grande, que incluso requería un permiso especial de la Autoridad Regulatoria Nuclear

---

<sup>178</sup> Entrevista 3: 22/05/2017

<sup>179</sup> Actualmente gerente del proyecto RA-10.

<sup>180</sup> MIPS: del inglés, Medical Isotope Production System, Sistema Modular de Producción de Isótopos.

<sup>181</sup> Entrevista 1: 02/12/2016, Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>182</sup> Entrevista 1: 02/12/2016, Entrevista 3: 22/05/2017

(ARN). Si bien era un proyecto de INVAP S.E., tuvo plena participación del personal de RA-6, justamente porque era la institución la que debía responder ante la ARN<sup>183</sup> sobre la seguridad de la instalación.

Ese proyecto demoró 3 años, desde la evaluación hasta la finalización (2011-2013). El <sup>99</sup>Mo extraído no se procesó en el país sino que se mandó a EE.UU. para su acondicionamiento bajo normas de calidad de medicina nuclear. El proceso fue confidencial y luego patentado. Al terminarse este proyecto, se retiró del reactor parte de la instrumentación, aunque se dejó la celda caliente. Otras cosas se guardaron en tambores, que hoy se encuentran en el hall del reactor<sup>184</sup>.



Figura 24: Celda caliente con telemanipuladores instalada en el RA-6 para el proyecto MIPS. Fuente: Analía Soldati, gentileza RA-6.

<sup>183</sup> Entrevista 3: 22/05/2017

<sup>184</sup> Entrevista 1: 02/12/2016

### **RA-6 on line**

Este proyecto tiene mucho que ver con el marco tecnológico (MT) “Docencia” y la modalidad de uso del reactor como “reactor escuela” que comienza ya en la fase 1. Aquí esta modalidad es llevada a la época actual, aprovechando el cambio de paradigma en la forma de enseñar ingeniería nuclear en el mundo, gracias a las tecnologías de la información.

Este proyecto fue concebido desde DIFRA y RA-6, con total independencia del IB<sup>185</sup>. Surge en realidad de un proyecto de coordinación internacional de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) para dar capacitación gratuita a tres países latinoamericanos (Cuba, Ecuador y Bolivia), pero permitiendo la posibilidad de cobrar por otras capacitaciones a distancia.

La idea principal es tener un profesor-tutor (entrenado en el RA-6) en la universidad de destino y un supervisor que es parte del plantel del RA-6. Hay cámaras *on-line* en el país de destino y en el RA-6 (en la consola principal, en la consola de estudio y en boca de tanque). Las experiencias se llevan a cabo en forma mensual o bimensual, con la participación de los alumnos a distancia, de la misma forma que si se tratara de alumnos presenciales. La diferencia radica en que el RA-6 ofrece las prácticas (del estilo de las que se realizan en la cátedra de "Laboratorio de Ingeniería 2"), pero es el profesor externo quién adapta contenidos, evaluación y alcance a su propia cátedra<sup>186</sup>.

Actualmente (2018), se está tratando de implementar el RA-6 *on-line* en Cuba, Colombia y Ecuador, a los cuales se suma Bolivia, la universidad Politécnica de Madrid y la del País Vasco de España. Las clases son en español y siempre en presencia del instructor remoto<sup>187</sup>. El IB sólo da su aval académico a través de la aprobación por el Consejo Académico en caso que los clientes así lo requieran, y allí participan en las actividades y evaluaciones los docentes del instituto. En este marco, por lo tanto, el IB no funciona como unidad docente sino como una unidad facilitadora de la instrucción, es decir no certifican el curso y no son parte del plantel docente de esas organizaciones; proponen un servicio que toman los profesores de esas universidades, y son ellos quienes lo adaptan a sus clases. Los instructores del RA-6 no reciben por este trabajo un sueldo extra, sino que se maneja en un marco de colaboraciones por OIEA<sup>188</sup>.

---

<sup>185</sup> Entrevista 3: 22/05/2017

<sup>186</sup> Entrevista 3: 22/05/2017, Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>187</sup> Entrevista 3: 22/05/2017

<sup>188</sup> Entrevista 3: 22/05/2017

Este proyecto es interesante no sólo para las universidades extranjeras que no tienen la posibilidad de contar con un reactor de práctica en su región, sino también para los entrenamientos de planteles internacionales. Es sabido que el costo de traer personal a San Carlos de Bariloche por varios meses a capacitarse, no es bajo. De esta forma, otras instituciones como las Centrales Nucleares o INVAP S.E. se pueden beneficiar con el RA-6 *on-line*<sup>189</sup>.

Como testigo de lo relevante que puede llegar a ser esta nueva modalidad en algunas regiones, a continuación se presenta un extracto del artículo que publica el portal educativo Red Latinoamericana para la Educación y la Capacitación en Tecnología Nuclear (2018):

El viernes 9 de septiembre, el reactor de investigación RA-6 de la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina (CNEA) realizó la primera transmisión de forma remota para alumnos de universidades de América Latina. La actividad tuvo lugar el marco del proyecto "Internet Reactor Laboratory" impulsado por Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). En esta primera experiencia, los profesionales Pablo Cantero y Dante Mangiarotti coordinaron la práctica "Instrumentación Nuclear" que realizan siete alumnos de la Escuela Politécnica Nacional de Quito (Ecuador), asistidos por la profesora Maribel Luna, quien se desempeñó como instructora remota<sup>190</sup>

### **Modificaciones en BNCT**

Respecto a las modificaciones que sufre la línea de BNCT<sup>G6</sup> en este período, en el 2011 se termina la construcción de los detalles gruesos de un haz mejorado y hasta el 2013 se da lugar a la nueva etapa de caracterización y recertificación del haz<sup>191</sup>. Recién en mayo de 2015 se habilita la línea para recomenzar con los tratamientos, y en septiembre/octubre se puede irradiar el interior de la pierna derecha de una paciente (Revista U238, 2015/10/27).

Con respecto a la situación internacional de la técnica BNCT, en Finlandia se hacían tratamientos y se fundó una empresa privada para la gestión y administración, demostrando una clara perspectiva comercial. Sin embargo, el reactor nuclear que ellos usaban (el FIR 1) cerró por motivos políticos. La empresa, sin embargo, sigue

<sup>189</sup> Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>190</sup> Modificado de <http://www.lanentweb.org/es/reactor-nuclear-RA-6-experimentos-virtuales> 31/03/2018

<sup>191</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

trabajando a nivel académico y actualmente consiguieron la inversión para comprar un haz de neutrones para reemplazar al reactor nuclear. En EE.UU., los trabajos del MIT alrededor el 2005 demostraron que BNCT no parecía ser útil para curar tumores cerebrales de asiento profundo. Con eso fue suficiente para cancelar el proyecto en este país. En Italia, existen grupos trabajando en el tema, pero no tienen reactores que puedan utilizar. En Japón, desde 1990 irradian pacientes en forma sistemática y continua, con más de 100 pacientes al año, y al día de hoy hay al menos un acelerador para BNCT instalado en un hospital. La misma situación se da en Taiwán<sup>192</sup>.

Hoy por hoy, la del RA-6 es la única facilidad en el mundo que tiene un haz operativo utilizando un reactor nuclear como fuente de neutrones, y cuenta además con una licencia para tratar hasta 4 pacientes por año<sup>193</sup>. Si bien en todos estos años el equipo de trabajo ganó mucha experiencia irradiando animales y luego algunos pacientes, desde el 2016 el Instituto Roffo no derivó mas pacientes al RA-6<sup>194</sup>. Los oncólogos explicaron extraoficialmente que apareció en el mercado una droga, que sería mejor contra el melanoma que el tratamiento con BNCT. Ante este nuevo panorama, el grupo de radiobiología del CAC sugirió empezar a trabajar en un modelo animal de tumor de cabeza y cuello (Monti Hughes & col., 2017), y también aprovechar casos veterinarios de aparición espontánea de este tumor. Así, en Julio de 2016 irradiaron a una perrita mestiza en tres ocasiones, con un muy buen resultado, y luego un perro ovejero, que se irradió dos veces, la última vez en febrero de 2017<sup>195</sup>.

En paralelo, y desde un punto de vista más técnico, Juan Longhino empezó a trabajar en las capacidades de modificación del espectro del haz, financiándose parcialmente con pequeños proyectos de la Universidad de Cuyo. La modificación propuesta a futuro es colocar una caja con agua pesada en la línea del haz, que se pueda llenar o vaciar, para variar a voluntad parámetros del haz con el fin de irradiar un tumor profundo o un tumor superficial, a demanda<sup>196</sup>. Esta modificación fue apoyada por el grupo de radiobiología del CAB. De hecho, hay expectativas que puedan evolucionar el permiso de tratamiento de melanomas a un tratamiento más general, que tenga que ver con la capacidad de penetración del haz<sup>197</sup>.

Debido a la falta de presupuesto, la capacidad se encuentra instalada y operativa, pero los materiales se degradan, y hay una fuga de personal ya que los

---

<sup>192</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>193</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>194</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>195</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>196</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>197</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

becarios son absorbidos por otros lugares. Como alternativa, y gracias a la buena caracterización con la que cuenta, el haz de BNCT brinda servicio para calibración con mucha sensibilidad de detectores de neutrones y rayos gamma para otros grupos. Fuera de esto, y como iniciativa de Longhino, también se irradian muestras para otras aplicaciones. La sala de irradiación, no ocupada actualmente por pacientes, cuenta con un lugar muy amplio que permitiría instrumentar e investigar materiales, temas de dosimetría, caracterización en detectores y materiales para radioterapia, etc<sup>198</sup>.

Con el centro de radioterapia INTECNUS en el mismo predio del CAB, existe la expectativa que los médicos y físicos médicos se interesen en realizar doctorados para seguir su carrera académica, y den un nuevo avance a BNCT. Por ello, el grupo se esfuerza en mantener vigente los conceptos y capacidades desarrollados durante más de 19 años<sup>199</sup>.

---

<sup>198</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

<sup>199</sup> Entrevista 9: 10/10/2017

**U238** NOTICIAS ▾ EDICIONES IMPRESAS ▾ ILUS

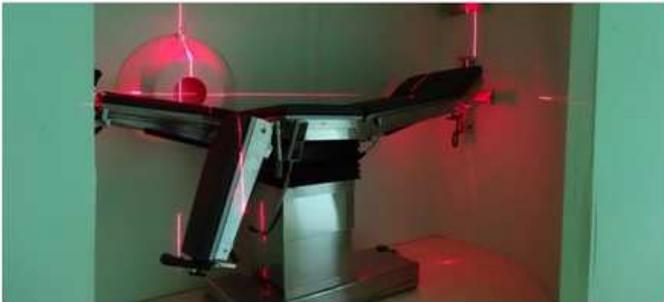
Tecnología nuclear para el desarrollo

Inicio ▾ Noticias ▾ Aplicaciones ▾ Se reinician los tratamientos clínicos de BNCT en el RA-6

## Se reinician los tratamientos clínicos de BNCT en el RA-6

octubre 27, 2015

f t G+ v




Luego de muchos ensayos, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) retomó la aplicación del "Protocolo Clínico de estudio Fase II" para la aplicación de la Técnica de Captura Neutrónica en Boro (BNCT, por su sigla en inglés) en pacientes con ciertos tipos de cáncer de piel.

El primer tratamiento se inició el 14 de octubre, en una paciente derivada por el Instituto de Oncología "Ángel H. Roffo" diagnosticada con melanoma en extremidades. La terapia se realiza en la nueva facilidad de tratamientos del reactor de investigación RA-6, del Centro Atómico Bariloche.

El ensayo clínico fue previamente aprobado por la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT), por los comités de Ética y Docencia e Investigación del Instituto de Oncología "Ángel H. Roffo", y por la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN).

Figura 25: Artículo de la revista U238 sobre la facilidad de irradiación BNCT del RA-6, publicado en el 27/10/2015

### Marcos tecnológicos presentes en la fase 4

Durante la fase 4 (Tabla 12) se suma a los marcos tecnológicos (MT) "Docencia", "Salud" y "Bio/Eco" un nuevo marco tecnológico relacionado a los nuevos o mejorados usos del reactor como técnica de análisis para otras áreas, en especial para la ciencia de materiales (Tabla 13): el MT "Soporte Analítico" que incluye la puesta a punto de nuevas técnicas de análisis como PGNAA, Neutrografía y Difracción de neutrones. Este marco está mayormente influenciado por subgrupos que nacen de la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA) y por el mismo plantel del RA-6 (DOMI). A diferencia del MT "Servicios" que había aparecido durante la fase 2, el MT "Soporte Analítico" no surge de la necesidad de financiamiento para un grupo en particular sino

a partir de la voluntad de ampliar y diversificar el uso del RA-6 a otras comunidades de usuarios. Este marco tiene mucho que ver con aquél marco “Desarrollos” que había aparecido durante la fase 1. Podría verse en sí como una continuación del mismo durante la fase 4. Por otro lado, de la mano del proyecto MIPS aparece el marco tecnológico “Banco de Pruebas” (

Tabla 14), apoyado por los grupo sociales relevantes de la casa como el plantel del reactor (DOMI) y el grupo DIFRA, y por grupos externos como INVAP S.E..

Cabe aclarar que durante los trabajos de cambio de núcleo (2007-2009), el reactor no se encuentra operativo, y todos los marcos tecnológicos suspenden el uso del equipamiento, aunque siguen existiendo.

**Tabla 12: Marcos Tecnológicos presentes en la fase 4**

Marco Tecnológico	Fase 4															
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
MT1 Docencia	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x
MT2 Investigación								x	x	x	x	x	x	x	x	x
MT3 Desarrollo								x	x	x	x	x	x	x	x	x
MT4 Salud	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x			
MT5 Servicios																
MT6 Bio/Eco	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x
MT7 UBERA-6			x	x	x	x	x									
MT8 Soporte Analítico	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x
MT9 Banco Pruebas									x	x	x					

**Tabla 13: Características del MT “Soporte Analítico” durante la fase 4**

Marco Tecnológico	Soporte analítico
<b>Fase</b>	Multiplicidad de Aplicaciones
<b>Años</b>	2003-2018
<b>Grupos Sociales Relevantes y su interpretación del artefacto</b>	<p>DIFRA – Subgrupos BNCT, Gamma Prompt, Neutrografía, Difracción: Herramienta para una amplia y diversa comunidad de usuarios</p> <p>Grupo Neutrones CAB: Herramienta para reemplazar algunas de las técnicas del LINAC</p> <p>Grupo Físicoquímica CAB : Herramienta para investigación de materiales</p> <p>Plana directiva RA-10: Herramienta para entrenar el plantel del RA-10</p>

	Plantel del RA-6 (DOMI): Herramienta para fomentar la formación y capacitación de diversos grupos de usuarios
<b>Problema 1</b>	Se necesita una técnica para medir instantáneamente la concentración de Boro en sangre de paciente en durante el tratamiento de BNCT
<b>Problema 2</b>	El reactor RA10 necesita un lugar donde realizar prácticas profesionales de difracción de neutrones y se desea ir formando una comunidad de usuarios
<b>Problema 3</b>	Se necesita mayor resolución espacial para investigar el interior de ciertas piezas por medio de radiografía de neutrones
<b>Solución 1</b>	Instalar un detector de Gamma-prompt
<b>Solución 2</b>	Instalar una línea de Difracción de neutrones
<b>Solución 3</b>	Instalar un equipo de neutrografía más moderno
<b>Disciplinas</b>	Ingeniería Nuclear Neutrónica Radioprotección Dosimetría Materiales
<b>Cambios Impulsados en el artefacto y/o sus usos</b>	Instalación de filtros y colimadores Instalación de un nuevos detectores Instalación de equipos y dispositivos Instalación de nuevos blindajes

Tabla 14: Características del MT “Banco de Pruebas” durante la fase 4

Marco Tecnológico	Banco de Pruebas
<b>Fase</b>	Multiplicidad de Aplicaciones
<b>Años</b>	2011-2013
<b>Grupos Sociales Relevantes y su interpretación del artefacto</b>	Plantel del RA-6 (DOMI): Herramienta para evaluar y diseñar prototipos División Física de Reactores Avanzados (DIFRA): Herramienta para evaluar y diseñar prototipos INVAP S.E.: Banco de pruebas. Ventaja competitiva

	internacionalmente.
<b>Problema</b>	INVAP S.E. necesita ensayar y evaluar un prototipo fabricado por la empresa para la generación de radioisótopos
<b>Solución</b>	Usar el RA-6 como banco de pruebas para ensayar el prototipo
<b>Disciplinas</b>	Ingeniería Nuclear Neutrónica Radioprotección Dosimetría Química
<b>Cambios Impulsados en el artefacto y/o sus usos</b>	Instalación del Módulo Instalación de una celda caliente en los subsuelos del reactor Relicenciamiento

#### **Grupos sociales relevantes presentes en la fase 4**

*MT "Docencia": DOMI, DIFRA, LAAN*

Los docentes de la materia "Laboratorio de Ingeniería 2" o de "RA-6 *on-line*" son a su vez parte del plantel de RA-6 (DOMI), de la División Física de reactores Avanzados (DIFRA) o del Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN), por lo cual aparece una componente práctica, operativa o volcada a las aplicaciones muy fuerte en las capacitaciones, además de que el reactor cobra una importancia en la carrera de ingeniería nuclear parecida a la del primer período (se usa en forma integral durante un semestre completo), a la vez que surge como herramienta esporádica en algunas materias.

*MT "Bio/Eco": LAAN*

En este período el grupo del LAAN esta formado por unas 15 personas, entre investigadores doctores, postdocs, ingenieros y becarios, tienen líneas de investigación muy diversas, entre ellas las de análisis de metales pesados en medio ambiente, análisis de bio-acumulación en cadena trófica, trazadores, análisis y fechado de tefras volcánicas, análisis de cenizas, etc. Con respecto desarrollos, el grupo no diseña instrumentación específica que pudiera modificar el RA-6 o su

operación, pero sí trabaja en desarrollo de técnicas químicas y nucleares. También certifican material de referencia, compiten en experiencias inter-laboratorio, se certifican como laboratorio para prestar servicios a la Unión Europea, y desarrollan instrumentos en la parte de muestreo (por ejemplo de sedimentos y de plancton).

*MT “Salud”: Médicos oncólogos del Instituto Roffo, radiobiólogos, subgrupo BNCT de DIFRA, plantel RA-6.*

Durante la fase 2 el plantel del RA-6 (DOMI) y algunas personas de DIFRA visualizaron la posibilidad de usar el RA-6 en tratamientos médicos y convocaron a los médicos oncólogos del Instituto Roffo y al grupo de radiobiólogos del Centro Atómico Constituyentes (CAC). Cuando el proyecto se conforma como un proyecto multidisciplinario de gran envergadura, estos dos grupos pasan a ser los que dirigirán los cambios necesarios en el reactor para adaptarlo al objetivo, mientras que los grupos de la casa serán los encargados de concretar técnicamente esos desafíos. Sin embargo, a partir del 2016 se da un vuelco en esta forma de interacción. Para los médicos aparece una droga más efectiva que el tratamiento BNCT para curar los tumores del tipo melanoma. Los médicos por lo tanto no derivan más pacientes hacia el RA-6. Con la falta de pacientes, aparece nueva disponibilidad de tiempo en la línea BNCT. Esto es aprovechado por los otros grupos para volver, de cierta forma, a algo parecido a lo que se daba en los marcos tecnológicos de “Desarrollo” e “Investigaciones” de la fase 1. Los radiobiólogos del CAC aprovechan tiempo de línea para investigación en modelos de tumores con animales. Por otro lado, el subgrupo BNCT de DIFRA, comienza a planear nuevos desarrollos técnicos en torno a la línea, como la posibilidad de variar a voluntad parámetros del haz con el fin de irradiar un tumor profundo o un tumor superficial, a demanda. Además, ponen a punto y ofrecen un servicio para calibración con mucha sensibilidad de detectores de neutrones y rayos gamma para otros grupos, aunque no se percibe claramente si esta actividad terminará resurgiendo en un marco tecnológico parecido al MT “Servicios” de la fase 2.

*MT “Salud” y MT “Soporte Analítico”: diversos subgrupos de DIFRA*

Con la llegada del nuevo Plan Nuclear y su presupuesto, muchas de las facilidades en las que trabajaba el personal de DIFRA en el RA-6 tienen la posibilidad de renovarse. Sin embargo, de la mano con el plan aparece el proyecto del reactor RA-10. Una vez finalizado el proyecto UBERA-6 en el 2009, Herman Blaumann queda a la cabeza de RA-10 y necesariamente debe desvincularse de la gestión de proyectos

en RA-6, aunque como él mismo aclara “siempre quedó ligado de corazón al reactor”<sup>200</sup>. BNCT queda a cargo de Juan Longhino, que hace los ajustes para ampliar la facilidad y darle más versatilidad: gracias a la suba de potencia, puede obtener una componente de radiación más pura, y aprovecha a renovar blindajes, filtros y la sala de irradiación. La facilidad de PGNAA, que se está terminando de armar, queda a cargo de Fernando Sánchez.

Por otro lado DIFRA había adquirido recientemente más capacidad de cálculo con su primer cluster propio, y hacia el 2008-2009 ya podían empezar a diseñar con esta herramienta las nuevas facilidades o calcular los efectos de las modificaciones que se querían implementar. A esto se suma que los fondos del BAPIN RA-6<sup>201</sup> fluyen junto con nuevos fondos del RA-10 para solventar el desarrollo de infraestructura y aplicaciones para el reactor.

A mediados de la década del 2000, comienza la ingeniería para una facilidad de neutrografía implementando un sistema de cámaras digitales acopladas a una placa centelladora para convertir la señal neutrónica en luz. Esta línea la diseñan completamente, desde los planos y cálculos, hasta lograr una facilidad funcional y un sistema de neutrografía online, y además de dos proyectos integradores de la carrera de ingeniería nuclear<sup>202</sup>, se toma personal técnico: Julio Marin entra como becario para esta facilidad y comienza a desarrollarse como científico de línea.

Algunos años más tarde, y con la efectivización de la compra de un difractor de neutrones, comienza a desarrollarse esta línea para RA-6. En un principio pensada como soporte para aprender y desarrollar la técnica para el RA-10 y también para utilizar la nueva capacidad en docencia e ir generando la comunidad de usuarios.

Todas líneas de desarrollo propuestas por DIFRA se arman con el mismo esquema que BNCT: una parte de cálculo y una parte experimental, redactando los resultados mayormente en formato de informes de ingeniería y presentaciones en reuniones intra-CNEA, sin dejar de lado la fuerza de trabajo proveniente de las tesis de ingeniería y maestrías del IB. Esta forma organizacional, que ya se venía practicando desde UBERA-6, reemplaza el documento científico amateur<sup>203</sup> y profesionaliza el desarrollo de las aplicaciones del RA-6.

---

<sup>200</sup> Entrevista 10: 27/02/2018

<sup>201</sup> Banco de Proyectos de Inversión Pública (BAPIN) N°30261 AMPLIACIÓN CAPACIDAD ACADÉMICA DEL REACTOR RA-6 - CENTRO ATÓMICO BARILOCHE - RIO NEGRO (PROG.20, PROY.02, OBRA51) - (EX PROG.18, PROY.03, OBRA51) 2011-2013.

<sup>202</sup> Federico Mezio y Darío Pieck.

<sup>203</sup> Esta forma organizacional, al estilo grupo de ingeniería, deja por escrito y bajo un sistema de calidad cada paso del proyecto: con metas, planes, objetivos concretos, fechas, presupuestos, etc.

Al finalizar la etapa de entrevistas de esta tesis (2018) el grupo de desarrollo de aplicaciones para el RA-6, que en un principio se había movido estructuralmente en la organización de CNEA de la esfera de RA-6 a la esfera de DIFRA, está moviéndose nuevamente en sentido contrario. Varias personas del plantel están volviendo a formar parte (formalmente) de la estructura de RA-6. Esto quizás se deba dos motivos. Primero a la madurez alcanzada por el reactor y su plantel en estos más de 35 años de servicio, donde se pasó de una juventud dedicada casi mayormente a docencia, con fuerte componente operativa y de conocimiento de la máquina, a una etapa más madura, segura de la instalación y su funcionamiento, expansiva y conectada a otras necesidades de la comunidad. En segundo lugar, y no menos importante, es que se ha ido formado alrededor del RA-6 una cultura organizacional a la que los desafíos tecnológicos seducen y motivan a emprender nuevas aventuras tecnológicas: no es de extrañar entonces que la misma comunidad del RA-6, interesada en no estancarse y seguir desarrollándose, se embarque en proyectos atractivos, ya sean éstos propuestos por INVAP S.E., por IB, por médicos, por cristalógrafos, ingenieros o científicos.

*MT "Banco de Pruebas": INVAP S.E., DOMI, DIFRA*

Si bien INVAP S.E. ya había utilizado el RA-6 como banco de pruebas para evaluación de materiales y prácticas de operaciones, es en esta fase y de la mano con el proyecto de producción de isótopos para medicina (MIPS) que lo consolidan como una herramienta de diseño y validación. Junto al personal del reactor y de DIFRA transforman el RA-6 en una plataforma de prueba para nuevos desarrollos industriales y científicos, visible incluso en la comunidad internacional. Estos grupos tienen la influencia necesaria para que, luego de la parada por el cambio de núcleo (UBERA-6) de la fase anterior, el reactor vuelva a dedicarse casi exclusivamente a este proyecto por varios meses, dejando momentáneamente relegadas las actividades de otros grupos sociales relevantes como las del LAAN o BNCT.

#### **Análisis socio-técnico de la fase 4**

Este período se enmarca dentro de un ambiente político que, al menos hasta el 2016, apoyó el desarrollo científico-tecnológico nacional, vinculando tanto al sector académico (CONICET, Agencia, Universidades) como al sector productivo (pequeña y mediana empresa) del país. Esto promovió la gestación de un nuevo Plan Nuclear que reintegró el rol estratégico de la generación nucleoelectrónica (casi eliminado durante la

fase 2) mientras que siguió apoyando la tecnología nuclear para fines diversos como la salud y las aplicaciones industriales, dio presupuesto para la compra de equipamiento e instrumentación, financió actividades de I+D y docencia, y facilitó la contratación de recursos humanos.

En ese contexto, la fase 4 presenta el resurgimiento del marco tecnológico (MT) “Desarrollo”, que había aparecido durante la fase 1, en un nuevo MT, el de “Soporte Analítico”. Apoyado por subgrupos originados en la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA) y por el mismo plantel del RA-6 (DOMI), se abren nuevas aplicaciones de los neutrones, incluyendo técnicas de análisis como la activación de gammas instantáneos (PGNAA), la neutrografía y la difracción de neutrones. Estas líneas apuntan a apoyar las investigaciones de usuarios de otras disciplinas como la salud, la ciencia de materiales y la industria. Sin embargo, a diferencia del MT “Servicios” que había aparecido durante la fase 2, el MT “Soporte Analítico” no nace de la búsqueda de fuentes de financiamiento para un grupo en particular, sino a partir de la voluntad de ampliar y diversificar el uso del RA-6, o de responder concretamente a las necesidades de otros grupos sociales relevantes. Puede observarse, por ejemplo, que las líneas PGNAA y difracción surgen como respuesta a la necesidad de otros grupos de CNEA, mientras que neutrografía pareciera tener su origen en un interés más propio de fomentar la diversificación y modernización de los usos del reactor.

Por otro lado, la técnica de PGNAA aparece para cubrir una necesidad de otra de las técnicas instaladas en el RA-6. La línea de terapia para cáncer, que ya se había instalado en la fase 2 y se mejoró durante las fases 3 y 4, necesitaba de la implementación de un análisis que pudiera determinar la concentración de Boro en sangre, PGNAA daba respuesta a este problema. El *know-how* necesario para poner a punto la nueva aplicación se consiguió a través del apoyo de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), que facilitó capacitaciones en el exterior. El RA-6 recibe entre el 2011 y el 2014 más blindajes y nuevos detectores y filtros, y se pone a punto la técnica de PGNAA, midiendo Boro en semiconductores e identificando su profundidad en el material. Aquí puede apreciarse como el grupo social relevante formado por médicos y radiobiólogos de la línea BNCT impulsa desde la problemática de la “salud” a un subgrupo de ingenieros de DIFRA y al plantel del RA-6 (DOMI), quienes llevan a cabo el nuevo desarrollo en el RA-6.

La técnica de radiografía con neutrones, o neutrografía, aparece junto con el Análisis por Activación Neutrónica (normal o instantánea) como una herramienta para ser aplicada a desarrollos industriales e investigación en materiales. Esta técnica que originalmente se hacía mediante el revelado de placas radiográficas, se implementa en

los 2000 utilizando un proceso de digitalización, profesionalizando el servicio. Se abre así la participación del reactor en temas tan diversos y alejados de la generación nucleoelectrónica como aquellos asociados a la actividad aeroespacial y satelital, o a la arqueología. Junto al plantel del RA-6, aparece como grupo social relevante impulsando el cambio del artefacto un subgrupo originario de DIFRA y paralelo a los otros dos subgrupos (BNCT y PGNA): el subgrupo de neutrografía, encargado del desarrollo y la operación de la técnica. No se observa en las entrevistas o en la información periodística o científica publicada que hubiera otro grupo detrás de éste que impulse la necesidad de implementar esta técnica, como sí se observó para la línea de PGNA. Aparentemente, la línea de neutrografía surge de acuerdo a los objetivos de esta etapa, con la posibilidad de aumentar las facilidades del RA-6 y su comunidad de usuarios.

Finalmente, la facilidad de difracción de neutrones del RA-6, que también trae aparejada la instalación de un equipo complejo en uno de los conductos no pasantes del RA-6, se consolida gracias al proyecto RA-10. Con el objetivo de poner a punto una herramienta que permita capacitar al plantel del nuevo reactor, es el grupo de RA-10 (gerenciado ahora por Herman Blaumann) quién ahora impulsa los cambios generados en el artefacto.

Los marcos “Docencia”, “Salud” y “Bio/Eco” que ya se habían instalado en torno al RA-6 durante las fases anteriores, continúan en esta etapa con pequeñas diferencias respecto a las fases anteriores.

El MT “Docencia”, por un lado, la instauración de la cátedra “Laboratorio de Ingeniería 2” propone desde el Instituto Balseiro (IB) una modalidad de uso intensivo y presencial del reactor para la carrera de ingeniería nuclear. Por el otro, la instalación se moderniza para incluir la enseñanza y capacitación a distancia. Es interesante notar que el proyecto “RA-6 on-line” fue concebido desde los grupos DIFRA y RA-6 (DOMI), con total independencia del IB y como parte de un proyecto de coordinación internacional de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) para dar capacitación a países latinoamericanos. En este marco, el IB no funciona como unidad docente sino como una unidad facilitadora de la instrucción.

El MT “Salud”, apoyado en los médicos oncólogos y radiobiólogos de Buenos Aires por un lado, y en los físicos e ingenieros de San Carlos de Bariloche por el otro, conlleva en esta fase modificaciones y mejoras alrededor de la línea de BNCT y su sala de irradiación. Sin embargo, si bien durante estos se años los grupos ganaron mucha experiencia irradiando fantasmas, animales y luego seres humanos, desde el 2016 el Instituto Roffo no derivó mas pacientes, observándose un cambio importante en torno a la interpretación del artefacto. Para los oncólogos, aparece una droga en el

mercado que pareciera funcionar mejor contra el melanoma que el tratamiento con BNCT, por lo que el reactor ya no es una herramienta para curar ese tipo de cáncer y dejan de mandar pacientes. Con la falta de pacientes, aparece nueva disponibilidad de tiempo de línea para investigación en la línea BNCT. Esto es aprovechado por los radiobiólogos, que reinterpretando el uso del RA-6 de vuelta hacia la investigación científica, impulsan investigaciones veterinarias sobre otros tipos de tumores. El subgrupo de DIFRA encargado de la línea, se adapta entonces a este nuevo desafío y continúa realizando las modificaciones necesarias para tal fin. Por otro lado, y también quizás por que sin pacientes existe más tiempo disponible de la línea para otros usos, el subgrupo BNCT de DIFRA aprovecha a utilizar la línea como una herramienta docente y para nuevos desarrollos. Dentro de estos últimos se cuenta la propuesta fabricar un haz de parámetros variables, que permitiera irradiar un tumor a distintas profundidades. Además, el hecho que la sala de irradiación es amplia, permitiría instrumentar e investigar temas muy diversos, además de los relacionados a salud. Por ejemplo, actualmente han puesto a punto y ofrecen un servicio para calibración con mucha sensibilidad de detectores de neutrones y rayos gamma para otros grupos. Aún no se discierne claramente si este tipo de actividades corresponderá al resurgimiento del MT "Servicios", en un afán de conseguir financiamiento para la línea.

Paradójicamente, mientras que para los grupos sociales relevantes en torno al RA-6 el MT "Salud" desde su línea de BNCT pareciera estar en una etapa de regresión, mundialmente se observa un aumento en el uso de radioisótopos medicinales. Así, uno de los objetivos de la industria biomédica es disminuir los costos de fabricación y en ese contexto comienzan a ser interesantes nuevos reactores nucleares, más chicos y sólo abocados a la producción de radiofármacos. El proyecto MIPS desarrollado por INVAP S.E. facilita la producción de molibdeno ( $^{99}\text{Mo}$ ) a partir de la irradiación de nitrato de uranilo en un reactor nuclear. El proyecto surge de un contrato internacional de la empresa con la estadounidense Babcock & Wilcox Company. El objetivo era probar el prototipo del MIPS en el RA-6 para luego patentarlo.

El prototipo es desarrollado por INVAP S.E. y los cálculos de diseño de la física del núcleo en esas condiciones lo realiza el grupo DIFRA. El ensayo requiere hacer funcionar el RA-6 con un recipiente abierto conteniendo una solución de nitrato de uranilo. Esta experiencia conlleva, además de todos los cambios estructurales necesarios en el reactor y la instalación de una celda caliente con telemanipuladores, las revisiones de la seguridad y del funcionamiento del artefacto. En sí, este proyecto tiene poco presupuesto, pero técnicamente posee las características de un proyecto grande, que incluso requiere un permiso especial de la Autoridad Regulatoria Nuclear

(ARN). Valga aclarar que a pesar de ser un proyecto de INVAP S.E., el MIPS posee plena participación del personal de RA-6, justamente porque es esta institución la que debe responder ante la ARN.

Si bien INVAP S.E. ya había utilizado el RA-6 como banco de pruebas para evaluación de materiales y prácticas de operaciones de otros reactores que la empresa fabricó, aquí lo consolida como una herramienta para diseño y validación de prototipos. Junto al personal del reactor y de DIFRA transforman el RA-6 en una plataforma de prueba para nuevos desarrollos de ingeniería, visible incluso en la comunidad internacional y en el mundo comercial. Es interesante notar que el hecho de ser un proyecto interesante y desafiante desde el punto de vista tecnológico, tiene la influencia necesaria para que, luego de la parada por el cambio de núcleo (UBERA-6) de la fase anterior, el reactor vuelva a dedicarse casi exclusivamente a este proyecto por varios meses, dejando momentáneamente relegadas las actividades de otros grupos como el LAAN o BNCT.

Como conclusión de esta fase podría exponerse que, la llegada de la decisión política y de los medios económicos y humanos aparece en un momento en que el plantel del RA-6 y los grupos sociales relevantes, habiendo alcanzado ya la madurez profesional y el conocimiento intensivo de la máquina, son ávidos de nuevos desafíos tecnológicos y abiertos a generar transformaciones para incursionar en nuevos usos o responder ante necesidades concretas. Así se entiende que los grupos vinculados a DIFRA consigan el apoyo necesario para hacer factible la puesta en marcha de varias nuevas herramientas, que si bien precisan de cambios en el reactor más o menos complejos, lo transforman en una máquina útil a mayor cantidad de usuarios. O que por pedido de una empresa como INVAP S.E. se pruebe un prototipo que requiere cambios mayores en el reactor, reevaluaciones de la seguridad y permisos especiales de la ARN. Por otro lado, este desenvolvimiento se da de la mano con un crecimiento fuerte en la componente docente del uso del reactor, con la creación de la materia Laboratorio de Ingeniería 2 y del RA-6 on-line. Las nuevas aplicaciones, junto con las tradicionales como el AAN pasan a ser parte de las prácticas habituales en torno al artefacto. Esto probablemente se vea consolidado por el hecho que los profesionales de RA-6 y DIFRA que impulsan estos nuevos usos, son los mismos docentes que luego transmiten a sus alumnos la capacitación.

## **8. Conclusiones**

Esta tesis se desarrolló a partir de la premisa que los cambios tecnológicos ocurridos en los más de 30 años de operación del reactor nuclear de investigación RA-6, fueron una consecuencia conjunta del avance de distintas tecnologías y de la interacción y de la interpretación entre distintos grupos sociales relevantes, dentro de un contexto técnico, social, político, económico, institucional y diplomático particular.

Para el análisis se identificaron cuatro fases temporales, en las cuales se desarrollan nueve marcos tecnológicos, que surgen como respuesta técnico-social de ciertos grupos para solucionar determinados problemas o desafíos específicos que se van construyendo a lo largo del tiempo. Se investigó cómo las relaciones de poder e influencia entre los distintos grupos e instituciones ayudaron a incrementar y modelar las capacidades del reactor.

### **Fases temporales identificadas**

El análisis socio-técnico del RA-6 se dividió en cuatro fases que abarcan distintos períodos temporales. Cada una de éstas involucra un conjunto particular de marcos tecnológicos, caracterizados por determinada motivación o problemática a resolver, y por la interpretación dominante de algunos de los grupos sociales relevantes involucrados.

Fase 1: Orígenes nucleares: desde su inauguración en 1982 hasta 1990.

Fase 2: Nuevos horizontes: abarcando la década de los 90' hasta el 2002.

Fase 3: El cambio de núcleo: entre el 2005 y el 2009.

Fase 4: Multiplicidad de aplicaciones: desde el 2003 hasta la actualidad (2018).

### **Síntesis de la trayectoria socio-técnica del RA-6**

El proyecto RA-6 tiene su origen en la necesidad de una herramienta específica para la carrera de ingeniería nuclear del Instituto Balseiro (IB) hacia fines de los años 70'. El apoyo que obtiene el proyecto desde el ámbito político-económico con Castro Madero (un militar ex alumno del IB) a la cabeza de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), se condice con el pleno auge de un ambicioso Plan Nuclear. Como desde el Estado se perseguía el dominio del ciclo de combustible completo a mediano plazo, gestionar un lugar donde los futuros ingenieros nucleares pudieran capacitarse era casi mandatario.

Con este fin se planea desde el inicio un reactor nuclear de investigación con facilidades docentes (como una doble consola de operación y aulas). También se le añaden otras capacidades técnicas, como un hall de reactor en baja presión y sistemas de ventilación, similares a los que se encontrarían en reactores de potencia. Por otro lado, se plantea también desde el inicio la posibilidad de hacer investigación y desarrollo (I+D), con lo cual se suma un laboratorio para implementar la técnica de Análisis por Activación Neutrónica (AAN), y se da cierta flexibilidad en el diseño, tal que permitiera instalar y ensayar distintos equipos a futuro.

Durante los años 90' comienzan a diversificarse los usos del RA-6. Ya no es considerado sólo un instrumento de enseñanza de punta para estudiantes y operarios, sino que además es reinterpretado como una herramienta que puede dar servicio a la sociedad en áreas tan diversas y lejanas a la temática de generación nucleoelectrónica, como la salud y el medioambiente. Con la instalación de la facilidad para tratamiento de cáncer por Terapia de Captura Neutrónica en Boro (BNCT) el RA-6 se ve envuelto por primera vez en grandes cambios estructurales, nuevos equipamientos e instrumentación, necesidad de capacitación, relicenciamientos, trabajo interdisciplinario en equipo, gestión de proyecto y por sobre todo una nueva funcionalidad.

Sin embargo, la instalación de BNCT no es el cambio mayor del reactor, éste se da pocos años después y corresponde al evento de cambio de núcleo y subida de potencia, también conocido como el proyecto de "Uranio de Bajo Enriquecimiento para el RA-6" (UBERA-6). En un principio, la necesidad de cambiar el núcleo existente por uno con menos del 20% de Uranio enriquecido surge como respuesta política a la presión internacional y su exigencia en devolver a EE.UU. los combustibles con alto contenido de  $^{235}\text{U}$  (considerados "proliferadores"). Para los grupos sociales relevantes en torno al RA-6 éste es el primer proyecto de gestión a mediana escala que contiene todos los elementos de un proyecto grande, y que generará en el plantel de profesionales y técnicos mucha enseñanza y una nueva confianza en sus propias capacidades para llevar a cabo tareas de gran envergadura.

La fase más reciente da a los grupos sociales relevantes (que ya se encuentran maduros profesionalmente, conocen perfectamente la instalación y son seducidos por los nuevos desafíos tecnológicos) el contexto político-económico necesario para desarrollar aplicaciones novedosas que requieran modificaciones importantes en el artefacto. Desde el Estado se apoya el desarrollo científico-tecnológico nacional y se devuelve al sector nuclear el rol estratégico que había tenido en la primera etapa. Con presupuesto para la compra de equipamiento e instrumentación y la contratación de recursos humanos, se apoyan tanto las actividades relacionadas a I+D como las de

capacitación, en temas de generación nucleoelectrónica, sin dejar de lado las aplicaciones de la tecnología nuclear para fines diversos como la salud y la industria. En esta etapa se mejora la línea de BNCT, se instalan las líneas de Análisis por Activación Neutrónica por Gammas Instantáneos (PGNAA), Neutrografía y Difracción de Neutrones, y se consolida el reactor como un banco de pruebas para ingeniería de diseño y desarrollo a partir de la evaluación del prototipo de un Sistema para Producción de Isótopos Medicinales (MIPS) de INVAP S.E.. Además, aparece un resurgimiento de la función docente del reactor con la implementación de una materia práctica intensiva para la carrera de Ingeniería Nuclear (materia Laboratorio de Ingeniería 2) y del RA-6 on-line.

### **Marcos Tecnológicos Identificados**

En el transcurso de las cuatro fases estudiadas aparecen nueve marcos tecnológicos (MT) apoyados por distintos grupos sociales relevantes. Enumerados cronológicamente según su aparición, éstos son: “Docencia”, “Investigación”, “Desarrollo”, “Salud”, “Servicios”, “Bio/Eco”, “UBERA-6”, “Soporte Analítico” y “Banco de Pruebas”. En determinadas ocasiones se observa cómo los intereses y relaciones de poder entre los grupos involucrados, dentro de determinado contexto técnico, político, económico, institucional, social y diplomático, llevan a la supremacía de un marco sobre otro, el cambio de rumbo de determinado MT (como es el caso de los MT “Investigación” y “Desarrollo”) o incluso la desaparición de alguno (por ejemplo, el MT “Servicios”).

En el MT “Docencia” los grupos relevantes interpretan el RA-6 como una herramienta experimental para la enseñanza, la capacitación y la práctica de la ingeniería nuclear. Este marco surge desde los comienzos del reactor y se extiende hasta la actualidad (2018) agregando como usuarios del RA-6 a los alumnos de la carrera de ingeniería nuclear del Instituto Balseiro (IB), los planteles de reactores de investigación y potencia del país y del exterior, cursantes de maestrías y especializaciones, y finalmente alumnos de ingeniería de otros países, que asisten a clases experimentales en modalidad en línea gracias al proyecto RA-6 “on-line”.

Los marcos “Investigación” y “Desarrollo” aparecen junto con el de “Docencia” ya en la primera fase del reactor, pero van cambiando a medida que, con el transcurso del tiempo, los grupos que los impulsan varían sus focos de interés.

Durante la fase 1, el MT “Investigación” está muy ligado al estudio y caracterización de parámetros del reactor, la determinación de constantes físicas de ciertos elementos y el estudio de materiales que tienen que ver sobre todo con la

generación nucleoelectrónica. En esta etapa intervienen fuertemente el plantel del RA-6 y el grupo que domina la técnica de Análisis por Activación Neutrónica (AAN). En las fases siguientes, si bien se encuentran vestigios de las investigaciones abordadas durante la fase 1, podría establecerse que el MT "Investigación" pasa a formar parte del MT "Servicios" interpretado como una investigación para terceros, del MT "Bio/Eco" en el sentido de una investigación para temáticas alternativas a la generación nucleoelectrónica y del MT "Salud" abarcando la investigación médico/veterinaria para tratamientos novedosos de enfermedades oncológicas. En la fase 4 se encuentra un componente del MT "Investigación" original en los trabajos encarados por las aplicaciones del marco "Soporte Analítico", pero valga aclarar que no es el objetivo de este marco investigar, sino más bien satisfacer las necesidades de investigación de distintos usuarios (por ejemplo con las neutrografías).

Con el MT "Desarrollo" ocurre algo parecido. En principio, el grupo encargado de llevar a cabo los desarrollos para el RA-6 comienza a diseñar nuevas técnicas en torno al artefacto. Sin embargo, el contexto económico, político e institucional del momento no facilita los recursos económicos necesarios para que el grupo encaré desarrollos de gran envergadura. De hecho, el grupo termina moviéndose en la estructura de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) del RA-6 a la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA). Es desde esta división donde se encararán en las fases siguientes la mayoría de los desarrollos técnicos grandes del RA-6, cada cuál contenido dentro un MT en particular.

Durante la fase 2 aparece el MT "Salud", apoyado no sólo por los grupos de ingenieros y físicos, sino también (y por primera vez en la trayectoria socio-técnica del reactor) por un grupo de médicos y radiobiólogos. Este nuevo conjunto de grupos sociales relevantes en torno al RA-6 reinterpreta al artefacto como el eslabón principal de una técnica capaz de servir para la cura de ciertos tumores cancerígenos. Es decir, convierte al reactor en un instrumento para fines médicos. El MT "Desarrollo" se transforma entonces en la arista más técnica del MT "Salud". Un subgrupo de DIFRA pasa a conformar el grupo involucrado en desarrollar la línea de Terapia por Captura Neutrónica en Boro (BNCT), generando el primer gran cambio técnico y de uso en el RA-6. Se modifica el reactor añadiendo una línea para extraer neutrones, se remueven blindajes, se quita la columna de grafito que utilizaba el LAAN, se colocan filtros, detectores y colimadores, se diseñan nuevos blindajes y una sala de irradiación para pacientes.

Por otro lado, también se origina en esta fase el MT "Servicios". Impulsado por el Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN), en respuesta a la falta de fondos que sufre la institución. El LAAN reinterpreta al RA-6 como una máquina que

puede ser usada para prestar servicios analíticos a clientes externos, y así conseguir financiación a través de ellos. El antiguo MT “Investigaciones” que operaba durante la fase 1 deriva en un marco nuevo, que también usa el RA-6 para investigar, pero en temas de interés para terceros, alejados de los intereses tradicionales de la CNEA. Hacia fines de la década del noventa, con el cambio en la política de la institución y la imposibilidad de facturar por los servicios, el LAAN toma el camino de reemplazar sus investigaciones relacionadas a ese marco por investigaciones en temas alternativos, pero propios. Así surge el MT “Bio/Eco”, a medida que el LAAN entra al circuito académico-científico, abriendo sus propias líneas de investigación en temas que no tienen un origen nuclear, sino biológico, geológico o ecológico. Aquí el RA-6 vuelve a ser reinterpretado por este grupo social relevante, esta vez como un instrumento facilitador de una técnica que muy pocos grupos de investigación tienen a la mano y que genera una ventaja competitiva a nivel internacional. Abriendo sus propias líneas, el LAAN adquiere también la incorporación de recursos humanos provenientes de la Universidad del Nacional del Comahue y del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), y puede financiarse compitiendo por proyectos científicos a nivel nacional e internacional.

El marco tecnológico “UBERA-6” tiene su origen como solución a las presiones internacionales para devolver el Uranio enriquecido del núcleo del RA-6. El reactor es reinterpretado como un instrumento de política internacional, que muestra explícitamente la posición del país como un país periférico sin intenciones proliferadoras. Grupos externos como el Departamento de Energía (DOE) de EE.UU. y la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) intiman al país a realizar el cambio de tecnología. En respuesta, el Estado argentino acciona por medio de la CNEA lanzando un proyecto de cambio tecnológico del núcleo del RA-6 a Uranio de bajo enriquecimiento. Apoyado por algunos grupos de la casa, como el plantel del RA-6 y un grupo de DIFRA, el proyecto UBERA-6 implica uno de los mayores cambios tecnológicos en el reactor; se quita el núcleo de Uranio enriquecido, se rediseñan los combustibles para utilizar Uranio de bajo enriquecimiento, se realiza la reingeniería y validación de los sistemas termohidráulico y neutrónico, se cambia el sistema de refrigeración y se moderniza la electrónica. El cambio se aprovecha además para aumentar la potencia del reactor, favoreciendo la aparición de nuevas aplicaciones.

En la Fase 4 aparecen dos marcos tecnológicos nuevos: el MT “Soporte Analítico” que incluye la puesta a punto de nuevas técnicas de análisis como PGNAA, Neutrografía y Difracción de neutrones, que requieren la compra y puesta en marcha de nuevo equipamiento, y el MT “Banco de Pruebas”, que mediante el proyecto MIPS añade a las instalaciones del RA-6 toda una instalación especial que cuenta incluso

con una celda caliente con vidrios plomados y telemanipuladores, para trabajar con material irradiado. El primero, aparece relacionado a la interpretación del reactor como instrumento de servicios. Este tipo de interpretación del artefacto ya se había observado en el MT "Servicios", pero a diferencia de éste, en este caso no surge como respuesta a la necesidad de financiamiento de un grupo en particular, sino a partir de la voluntad de ampliar y diversificar el uso del RA-6 a otras comunidades de usuarios. El MT "Banco de Pruebas", por su lado, reflota la interpretación del RA-6 como instrumento para ensayar y evaluar partes, mecanismos y procesos. Esta idea surge originalmente ya en la etapa de diseño del RA-6, a fines de los 70', pero es en esta fase que tiene su auge gracias a la envergadura del proyecto MIPS (Medical Isotopes Production System) de INVAP S.E.

## **Los grupos sociales relevantes en la trayectoria socio-técnica del RA-6**

### ***El Instituto Balseiro***

Históricamente, el RA-6 ha sido utilizado por el Instituto Balseiro (IB) en el marco tecnológico (MT) "Docencia" como laboratorio para la carrera de Ingeniería Nuclear, siendo parte de distintas cátedras (Física de Reactores, Activación Neutrónica, Mediciones Nucleares, Mecánica, Termohidráulica, Seguridad e Higiene, etc.). Un salto en el uso del RA-6 como herramienta de capacitación de la carrera se da en el año 2009, cuando se crea una materia de ingeniería integradora, con afectación de varios profesionales del RA-6 y de la División de Física de Reactores Avanzados (DIFRA), llamada "Laboratorio de Ingeniería 2". Esta materia plantea el uso intensivo del reactor durante un semestre, con prácticas relacionadas a la operación y el mantenimiento del mismo en sus diversas facetas (neutrónica, electrónica, instrumentación, termohidráulica, etc.) y finaliza con un proyecto de desarrollo novedoso llevado a cabo por los alumnos.

El otro ámbito donde el IB utiliza el artefacto en este marco es en los trabajos finales de las carreras de grado, maestrías y especializaciones (como la Carrera de Especialización en Aplicaciones de las Tecnologías Nucleares, CEATEN). Sin embargo, no se lo usa tanto para la concreción de tesis de doctorados. Respecto a este punto, las tesis de doctorado con el RA-6 suelen estar más asociadas a alguna aplicación (como el análisis por activación neutrónica o la neutrografía) que a un desarrollo para el reactor en sí, y suelen gestarse en áreas de materiales, geología y biología. Por otro lado, en cada proyecto de capacitación que esta involucrado el RA-6, sea o no solicitado por el IB, se trata que el mismo participe al menos como sponsor o

dando su aval académico, fortaleciendo la simbiosis entre el RA-6, el IB y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Por ejemplo, varios de los cursos que tomaron los planteles argelinos, egipcios y saudíes estaban organizados y avalados por el IB.

Puede reconocerse que el IB no tiene un rol preponderante en las decisiones operativas del reactor. Sin embargo, muchos profesionales de los grupos sociales relevantes que sí tienen influencia en la historia socio-técnica del reactor (como DIFRA, RA-6 y el Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN)) son a su vez docentes del IB, lo cual realimenta las prácticas para las carreras y las ofertas de trabajos de grado y postgrado con los últimos desarrollos y aplicaciones en torno al artefacto. El IB pasa a ser también una fuente de mano de obra capacitada y entusiasmada para llevar a cabo determinados puntos de los proyectos de los grupos sociales relevantes involucrados, y el semillero para los puestos de trabajo junior en los proyectos de mayor envergadura relacionados al RA-6, al RA-10 y al reactor CAREM.

### ***El plantel del RA-6***

Este grupo tiene en un comienzo un rol operativo, para poner en funcionamiento el reactor y los sistemas asociados. Sin embargo, durante la trayectoria socio-técnica del RA-6 en las siguientes décadas ha tenido influencia en todos los marcos tecnológicos que se desarrollaron, desde participar fuertemente de las capacitaciones para otros planteles y para el IB (MT “Docencia”), hasta integrarse en los desarrollos en salud (MT “Salud”), cambio de núcleo (MT “UBERA-6”), nuevas aplicaciones para facilidades de medición (MT “Soporte Analítico”) y banco de pruebas y ensayos de equipos, diseños y metodologías (MT “Banco de Pruebas”).

En un principio el personal de RA-6 tenía una actitud más conservadora respecto a los cambios que pudieran afectar la instalación, y en una etapa posterior, cuando el plantel ya está más maduro y conoce y está seguro de su instalación, se enrolan fácilmente en la generación de aplicaciones que implican grandes cambios tecnológicos en torno al artefacto, como las propuestas por el grupo de desarrollo de la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA) o de la empresa INVAP S.E. (por ejemplo, las involucradas en el MT “Salud” y el MT “Banco de Pruebas”).

### ***El grupo de desarrollos***

El grupo de desarrollos comienza a gestarse cerca de la inauguración del RA-6, como un grupo perteneciente al reactor y con la misión de generar nuevas

aplicaciones. Sin embargo, en un principio las actividades de este grupo social relevante tienen poca cabida en un plantel más orientado a la operación y el conocimiento de la instalación. Por otro lado, tampoco en esta época se da una condición económica que permita afrontar las modificaciones técnicas necesarias para implementar aplicaciones que implicaran grandes y costosos cambios, por lo que en un principio las actividades de este grupo se dan más que nada relacionadas al marco tecnológico (MT) "Docencia" y al desarrollo de metodologías.

Durante la fase 1, el grupo se muda hacia la división de Física de Reactores Avanzados (DIFRA), aunque no se aleja de la instalación ni de las actividades docentes relacionadas al reactor. Si bien DIFRA originalmente se crea para el desarrollo de nuevos reactores, son los subgrupos de esta división quienes facilitarán el desarrollo de casi todas las aplicaciones que se instauraron en el RA-6, cuando las condiciones políticas y económicas fueron más favorables. Evidentemente, la conjunción de profesionales experimentales y teóricos, con el interés común de todos ellos para hacer crecer el RA-6, cercanos a la docencia por el IB, sumado a una gestión en forma de proyectos de ingeniería, fue muy favorable para diseñar, gestionar, poner en marcha y utilizar las nuevas aplicaciones que serían el alma de los MT "Salud" y MT "Soporte Analítico".

En resumen, este grupo ha sido el que más aplicaciones ha sabido dar al RA-6. Aquí la figura de ingenieros como Herman Blaumann y Carlos Gho, que están casi desde el comienzo asociados al RA-6, pareciera ser clave: el modelo de trabajo de un grupo de ingeniería, basado en el atractivo de desarrollar nuevos desafíos tecnológicos en un marco profesionalizado, sin dejar de pensar en la docencia, se ha derramado en el resto de los integrantes de este grupo, hasta llegar a moldear también la propia cultura organizacional del RA-6, aun más allá de sólo el desarrollo de las aplicaciones. Por ejemplo, también se encuentra la firma de este grupo social relevante en cambios tan diversos como el UBERA-6 y el RA-6 on-line.

Actualmente (2018), varias personas del grupo de desarrollo han podido reubicarse en la estructura institucional del RA-6. Esto quizás se deba en primer lugar a la madurez alcanzada por el reactor y su plantel en estos 35 años de servicio, donde se pasó de una juventud dedicada casi mayormente a docencia, con fuerte componente operativa y de conocimiento de la máquina, a una etapa más madura, segura de la instalación y su funcionamiento, expansiva y conectada a otras necesidades de la comunidad científico-académica. En segundo lugar, es notable el afianzamiento de una cultura organizacional alrededor del RA-6, a la que los desafíos tecnológicos seducen y motivan a emprender nuevas aventuras tecnológicas, en donde un grupo de desarrollos tiene excelente cabida.

### ***El grupo del LAAN***

El Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN) es desde el comienzo de la operación del RA-6 uno de los grupos que históricamente más ha utilizado la facilidad de irradiación, y ha sido el primer grupo social relevante que reinterpreta al RA-6 como una máquina útil y visible para la comunidad, más allá de su rol de reactor escuela para el Instituto Balseiro (IB). Su influencia, sin embargo, se limita más que nada al uso de la máquina como una herramienta, y la toma de decisiones operativas o gestión de nuevas aplicaciones queda reservada a otros grupos.

Durante la trayectoria socio-técnica del RA-6, el LAAN evolucionó de un laboratorio usuario a uno que brindaba servicios analíticos a terceros, para finalmente reinventarse como un grupo científico-académico de alta capacitación que genera sus propias líneas de trabajo y proyectos, en forma multidisciplinaria y con gran visibilidad en la comunidad científica. Esta salida hacia el exterior, dinámica, visible y aceptada a nivel internacional, funciona también como una buena vidriera para el RA-6, por lo cual no es de extrañar que siendo un grupo tan distinto al resto de RA-6, sea bien aceptado dentro del mismo.

### ***La empresa INVAP S.E.***

El RA-6 fue el primer reactor construido por la empresa INVAP S.E.. Por un lado, el RA-6 inmediatamente se transformó en un producto demostrativo para vender reactores en el exterior, o como bien lo explican en su página web institucional "*El RA-6 tuvo un rol estratégico en impulsar a la Argentina como país exportador nuclear*"<sup>204</sup>. Por otro lado, el RA-6 también se consolidó para la empresa como una herramienta de diseño y validación, transformándose en una plataforma de prueba para nuevos desarrollos y diseños.

Durante estos años, la empresa INVAP S.E. ha probado distintos prototipos en el RA-6 (como el proyecto MIPS (Medical Isotopes Production System)). Ha consultado al personal del reactor sobre movimientos en pileta, layout, circulación, iluminación y ventilación. Ha ensayado herramientas para resolver determinado ítem técnico. Ha practicado procedimientos en la pileta del reactor, para luego viajar a resolver

---

<sup>204</sup> Recordar que CNEA había logrado vender e instalar el reactor de Perú, donde INVAP S.E. fue contratado para ciertas tareas.

situaciones a los reactores en cuestión. Ha requerido al plantel de operaciones y puesta en marcha para participar de la puesta en marcha de otros reactores. Etcétera.

Según INVAP S.E. comenta en su página web:

El punto de partida del RA-6 fue una ingeniería básica realizada por el Departamento de Diseño de Reactores de la CNEA. INVAP S.E. fue el responsable de la construcción y también diseñó y ejecutó los sistemas principales de la planta: sus componentes electrónicos de control (tanto de los sistemas específicamente nucleares del reactor como de los convencionales del resto de la instalación), además del puente de instrumentos, los mecanismos de las barras de control y los sistemas de detección de neutrones y de rayos gamma [...] Allí se han formado expertos extranjeros que hoy son autoridades nucleares de otros países y potenciales socios o compradores de tecnología argentina. La instalación, construida en tiempo y forma y ajustada al presupuesto, fue el primer testimonio de la capacidad de INVAP S.E. en diseño y ejecución de proyectos complejos.

De aquí se concluye que INVAP S.E. no sólo tiene la posibilidad de probar nuevos desarrollos y entrenar a los grupos de operación extranjeros con ayuda del RA-6, sino que también consigue soporte técnico para resolver los problemas o nuevos desafíos que pudieran surgir en reactores que la empresa ha vendido. Esto, por supuesto, posiciona a la empresa de otra forma frente a otros proveedores de tecnología nuclear en la escena internacional. El conjunto de “artefacto más plantel” del RA-6 podrían verse entonces como una herramienta de marketing para la empresa, superando ampliamente el rol docente y el rol de plataforma de prueba del reactor.

Por otro lado, la empresa INVAP S.E. no tiene un rol en las decisiones de operación del artefacto, que queda en todos los casos en el dominio de grupos de la CNEA. Lo que sí puede notarse claramente es que, si al plantel del RA-6 y al jefe de la instalación les atrae la propuesta de INVAP S.E. por el desafío tecnológico que ella implica, entonces sí se busca dar respuesta al nuevo requerimiento. Se observa, así mismo, una clara fuerza impulsora en los proyectos presentados por INVAP S.E. al RA-6: el mismo plantel reconoce por ejemplo, que al momento de la puesta en marcha luego del cambio de núcleo, se decidió acelerar la misma para arrancar con al menos una potencia de 1MW, no sólo por el tiempo de parada que llevaba la instalación (que afectaba a todos los usuarios y al IB), sino también por el requerimiento urgente de

INVAP S.E. con el proyecto MIPS que era, según los entrevistados, un proyecto muy “interesante”, “lindo”, “atractivo” para llevar a cabo.

### ***La comunidad médica y los radiobiólogos***

La influencia de este grupos social relevante se da claramente enmarcado en el marco tecnológico “Salud”. Pueden observarse tres etapas. En un principio, la instalación de la línea de BNCT (por sus siglas en inglés, Boron Neutron Capture Therapy) en el RA-6 no surge como un pedido específico de los médicos, sino que se direcciona en sentido contrario: son en un comienzo los investigadores del grupo de la División Física de Reactores Avanzados (DIFRA) y del plantel de RA-6 que se interesan por desarrollar una aplicación que está tomando impulso en otros lados del mundo: el usos de neutrones epitérmicos con fines médicos. De ahí, la idea va tomando forma y se tiene antes la herramienta técnica que su aplicación médica. Luego se convoca, enmarcado en un proyecto más abarcativo de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), a médicos, radiobiólogos y profesionales entendidos en el tema. En una segunda etapa, son los médicos desde el Instituto Ángel Roffo y los laboratorios de Radiobiología de CNEA los que dan un fuerte marco institucional y la credibilidad necesaria al proyecto BNCT para conseguir la implementación de dicha línea en el reactor. Finalmente, en una tercera etapa los médicos, al no derivar más pacientes, tienen un rol fundamental en frenar la aplicación de la técnica, ya instalada y puesta a punto. Los radiobiólogos y dosimetristas son actualmente los que intentan seguir dando nuevos usos a la instrumentación instalada, incursionando en tratamientos para otros tipos de cáncer y probando con nuevos modelos animales.

### **El rol de organismos y Estados**

Si bien no pueden ser considerados como grupos sociales relevantes, ya que no interpretan al RA-6 en sí, las políticas seguidas por ciertos organismos relacionados a la energía nuclear, el Estado y otros países han tenido una influencia cierta en las decisiones que influenciaron a los grupos que fueron moldeando la trayectoria socio-técnica del reactor.

### ***El Estado argentino***

El apoyo del Estado argentino al RA-6 ha estado siempre ligado a la Comisión Nacional de Energía Atómica y al rol de la misma dentro del Estado durante cada etapa. Si bien las políticas económicas, tecnológicas, científicas y nucleares han ido variando hacia todos los ángulos, y han pasado por altos y bajos, en general podría decirse que en las más de tres décadas de servicio del RA-6, éste ha recibido un razonable apoyo presupuestario desde el Estado. En épocas de buenos presupuestos se impulsaron proyectos más ambiciosos, como los dados por los marcos tecnológicos “Salud” y “Soporte Analítico”, y en épocas de merma presupuestaria se generó la creatividad necesaria en los grupos sociales relevantes, como para seguir adelante de formas alternativas. Claro ejemplo de este último caso es el desarrollo del Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica, que dentro del MT “Bio/Eco” se expande en el ámbito científico-académico, reinterpretando el artefacto como una herramienta facilitadora de una ventaja competitiva a nivel internacional en áreas relacionadas a la biología, la ecología y la geología, la cual les permite obtener financiamiento.

### ***La Organización Internacional de Energía Atómica***

La Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) tiene dos funciones principales, por un lado define requerimientos para cuestiones de seguridad y por otro es un foro compilador de opiniones y experiencias, en forma de documentos técnicos, donde resume el panorama internacional, explica como desarrollar nuevas capacidades, hace de nexo entre organizaciones e instituciones y financia proyectos de investigación, de transferencia de tecnología, y de intercambio de profesionales. Estas financiaciones han sido para el RA-6 buenas oportunidades de avance en caminos de aplicaciones novedosas.

Hace algunas décadas la OIEA da cuenta que el uso a nivel mundial de los reactores de investigación con fines científicos o de divulgación de la ciencia, y como antesala para el desembarco posterior de una gran central de potencia en las comunidades, se ha ido perdiendo. En ese contexto, advierte sobre una sub-utilización de este tipo de herramientas y aparece la preocupación dentro del organismo por fomentar la diversificación de la matriz de uso de los reactores de investigación intermedios<sup>205</sup> y su mapa de usuarios potenciales, incluyendo la industria, la medicina,

---

<sup>205</sup> El RA-6 particularmente, por las características de su diseño, entra dentro de los reactores de investigación de tipo “intermedio” junto con facilidades críticas, otros reactores de baja potencia y reactores de docencia. Estos reactores por su potencia (de kW hasta 5MW) no son

el estudio de materiales, la industria electrónica (dopaje de Si), los ensayos no destructivos (neutrografía de fósiles), la producción de gemas por irradiación, la geocronología, los estudios ambientales, etc. Así, se ofrecen varios proyectos internacionales con el fin de acercar y distribuir estos conocimientos a partir de viajes de expertos y financiación de equipamiento, por montos de varios miles de dólares. El Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica por ejemplo, tuvo acceso a 3 de ellos con los que pudo poner a punto líneas de estudios geológicos y de ecotoxicología. EL RA-6 on-line también surge de uno de estos proyectos de la OIEA.

### ***EE.UU. y el Club de Londres***

El rol de EE.UU. y los países del Club de Londres en el RA-6 se ve como una consecuencia del rol de estos países en la escena nuclear internacional y su ambición por lograr la hegemonía como proveedores de tecnología nuclear. Desde un principio EE.UU. y los otros países exportadores de esta tecnología intentaron empañar las actividades de la Argentina en materia nuclear, dejando translucir que el país estaba tratando de armarse con una bomba nuclear al igual que la India, aunque esto fue siempre y consecuentemente desmentido por la Argentina, incluso durante los gobiernos de facto. Así, estos Estados aparecen como uno de los principales forzadores para obligar al país a firmar tratados de no proliferación inequitativos y son los que requieren la devolución del combustible enriquecido, originando en el RA-6 una de sus mayores modificaciones.

La política nuclear de EE.UU. respecto de la Argentina pareciera haber pasado por varias etapas, que van desde el buen y leal proveedor, que regala el combustible enriquecido para tratar de inducir que el país no desarrolle esta tecnología por manos propias, y así asegurarse un monopolio comercial perdurable, hasta la presión internacional descarada, declarando por todos los medios el carácter “proliferador” de las actividades nucleares del país. Obviamente, una mirada crítica se puede ver en ambas actitudes un claro fin: trabar los desarrollos que pudieran convertir a la Argentina en un nuevo país proveedor de tecnología nuclear para otros países en desarrollo sobre todo si estos desarrollos eran tendientes a la generación nucleoelectrónica (mercado sobre el cual EE.UU. pareciera querer monopolizar).

---

utilizados para producción: suelen tener una programación semanal y no operan todos los días ni todo el día. Los reactores con potencias por arriba de 5 MW y hasta 100MW suelen indexarse como “plantas de producción”, operan 24hs con ciclos de 30 días, luego viene el recambio de algunos combustibles y un nuevo ciclo.

En su momento, EE.UU. había provisto el  $^{235}\text{U}$  de los combustibles nucleares a la Argentina como una estrategia comercial para inducir al país a utilizar este tipo de ciclo en vez del de U natural en todos sus reactores, y así posicionarse como uno de los únicos proveedores mundiales de esta tecnología<sup>206</sup>. Argentina sin embargo, diversificó el combustible de sus centrales para usar U natural y por otro lado desarrolló la tecnología de enriquecimiento en la planta de Pilcaniyeu, Río Negro. Con la guerra del Golfo y luego la caída de las torres gemelas la situación es aprovechada por EE.UU. para cambiar la bandera de país amigo-proveedor, por la de lucha contra la antiproliferación en países subdesarrollados (presentada como una lucha antiterrorista), y se solicita a la Argentina que devuelva a EE.UU. todo el combustible enriquecido que había sido provisto años atrás. El DOE presenta un plan para retirar los combustibles con Uranio al 90% de los reactores de investigación, que Argentina firma en el año 2000, y a principios de la década comienzan los trabajos para pasar tanto el núcleo del RA-3 como el del RA-6 a combustible de bajo enriquecimiento. El cambio en el RA-6 se da durante el gobierno Kirchnerista, asociado también con el empuje de fondos del nuevo Plan Nuclear<sup>207</sup>, que es aprovechado además para subir la potencia y modernizar la instalación.

### Consideraciones finales

Esta tesis se ha desarrollado a partir de la perspectiva teórica del constructivismo social de la tecnología (SCOT) que reconoce al reactor RA-6 como un artefacto tecnológico cuyos cambios de tecnologías y de usos en el tiempo han sido empujados en un sentido o en otro, no por el avance de la tecnología en sí, sino por la acción de grupos sociales relevantes que interpretan al artefacto de una forma en particular, y van moldeándolo y reconstruyéndolo (en el sentido social y en el sentido tecnológico) en respuesta a las necesidades, problemas y representaciones que emergen. Para comprender la trayectoria tecnológica del RA-6 se vuelve necesario entonces analizar la interrelación entre los aspectos técnicos y sociales.

Así, en esta tesis se han identificado los grupos sociales relevantes y sus interrelaciones en el contexto histórico de cada etapa, para reconocer cómo la trayectoria de desarrollo tecnológico del RA-6 se anida dentro de otros círculos de

---

<sup>206</sup> Recordar que al principio Argentina no tenía la tecnología del enriquecimiento de Uranio, por ser ésta considerada internacionalmente como una tecnología „proliferadora“. La planta de Pilcaniyeu, que se construyó y operó en secreto, recién se dio a conocer antes de la asunción de Raul Alfonsín, en el año 1984.

<sup>207</sup> Los entrevistados aclaran que los fondos suministrados por el DOE no fueron suficientes para realizar todo el cambio y la subida de potencia, y que fue gracias a fondos del Estado Argentino que se pudo llevar a cabo esta modificación / mejora.

influencia. Este estudio marca entonces el potencial de la sociedad (como un conjunto de individuos, grupos de trabajo, estructura organizacional, etc.) y de su contexto regional, nacional e internacional, para afectar e influenciar los cambios de tecnología que han tenido lugar en las más de tres décadas de funcionamiento del reactor.

El análisis sociotécnico realizado no estuvo exento de diferentes interpretaciones de los grupos sociales relevantes sobre el artefacto y sus usos. Las soluciones a los problemas y desafíos presentados fueron a veces convergentes y a veces no. Los grupos y sus focos de interés, cambiantes en el tiempo, fueron las fuerzas impulsoras de cambio dentro de los marcos tecnológicos activos durante las distintas etapas del reactor, provocando la supremacía de algún marco sobre otro, o incluso la desaparición de alguno de ellos en el tiempo.

De todo el análisis, quizás el punto más interesante de observar es como con el transcurso de los años el plantel del reactor y los grupos sociales relevantes asociados al mismo van aprendiendo sobre el artefacto y generando capacidades que les brindan conocimiento y seguridad. Así, se gesta y madura una cultura organizacional en torno al RA-6, en donde los desafíos tecnológicos, de la mano con una conexión a otras necesidades de la sociedad, y el conocimiento y la seguridad adquirida sobre el artefacto por los mismos años de uso, impulsan a los distintos grupos sociales relevantes a embarcarse en nuevas aventuras tecnológicas, que requieren modificar el artefacto, incluso a gran escala.

## 9. Bibliografía:

- Abbate, M.J. (1997) “Facilidades experimentales para la Carrera de Ingeniería Nuclear del Instituto Balseiro”, First Latinoamerican Meeting and VI Scientific Meeting of Asociación Argentina de Tecnología Nuclear (AATN), Córdoba (Nov.1997).
- Abbate M.J., Adelfang P., Calabrese R. and Scaffoni M.M. (2002) “Guidelines to upgrade and convert the argentine’s research reactor RA-6”. International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors. November 3 – 8, 2002 San Carlos de Bariloche, Argentina.
- Aguiar D. (2002). “Determinismo tecnológico versus determinismo social: aportes metodológicos y teóricos de la filosofía, la historia, la economía y la sociología de la tecnología. Una revisión conceptual crítica.” Tesis para obtener el grado de Licenciado en Sociología, Universidad Nacional de La Plata Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. p 90.
- Akrich, M. (1992). The description of technological objects. In W. Bijker & J. Law (Eds.), *Shaping technology/building society: Studies in sociotechnical change* (pp. 205–224). Cambridge, MA: MIT Press.
- Barbarán G. (2014). “La sustentabilidad del sector nuclear argentino: historia, condicionantes y propuestas”. Tesis para obtener el grado Maestría en Ciencias Políticas. UN Torcuato di Tella.
- Barbarán G. (2015). “El “modelo CNEA” y su aporte al debate energético argentino” *Revista U238 – N°18 Agosto – Septiembre 2015*.
- Bimber B. (1996). “Tres caras del determinismo tecnológico”, en “Historia y determinismo tecnológico” Smith, Merritt Roe y Marx, Leo (eds.), Madrid, Alianza, pp. 103-104.
- Bijker W.E. (1987). “The Social Construction of Bakelite: Toward a Theory of Invention”, en “The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology” Wieber E. Bijker , Thomas P. Hughes y Trevor Pinch, Cambridge: MIT Press.
- Bijker W.E. (1995). “Of bicycles, bakelites and bulbs: Toward a Theory of Sociotechnical Change”, *Social Studies of Science*, Vol. 26 (3) pp. 705-711. Cambridge, MA; London MIT Press.
- Bunge, M. (1985). “Pseudociencia e ideología”, Madrid, Editorial Alianza.
- Bruun H. y Hukinnen J. (2003). “Crossing Boundaries: An Integrative Framework for Studying Technological Change”, *Social Studies of Science*, 33, (1).

- Buschini J.D., Di Bello M.E. (2015). "Emergencia de las políticas de vinculación entre el sector científico- académico y el sector productivo en la Argentina (1983-1990)". *Revista Redes*, vol. 20 p. 139 – 158.
- Bustos D., Calzetta Larriou O. and Blaumann H. (1997). "Epithermal beam in the RA-6 reactor". In: *Advances in Neutron Capture Therapy. Volume 1, Medicine and Physics*. Larsson B., Crawford J., Weinreich R. (eds) Amsterdam: Elsevier Science, 1997; 420–423.
- Callon M. (1980). "The state and technical innovation: a case study of the electrical vehicle in France." *Research Policy* 19: 358-376.
- Callon M. (1986). "Some Elements of a Sociology of Translation: Domestication of the Scallops and the Fishermen of St. Briec Bay, en *Power, Action and Belief: A New Sociology of Knowledge?* Law J. (ed), , London, R.K.P.
- Callon, M. (1998). "El proceso de construcción de la sociedad. El estudio de la tecnología como herramienta para el análisis sociológico". En "Sociología simétrica, Ensayos sobre ciencia, tecnología y sociedad" Domènech, Miquel y Tirado, Francisco (comps.); Ed Gedisa, Barcelona.
- Carabajal A.P., Marin J., Cantarggi F., Iglesias A. (2015). "Primeros Estudios realizados en Argentina usando neutrografía para estudiar fósiles, resultados preliminares". Reunión de Comunicaciones de la Asociación Paleontológica Argentina, At Plaza Huincul, Volume: Ameghiniana 52 (1) Suplemento Resúmenes . pág 13.
- Clarín. 2007/02/05. La dictadura brasileña le temía al programa nuclear argentino.
- Clarín. 1999/05/29. Centrales nucleares: el Gobierno apura su venta.
- Clarín. 2005/09/18. EE.UU. se lleva materiales nucleares de la Argentina.
- Clarín. 2008/02/26. EE.UU. se llevó Uranio usado para evitar el riesgo de un robo terrorista.
- CNEA (2012). "30 años de historia RA-6: El reactor escuela del Centro Atómico Bariloche". Ed. CNEA.
- Etcharran M. (2011), "La crisis energética en Argentina. Una contribución a un plan estratégico global para su solución" Tesis para obtener el grado de MBA de la Universidad Torcuato di Tella, Buenos Aires. 45p.
- Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado C. y col. (2007). "Muestreo Cualitativo". Capítulo 13. Metodología de la investigación. R. Hernández Sampieri, C. Fernández-Collado and P. Baptista Lucio. Mexico, Mc Graw Hill: 93-105.
- Hurtado de Mendoza D. (2005). "De "átomos para la paz" a los reactores de potencia. Tecnología y política nuclear en la Argentina (1955-1976)". *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, vol. 2 (4) pp. 41-66.

- Hurtado de Mendoza D. y Vara A.M. (2012) La física nuclear y los aceleradores en la Comisión Nacional de Energía. Dentro de "La física y los físicos argentinos. Historias para el presente". Ed: Editorial de la Universidad Nacional de Córdoba. Argentina; p. 465 - 498.
- Hurtado de Mendoza D. (2009). "Periferia y fronteras tecnológicas. Energía nuclear y dictadura militar en la Argentina (1976-1983)" Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad N° 13, vol 5, pag 1-35.
- Hurtado de Mendoza D. (2012). "Cultura tecnológico-política sectorial en contexto semiperiférico: el desarrollo nuclear en la Argentina (1945-1994)." Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad. vol.7 (21) pp. .
- Hurtado de Mendoza, Diego (2014) "El sueño de la Argentina Atómica - Política, tecnología nuclear y desarrollo nacional (1945-2006)". 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Edhasa.
- La Nación. 2003/10/03. Científicos argentinos probaron un nuevo método contra el cáncer.
- La Nación. 2003/10/10. Un giro de la historia tecnológica.
- Law J. (1987). "Technology and heterogeneous engineering: the case of Portuguese expansion", en Bijker, Wiebe; Hugues, Thomas y Pinch, Trevor (eds.), The social construction of technical systems: new directions in the sociology and history of technology, Cambridge, MIT Press, pp. 111-134.
- Lolich J.V. y Abbate M.J. (1980), "Descripción preliminar del reactor RA-6 de la carrera de ingeniería nuclear", Internal Report CAB/2/1980
- López Dávalos A. y Badino N. (2000). "J. A. Balseiro: Crónica de una Ilusión". Buenos Aires, Fondo de Cultura Economica - Tezontle.
- López Dávalos A. y García M. (2012). "La construcción de una tradición: creación y trayectoria del instituto Balseiro. La física y los físicos argentinos. Historias para el presente. D. Hurtado de Mendoza. Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba; Asociación de Física Argentina. 1: 219-246.
- Maqueda E. (2009). Ciencia y Tecnología en la actividad Nuclear en Ruptura y reconstrucción de la Ciencia Argentina, pág 68.
- Marín J. (2015). Avances en la adquisición y procesamiento de tomografías con neutrones en el RA-6. Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares.
- Mendizabal N. (2006) "Los componentes del diseño flexible en la investigación cualitativa" Capítulo 2 en "Estrategias de investigación cualitativa". Vasilachis de Gialdino Ed. Editorial Gedisa. p.65-105.

- Mariscotti (1984) El secreto atómico de Huemul. Crónica del origen de la energía atómica en la Argentina. Buenos Aires: Sudamericana-Planeta
- Mezzio F. (2007) "Caracterización y optimización de la facilidad de radiografía con neutrones on-line del reactor RA-6" Tesis de Proyecto Integrador de Ingeniería Nuclear, Instituto Balseiro, UN Cuyo.
- Monti Hughes A, Longhino J, Boggio E, Medina VA, Martinel Lamas DJ, Garabalino MA, Heber EM, Pozzi ECC, Itoiz ME, Aromando RF, Nigg DW8, Trivillin VA, Schwint AE. (2017) "Boron neutron capture therapy (BNCT) translational studies in the hamster cheek pouch model of oral cancer at the new "B2" configuration of the RA-6 nuclear reactor". *Radiat Environ Biophys.* 2017 Nov;56(4):377-387. doi: 10.1007/s00411-017-0710-9. Epub 2017 Sep 4.
- Pieck D. (2009). "Rediseño de la facilidad de neutrografía del RA-6 y su aplicación a la tecnología del hidrógeno" Tesis Proyecto Integrador de Ingeniería Nuclear, Instituto Balseiro, UN Cuyo.
- Pinch T.r J. y Bijker W.E. (1984) "The Social Construction of Facts and Artefacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other" *Social Studies of Science* Vol. 14, No. 3, pp. 399-441
- Pinch, T. (1997): „La construcción social de la tecnología: una revisión“. En *Innovación Tecnológica y procesos culturales. Nuevas perspectivas teóricas.* MJ Santos y R Diaz. (comp.): Fondo de Cultura Económica, México D.
- Pinch T. y Bijker W.E., (1986). "Science, Relativism and the New Sociology of Technology: Reply to Russel", *Social Studies of Science* 16, pp. 347-360.
- Pinch T. y Trocco F. (2004). "Analog Days: The Invention and Impact of the Moog Synthesizer". Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Pinch, Trevor (2008): "La tecnología como institución: ¿qué nos pueden enseñar los estudios sociales de la tecnología", *REDES. Revista de estudios sobre ciencia y tecnología*, N° 27, pp. 77-96.
- Polanyi (2015). *UPCN Digital. Ensayos 2015. Amanecer, Crucifixión y Resurrección del Plan Nuclear Argentino.* pag 6-7.
- Quintanilla M.A. (1998). "Técnica y cultura" *Teorema. Revista internacional de filosofía*, vol. XVII, Nro. 3, Tecnos, OEI Ediciones, *Revista Iberoamericana de Educación*, n. 5, <http://www.campus-oei.org/revista/>, p. 3.
- Revista U238 2015/10/278. Se reinician los tratamientos clínicos de BNCT en el RA-6 Río Negro. 2005/09/19. EE.UU. retirará material nuclear de Bariloche.
- Rodríguez M. (2015). "La política nuclear del radicalismo alfonsinista y sus consecuencias en la Comisión Nacional de Energía Atómica (1984-1989)".

- Russell S. (1986). "Social Construction of Artefacts Response to Pinch and Bijker"  
Social Studies of Science Vol. 16, No. 2, pp. 331-346
- Scribano A. (2007). "Entrevista en Profundidad". Capítulo 3. El proceso de  
investigación social cualitativo. Ciudad de Buenos Aires, Prometeo Libros: 71-89.
- Smith M.R. y Marx L. (1996). "Historia y determinismo tecnológico", Madrid, Alianza,
- Thomas, H. (2008): Estructuras cerradas vs. Procesos dinámicos: trayectorias y estilos  
de innovación y cambio tecnológico, en Thomas, Hernán y Buch, Alfonso  
(Coords.): Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología, Universidad  
de Quilmes, Bernal.
- White L. (1973). "Tecnología medieval y cambio social", Buenos Aires, Editorial  
Paidós,

## 10. ANEXO1: Entrevistados por la tesista

Entrevista 1: 02/12/2016 Carlos Fernández

Ingeniero químico, con vinculación a las áreas DOMI, RPCAB, IB.

Entrevista 2: varias ocasiones entre 2016-2017 Juan D´Andreta

Ingeniero Nuclear, con vinculación a las áreas DOMI, IB.

Entrevista 3: 22/05/2017 Fabricio Brollo

Ingeniero Nuclear, con vinculación a las áreas DOMI, IB.

Entrevista 4: 29/09/2017 Carlos Gho

Ingeniero Nuclear, con vinculación a las áreas DIFRA, IB.

Entrevista 5: 04/10/2017 Sergio Ribeiro Guevara

Ingeniero Nuclear, con vinculación a las áreas LAAN, RP.

Entrevista 6: 05/10/2017 a Fernando Sánchez

Ingeniero Nuclear, con vinculación a las áreas DIFRA, IB.

Entrevista 7: 05/10/2017 b María Arribere

Ingeniero Nuclear, con vinculación a las áreas LAAN, IB.

Entrevista 8: 06/10/17 Aníbal Blanco

Ingeniero Nuclear, con vinculación a las áreas DIFRA, IB.

Entrevista 9: 10/10/2017 Juan Longhino

Ingeniero Nuclear, con vinculación a las áreas DIFRA, IB.

Entrevista 10: 27/02/2018 Herman Blaumann

Ingeniero Nuclear, con vinculación a las áreas DIFRA, IB.

Un micro Curriculum Vitae de cada entrevistado o de personas de los grupos sociales relevantes nombradas para el texto de esta tesis puede encontrarse en el ANEXO 3. Las guías de preguntas utilizadas en cada entrevista se encuentran en el ANEXO 4.

**11. ANEXO 2: Datos de las Bitácoras de operación analizadas en esta tesis**

<b>ARCHIVO</b>	<b>INICIO</b>	<b>FIN</b>	<b>REGISTROS</b>
Bitácora de Operación 1: 1983	14/03/1983	16/12/1983	64
Bitácora de Operación 2: 1986	21/04/1986	15/12/1986	66
Bitácora de Operación 3: 1990	24/01/1990	21/12/1990	68
Bitácora de Operación 4: 1993	01/02/1993	28/12/1993	84
Bitácora de Operación 5: 1996	15/01/1996	20/12/1996	88
Bitácora de Operación 6: 1999	03/02/1999	21/12/1999	132
Bitácora de Operación 7: 2005	15/01/2005	29/12/2005	173
Bitácora de Operación 8: 2014	21/01/2014	18/12/2014	217

**12. ANEXO 3: Micro Curriculum Vitae de algunas personas nombradas y/o entrevistadas en esta tesis**

<b>NOMBRE</b>	<b>MICRO-CV</b>
Arribere, María <sup>208</sup>	Ingeniera Nuclear (1986) IB UN Cuyo, Doctora en Ingeniería Nuclear (1997) IB UN Cuyo, Jefa LAAN (1996-2016), Docente IB (desde 1990).
Balseiro, José Antonio <sup>209</sup>	Licenciado Física de la UN Córdoba. Doctor en Física de la UN La Plata (1944). En 1950 se especializó en física nuclear en la Universidad de Manchester (Inglaterra). En 1952 es fue convocado para formar parte de una comisión técnica que se expidiera sobre el controvertido asunto Richter. Impulso y dirigió hasta su fallecimiento en 1962 el Instituto de Física de Bariloche, dependiente de la Comisión Nacional de Energía Atómica y de la Universidad de Cuyo, que luego sería renombrado como Instituto Balseiro.
Boado Magán, Heriberto José <sup>210</sup>	Licenciado en Física del Instituto Balseiro (1976). Fue Investigador en el Instituto Politécnico de Virginia (EE.UU.) y Jefe del reactor nuclear RA-6 en el Centro Atómico Bariloche, CNEA. Dentro de INVAP S.E., fue Jefe de la División de Ingeniería Nuclear, Director del Proyecto de Conversión del reactor de Teherán, Coordinador de Tecnología para el proyecto CAREM y miembro del Directorio. Fue responsable del Programa de Seguridad de Reactores de Investigación y especialista sénior en seguridad del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Desde 2008 es el Gerente del Proyecto CAREM de la Comisión Nacional de Energía Atómica.
Blaumann, Herman <sup>211</sup>	Ingeniero Nuclear (1985) IB UN Cuyo, Jefe DIFRA CNEA(1995-2007), Gerente Ingeniería Nuclear CNEA (2009-2017), Gerente RA-10 CNEA (desde 2013) , Docente IB (desde 1985).
Brollo, Fabricio <sup>212</sup>	Ingeniero Mecánico (1999) UTN, Ingeniero Nuclear (2005) IB UN Cuyo, Jefe Reactor RA-6 (desde 2014), Docente IB (desde 2007).
Calzetta Larrieu,	Licenciado en Física (1978) por la UBA con un Postgrado en Ingeniería

<sup>208</sup> Comunicación personal.

<sup>209</sup> Extraído y modificado de

[http://www.educ.ar/educar/superior/biblioteca\\_digital/verdodbiblio.jsp?url=S\\_BD\\_PROYECTOAMEGHIN%20%2FBALSE.HTM&contexto=superior%2Fbiblioteca\\_digital%2F](http://www.educ.ar/educar/superior/biblioteca_digital/verdodbiblio.jsp?url=S_BD_PROYECTOAMEGHIN%20%2FBALSE.HTM&contexto=superior%2Fbiblioteca_digital%2F)

<sup>210</sup> Extraído y modificado de <http://www.tandar.cnea.gov.ar/eventos/seminariosGlyA/2009/20091127-anuncio.html>

<sup>211</sup> Comunicación personal.

<sup>212</sup> Comunicación personal.

Osvaldo <sup>213</sup>	Nuclear (1981) CNEA-UBA. Profesor Instituto Balseiro desde 1986 hasta 2008. Jefe del reactor RA-6 del Centro Atómico Bariloche desde 1986 hasta 2008. Responsable de la puesta en marcha de los reactores NUR (Argelia) y ETRR II (Egipto). Asesor de INVAP S.E. en la puesta en marcha del reactor OPAL (Australia). En 2004 miembro del Grupo de Coordinación CNEA – NASA – Secretaría de Energía para lograr la reanudación de los trabajos en Atucha II. Coordinador y administrador de los contratos entre CNEA y NASA para Ingenierías en Atucha II entre el 2005 y 2007. Entre 2008 y 2012 responsable de Planificación y Evaluación de la Agencia Brasileño Argentina de Control y Contabilidad de Materiales Nucleares (ABACC). A partir de Mayo de 2012 a cargo del Proyecto CAREM. Desde 2016 Presidente de CNEA.
D'Andreta, Juan <sup>214</sup>	Ingeniero Mecánico Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Buenos Aires. Jefe de operaciones RA-6. Participó del proyecto UBERA-6 y del proyecto MIPS. Responsable del armado de la Oficina Técnica del Reactor RA6. Docencia y Capacitaciones (UTN, Instituto Balseiro, ARN y planteles extranjeros).
Fernández, Carlos <sup>215</sup>	Ingeniero químico UN La Plata, Postgrado en protección radiológica (UBA), Jefe de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear CNEA (1982), Jefe del reactor RA-6 (2005) y del reactor RA-8. Participación de la puesta en marcha de los reactores RA-6 (1982-CAB), NUR (1989-Argelia), RA-8 (1997-Pilcaniyeu) MPR (1997-Egipto). Jefe del proyecto UBERA-6 (2006-2008). Experto de OIEA para asesoramiento sobre seguridad nuclear y protección radiológica. Inspector por Argentina de la ABACC. Docente IB.
Genusso, Gustavo <sup>216</sup>	Ingeniero Nuclear (1986) IB UN Cuyo. Desarrollo y puesta a punto de técnicas experimentales aplicadas a la física neutrónica. Desarrollo y puesta en funcionamiento de facilidades experimentales para el reactor nuclear de Investigación RA-6. Jefe de Operación del Reactor RA-6. Mediciones de espectros neutrónicos (RA-6, Reactor Lo Aguirre – Chile-, Atucha I). Diseño y desarrollo de facilidades y técnicas experimentales para reactores de investigación. Responsable de la

<sup>213</sup> Extraído y modificado de <https://www.funintec.org.ar/osvaldo-calzetta/>

<sup>214</sup> Comunicación personal

<sup>215</sup> Comunicación personal.

<sup>216</sup> Modificado de <https://es-es.facebook.com/notes/gustavo-gennuso/mi-curriculum-vitae-gustavo-gennuso/171035553072816/>

	parte experimental de la puesta en marcha de los reactores: NUR (Argelia), TRR (Irán), RA-8 (Argentina), ETRR2 (Egipto). Co responsable del plan experimental del Reactor RA-8. Docencia.
Gho, Carlos <sup>217</sup>	Licenciado en Física (1975), Ingeniero Nuclear (1981) IB UN Cuyo, Dr en Ingeniería Nuclear (1983) IB UN Cuyo, Master en Gestión de Riesgos Ambientales (2003), Jefe DIFRA (1987-1997), Jefe Dpto Ing Nuclear (1997-2009) Gerente Área Ingeniería Nuclear (desde 2009). Docente IB (1977-1980, desde 1986), Vicedirector IB Ingeniería (1990-1995). Numerosas conferencias nacionales e internacionales, presentaciones a congresos, capítulos de libros y artículos científicos/técnicos.
Ribeiro Guevara, Sergio <sup>218</sup>	Ingeniero Nuclear (1987) IB UN Cuyo, Doctor en Ingeniería Nuclear (2001) IB UN Cuyo, Jefe de la División LAAN (desde 2016), Oficial de Radioprotección RA-6 (1996), docente IB (1994-2001).
Longhino, Juan <sup>219</sup>	Ingeniero Nuclear (1998) IB UN Cuyo, Proyecto BNCT (desde 1997), Docente IB (desde 1999).
Sánchez, Fernando Ariel <sup>220</sup>	Licenciado en Física (2000) UNR, Especialización en Aplicaciones de la Energía Nuclear (2000) IB UN Cuyo, Jefe Sección de Proyectos y Licenciamientos (actualmente Div. de Ingeniería y Desarrollo Experimental) desde 2010, Docente IB (desde 2003), actualmente Jefe de Trabajos Prácticos en Laboratorio 2. Responsable del desarrollo de las instalaciones experimentales del RA-6: Radiografía de Neutrones, Análisis por Gamas Instantáneos de Activación Neutrónica y Difractometría de Neutrones. Responsable del área de neutrónica y blindajes del RA-10.

---

<sup>217</sup> Comunicación personal.

<sup>218</sup> Comunicación personal.

<sup>219</sup> Comunicación personal.

<sup>220</sup> Comunicación personal.

### 13. ANEXO 4: Guía de preguntas para las entrevistas

#### Reactor Escuela

TEMA	PREGUNTAS
<b>FORMACIÓN</b>	¿Cuál es tu formación? ¿Cuál es la formación de tus compañeros? ¿Cómo llegaste al RA-6? ¿En qué etapa participaste de capacitaciones? ¿Qué función cumplías en la capacitación?
<b>MODIFICACIONES</b>	¿Qué modificaciones del RA-6 requirió la capacitación de alumnos? ¿Estaba planeado desde un principio? (aulas / consola espejo/) ¿Hubo que modificar protocolos para que los estudiantes pudieran operar en el RA-6?
<b>ALUMNOS</b>	¿Cómo nació el proyecto de capacitación de RRHH en RA-6? ¿De dónde venían los alumnos? ¿Quién financiaba la capacitación? ¿Hubo un seguimiento de esos alumnos? ¿Cuáles son/eran las expectativas de los participantes? ¿Se cumplieron?
<b>ORGANIZACIÓN</b>	¿Cómo se armaron los cursos ofrecidos? ¿Cuánto duran? ¿Qué título ofrecen? ¿Qué entidad regula o avala los cursos? ¿De dónde trajeron los primeros profesores? ¿Compartieron la docencia con gente de INVAP S.E./IB/CNEA/otros reactores?
<b>CONOCIMIENTO NECESARIO</b>	¿Cómo se prepararon para dar las clases? ¿Qué tipo de información necesitaron? ¿De dónde? ¿De quién? ¿En qué idioma se dieron/dan clases? ¿Intentaron ver cómo alguna otra institución hizo lo mismo? ¿Con quién interactúan?: IB, otros reactores, INVAP S.E. etc.
<b>COMPETENCIA</b>	¿Contra quién competían en tema de capacitación? ¿Qué ventajas y desventajas tiene la capacitación en el RA-6?

	¿A qué países les venden capacitación?
<b>POLÍTICAS PÚBLICAS</b>	<p>¿Recordás alguna política pública en particular que los haya beneficiado o perjudicado?</p> <p>¿Qué legislación importante sobre el área nuclear o educativa pensás que los ha beneficiado o perjudicado?</p> <p>¿Qué relación tenían las capacitaciones respecto de IB/UnCuyo?</p>
<b>RELACIÓN CON USUARIOS</b>	<p>¿Hay alguna relación entre los capacitados y ustedes?</p> <p>¿Hay alguna manera de enterarse de sus demandas y necesidades?</p> <p>¿Se hacen seguimientos luego de finalizado los cursos?</p>
<b>CLIENTES</b>	<p>¿Quiénes son sus clientes (INVAP S.E., hay otros?)</p> <p>¿En qué ámbito geográfico están (Europa, Asia, etc.?)</p> <p>¿Qué proyección internacional tiene el RA-6?</p>
<b>RELACIONES INSTITUCIONALES</b>	<p>¿Tienen relación institucional con otras universidades, institutos universitarios, colegios de profesionales, colegios de ingeniería, u otra Institución?</p> <p>¿Han recibido subsidios nacionales o internacionales para las capacitaciones?</p>
<b>IDEOLOGÍA</b>	<p>¿Considerás que una de las funciones principales del RA-6 es la de reactor escuela?</p> <p>¿Es esto importante como parte de un proyecto global de país?</p>
<b>FUTURO</b>	<p>¿Cómo pensás que va continuar este tema, considerando los otros usos del reactor? ¿Qué futuro le espera?</p>

**Proyecto BNCT**

<b>TEMA</b>	<b>PREGUNTAS</b>
<b>FORMACIÓN</b>	<p>¿Cuál es tu formación?</p> <p>¿Cuál es tu puesto dentro del grupo de BNCT?</p> <p>¿Desde cuando estás trabajando en el tema?</p>
<b>MODIFICACIONES</b>	<p>¿Quién propulso el cambio?</p> <p>¿Qué modificaciones del RA-6 requirió la facilidad de BNCT?</p> <p>¿Cuánto tiempo duró el cambio?</p> <p>¿Cuánto tiempo estuvo el reactor parado?</p> <p>¿Qué grupos se vieron afectados? ¿Cómo?</p> <p>¿Con qué facilidad se volvería atrás este cambio?</p>
<b>PROYECTOS</b>	<p>¿Qué tipo de pacientes se atiende con BNCT?</p> <p>¿Cuántos pacientes atienden?</p> <p>¿Se hace investigación básica?</p> <p>¿Se hacen desarrollos para la técnica/los procesos?</p> <p>¿Hubo algún cambio en el tipo de proyectos que encaran a lo largo del tiempo?</p> <p>¿Cómo surgió la relación con los médicos del Roffo?</p> <p>¿Qué influencia hay desde la IAEA al tipo de temática encarada?</p> <p>¿Quién financia los desarrollos? ¿Las modificaciones? ¿Las irradiaciones?</p>
<b>ORGANIZACIÓN</b>	<p>¿Cómo se han organizado las prioridades de irradiación?</p> <p>¿Cuántos días pueden usar de la operación? ¿Hay un límite?</p> <p>¿Quién decide si pueden o no irradiar algo, o los tiempos que pueden utilizar el reactor?</p> <p>¿Hay casos especiales (pacientes urgentes por ejemplo) que se traten de forma distinta?</p> <p>¿A qué se le da prioridad desde el RA-6?</p> <p>¿Respetan las prioridades que ustedes ponen?</p> <p>¿Quién les da soporte?</p> <p>¿Suelen ocurrir cambios en la configuración del núcleo para tener otras condiciones de irradiación? ¿Ustedes los piden? ¿Quién lo decide? ¿Con que frecuencia ocurre?</p>

<b>COLUMNA TÉRMICA</b>	<p>¿Cuándo se decidió sacar la CT para poner BNCT?</p> <p>¿Quién estuvo a cargo de la decisión?</p> <p>¿Hubo oposición?</p> <p>¿Fueron consultados los demás grupos?</p> <p>¿Tuvieron oportunidad de discutir? ¿Con qué grupo/jefes? ¿Cómo se ganó esa discusión?</p>
<b>CONOCIMIENTO</b>	<p>¿Quién fue el primero que trajo BNCT al RA-6? ¿Qué tipo de formación tenía?</p> <p>¿BNCT se da como materia optativa de la carrera de Ing Nuclear? ¿De física médica? ¿Desde cuándo? ¿Fue una necesidad de la carrera o se puso como materia ya que se contaba con la facilidad? ¿Quiénes fueron los primeros profesores? ¿Cuántos alumnos suelen cursar?</p> <p>¿Cómo adquirieron el conocimiento necesario para la tarea que realizan?</p> <p>¿Qué tipo de información necesitaron? ¿De dónde? ¿De quién? ¿Aprendieron haciendo?</p> <p>¿Se capacitaron en otros laboratorios de argentina/mundo?</p> <p>¿Se desarrollan instrumentos <i>in house</i> o se compra todo?</p> <p>¿Hubo partes de productos/procesos/protocolos de trabajo que copiaron?</p> <p>¿Qué porcentaje se realiza en forma propia/innovadora?</p> <p>¿Cómo aprenden? ¿Envían personal al exterior?</p> <p>¿Con quién interactúan?: laboratorios, Roffo, privados etc.</p>
<b>PROVEEDORES</b>	<p>¿Qué insumos necesitan?</p> <p>¿Quiénes han sido sus proveedores?</p> <p>¿Qué relaciones tienen con los mismos?</p> <p>¿Tercerizan algo? ¿Con quiénes?</p>
<b>COMPETENCIA</b>	<p>¿Qué otros laboratorios argentinos realizan tareas semejantes?</p> <p>¿Qué ventajas y desventajas tiene BNCT en el RA-6 respecto de aquellos?</p>
<b>POLÍTICAS PÚBLICAS</b>	<p>¿Recordás alguna política pública en particular que los haya beneficiado o perjudicado?</p> <p>¿Qué relación tienen con las instituciones públicas hospitales, Roffo, universidades?</p>
<b>RELACIÓN CON USUARIOS</b>	<p>¿Cuál es la relación entre los pacientes y ustedes?</p> <p>¿Cómo se piden las órdenes de irradiación?</p> <p>¿Cómo se enteran de nuevas demandas y necesidades?</p>

<b>IDEOLOGÍA</b>	¿Considerás que el BNCT es una parte esencial del RA-6?
<b>FUTURO</b>	¿Cómo pensás que va continuar el BNCT? ¿Qué futuro le espera? ¿Crees que en algún momento sacarán el BNCT a favor de otras aplicaciones? ¿Cuáles?

**Cambio de Núcleo**

<b>TEMA</b>	<b>PREGUNTAS</b>
<b>FORMACIÓN</b>	<b>PREGUNTAS</b>
<b>MODIFICACIONES</b>	<p>¿Cuál es tu formación?</p> <p>¿Cuál es tu puesto dentro del RA-6?</p> <p>¿Desde cuando estás trabajando en ese tema?</p>
<b>DECISIÓN</b>	<p>¿Qué modificaciones del RA-6 requirió el cambio de núcleo?</p> <p>¿Cuánto tiempo duro el cambio?</p> <p>¿Cuánto tiempo estuvo el reactor parado?</p> <p>¿Qué grupos se vieron afectados? ¿Cómo?</p> <p>¿Con qué facilidad se volvería atrás este cambio?</p>
<b>ORGANIZACIÓN</b>	<p>¿Por qué se cambió el núcleo?</p> <p>¿Cuál era la obligación?</p> <p>¿Cómo eran los plazos?</p> <p>¿Quién influyo en la decisión?</p> <p>¿Qué tuvo más peso, las nuevas aplicaciones o la obligación de devolver los combustibles?</p> <p>¿Qué influencia tuvo la IAEA?</p> <p>¿Quién financió el cambio de núcleo?</p>
<b>CONOCIMIENTO</b>	<p>¿Cómo afectó el funcionamiento del reactor?</p> <p>¿Hubo alguna aplicación que tuvo que ser cancelada?</p> <p>¿Hubo aplicaciones que se vieron favorecidas?</p> <p>¿Quién dio soporte para el cambio de núcleo?</p>
<b>PROVEEDORES</b>	<p>¿Cómo adquirieron el conocimiento necesario para la tarea del cambio? ¿Qué tipo de información necesitaron? ¿De dónde? ¿De quién? ¿Aprendieron haciendo?</p> <p>¿Se capacitaron en otros laboratorios de argentina/mundo?</p> <p>¿Se desarrollan instrumentos <i>in house</i> o se compró?</p> <p>¿Hubo partes de productos/procesos/protocolos de trabajo que copiaron?</p> <p>¿Qué porcentaje se realiza en forma propia/innovadora?</p> <p>¿Con quién interactuaron?</p>
<b>IDEOLOGÍA</b>	<p>¿Qué insumos necesitaron para el cambio?</p>

	<p>¿Quiénes han sido sus proveedores?</p> <p>¿Qué relaciones tienen con los mismos?</p> <p>¿Tercerizaron algo? ¿Con quiénes?</p>
<b>FUTURO</b>	<p>¿Considerás que el cambio de núcleo era necesario?</p> <p>¿Fue beneficioso?</p>

**LAAN**

<b>TEMA</b>	<b>PREGUNTAS</b>
<b>FORMACIÓN</b>	<p>¿Cuál es tu formación?</p> <p>¿Cuál es tu puesto dentro del LAAN?</p> <p>¿Desde cuándo estás en el LAAN?</p>
<b>MODIFICACIONES</b>	<p>¿Estaba planeada desde el inicio la creación de un LAAN?</p> <p>¿Qué modificaciones del RA-6 requirió el LAAN (neumático?)</p> <p>¿Cuánto tiempo duró el cambio?</p> <p>¿Cuánto tiempo estuvo el reactor parado?</p> <p>¿Qué grupos se vieron afectados? ¿Cómo?</p> <p>¿Con qué facilidad se volvería atrás este cambio?</p>
<b>PROYECTOS</b>	<p>¿Qué tipo de proyectos hacía/hace el LAAN?</p> <p>¿Comenzaron encargándose de necesidades de la CNEA, o siempre hicieron actividades de investigación propia?</p> <p>¿Hubo algún cambio en el tipo de proyectos que encaran a lo largo del tiempo?</p> <p>¿En qué momento comenzaron con proyectos de ecología?</p> <p>¿Cómo surgió la relación con los biólogos y geólogos?</p> <p>¿Qué influencia hay desde la IAEA al tipo de temática encarada?</p> <p>¿Quién financia los proyectos?</p> <p>¿Qué apoyo tenía/tiene de la CNEA?</p>
<b>ORGANIZACIÓN</b>	<p>¿Cómo se han organizado las prioridades de irradiación?</p> <p>¿Cuántos días pueden usar de la operación? ¿Hay un límite?</p> <p>¿Quién decide si pueden o no irradiar algo, o los tiempos que pueden utilizar el reactor?</p> <p>¿Hay casos especiales (irradiaciones muy largas por ejemplo) que se traten de forma distinta?</p> <p>¿A qué se le da prioridad desde el RA-6?</p> <p>¿Respetan las prioridades que ustedes ponen?</p> <p>¿Trabaja en algún proyecto prioritario para CNEA o del RA-6?</p> <p>¿Trabaja como soporte a alguna otra parte del RA-6?</p>

	<p>¿Trabajan dando soporte a INVAP u otra empresa?</p> <p>¿Suelen ocurrir cambios en la configuración del núcleo para tener otras condiciones de irradiación? ¿Ustedes los piden? ¿Quién lo decide? ¿Con que frecuencia ocurre?</p>
<b>COLUMNA TÉRMICA</b>	<p>¿Cuánto se utilizaba la CT para el trabajo diario?</p> <p>¿Cuándo se decidió poner/sacar la CT?</p> <p>¿Quién estuvo a cargo de la decisión de sacarla?</p> <p>¿Fueron consultados o solamente se lo comunicaron?</p> <p>¿Tuvieron oportunidad de discutir? ¿Con qué grupo/jefes? ¿Por qué se perdió esa discusión?</p> <p>¿Cómo afectó el desarrollo de las actividades del laboratorio el que se hubiera sacado la columna térmica?</p>
<b>CONOCIMIENTO</b>	<p>¿Quién fue el primero que trajo la técnica al RA-6? ¿Qué tipo de formación tenía?</p> <p>La técnica se da como materia optativa de la carrera de Ing Nuclear en el IB, ¿desde cuándo? ¿Fue una necesidad de la carrera o se puso como materia ya que se contaba con la facilidad? ¿Quiénes fueron los primeros profesores?</p> <p>¿Cuántos alumnos suelen cursar?</p> <p>¿Cómo adquirieron el conocimiento necesario para la tarea que realizan?</p> <p>¿Qué tipo de información necesitaron? ¿De dónde? ¿De quién? ¿Aprendieron haciendo?</p> <p>¿Se capacitaron en otros laboratorios de argentina/mundo?</p> <p>¿Se desarrollan instrumentos <i>in house</i> o se compra todo?</p> <p>¿Hubo partes de productos/procesos/protocolos de trabajo que copiaron?</p> <p>¿Qué porcentaje se realiza en forma propia/innovadora?</p> <p>¿Cómo aprenden? ¿Envían personal al exterior?</p> <p>¿Con quién interactúan?: laboratorios, Comahue, privados etc.</p>
<b>PROVEEDORES</b>	<p>¿Qué insumos necesitan?</p> <p>¿Quiénes han sido sus proveedores?</p> <p>¿Qué relaciones tienen con los mismos?</p> <p>¿Tercerizan algo? ¿Con quiénes?</p>
<b>COMPETENCIA</b>	<p>¿Qué otros laboratorios argentinos realizan tareas semejantes?</p>

	¿Qué ventajas y desventajas el LAAN del RA-6 respecto de aquellos?
<b>POLÍTICAS PÚBLICAS</b>	¿Recordás alguna política pública en particular que los haya beneficiado o perjudicado? ¿Qué relación tienen con las instituciones públicas (por ejemplo a los departamentos provinciales de aguas o las universidades)?
<b>RELACIÓN CON USUARIOS</b>	¿Cuál es la relación entre los usuarios del LAAN y ustedes? ¿Cómo se piden las órdenes de trabajo? Llegan órdenes desde CNEA? ¿Cómo se enteran de nuevas demandas y necesidades?
<b>IDEOLOGÍA</b>	¿Considerás que el LAAN es una parte esencial del RA-6?
<b>FUTURO</b>	¿Cómo pensás que va continuar el LAAN? ¿Qué futuro le espera? ¿Crees que en algún momento sacarán el LAAN a favor de otras aplicaciones? ¿Cuáles?

**RA-6 como soporte a INVAP S.E.**

<b>TEMA</b>	<b>PREGUNTAS</b>
<b>FORMACIÓN</b>	<p>¿Cuál es tu formación?</p> <p>¿Qué puesto ocupas?</p>
<b>RELACIÓN INVAP S.E.</b>	<p>¿Cuál es la relación que existe entre el RA-6 e INVAP S.E.?</p> <p>¿Hay flujo de personal entre ambos?</p> <p>¿Cómo se gestionan los contratos con INVAP S.E.? (capacitaciones, puesta en marcha de reactores, tareas diseño)</p> <p>¿Quién decide? (¿CNEA directo? ¿RA-6? ¿Divisiones?)</p> <p>¿INVAP S.E. ofrece servicios del RA-6 en las licitaciones?</p>
<b>MODIFICACIONES RA-6</b>	<p>¿Hubo que modificar el RA-6 a pedido de INVAP S.E. para algún experimento o testeo? ¿Cuánto duró? ¿Cuánto personal necesitó? ¿Se paró el reactor para ello? ¿Cuánto tiempo? ¿Hubo que re-licenciar algo? ¿Hubo que capacitar al personal?</p> <p>¿INVAP S.E. fue responsable de llevar a cabo alguna de las modificaciones que sufrió el RA-6? ¿En qué época? ¿La modificación fue exitosa?</p> <p>¿INVAP S.E. realiza algún tipo de cálculo, capacitación o auditoría para el RA-6? ¿Cómo se pide? ¿Quién lo aprueba? ¿Quién lo paga?</p>
<b>OTROS</b>	<p>¿Con qué otras empresas argentinas y/o extranjeras trata el RA-6?</p> <p>¿Para qué? ¿Con qué frecuencia?</p>
<b>POLÍTICAS PÚBLICAS</b>	<p>¿Hay alguna política/legislación pública que los obligue a trabajar con INVAP S.E.?</p>
<b>IDEOLOGÍA</b>	<p>¿Qué opinión tienen de INVAP S.E.?</p> <p>¿Que opinión crees que tienen de ustedes los de INVAP S.E.?</p>
<b>FUTURO</b>	<p>¿Cómo pensás que va continuar esta relación? ¿Qué futuro le espera?</p>

**Popularización del RA-6**

TEMA	PREGUNTAS
<b>FORMACIÓN</b>	<p>¿Cuál es tu formación?</p> <p>¿Qué puesto ocupas en el RA-6/CAB?</p> <p>¿Hacés divulgación?</p>
<b>COMUNIDAD DE BARILOCHE</b>	<p>¿Hay alguna relación entre la comunidad y el RA-6?</p> <p>¿Cuál fue la aceptación del RA-6 en la comunidad de Bariloche?</p> <p>¿Qué hizo el CAB para que la comunidad aceptara un reactor?</p> <p>¿Hubo alguna consulta a nivel municipal, comunal, etc.?</p> <p>¿Hubo manifestaciones/declaraciones en contra?</p> <p>¿Se dieron charlas abiertas o visitas?</p> <p>¿Quién estaba a cargo de la comunicación con la comunidad al momento de la construcción y puesta en marcha?</p> <p>¿Cómo se han organizado a los largo del tiempo?</p> <p>¿Se sigue alguna estrategia?</p> <p>Programa radial</p> <p>Visitas</p> <p>CAB puertas abiertas</p> <p>Concursos para secundarios</p> <p>Revista argentina nuclear</p>
<b>DEPORTE</b>	<p>¿Quién fue el promotor de generar interacción a través de deportes/canchas futbol y vóley/electrón?</p> <p>¿Tuvo algo que ver con popularizar la energía nuclear o es meramente algo social?</p>
<b>ACCIDENTES</b>	<p>¿Qué pasó luego de accidentes nucleares (tipo Chernóbil, Fukushima)?</p> <p>¿Alguna vez se consideró que había que cerrar el RA-6?</p>
<b>OPINIÓN PÚBLICA</b>	<p>¿La opinión pública argentina es favorable a la energía nuclear?</p> <p>¿Hay aceptación sobre la presencia de reactores en las ciudades?</p> <p>¿Qué hace la CNEA/CAB/RA-6 al respecto?</p> <p>¿Qué pasa con casos como Bolsón municipio no nuclear?</p> <p>¿Ayuda el hecho de asociar la medicina a la energía nuclear?</p> <p>¿Qué otras cosas nucleares tienen buena prensa?</p>

	¿Crees que algunos de los nuevos usos del reactor tienen que ver con generar una mejor propaganda de la Energía nuclear (por ejemplo los médicos)?
<b>POLÍTICAS PÚBLICAS</b>	¿Recordás alguna política pública en particular que los haya beneficiado o perjudicado, respecto de la aceptación de la energía nuclear y particularmente del RA-6?
<b>PUBLICIDAD</b>	¿Cómo se publicitan los resultados/tareas/logros del RA-6? ¿A quién va dirigido? ¿Quiénes lo publicitan?
<b>IDEOLOGÍA</b>	¿Crees que el reactor es beneficioso para la comunidad?
<b>FUTURO</b>	¿Cómo pensás que va continuar este tema en Bariloche/Argentina/mundo? ¿Qué futuro le espera?

## 14. ANEXO 5: Glosario

G1 *Affair Richter*: Durante el gobierno de Perón se contrató un físico alemán que aseguraba poder lograr la fusión fría, una manera de obtener energía nuclear más limpia que por el proceso de fisión. Para ayudarlo a lograr su objetivo se le ofrece un laboratorio experimental completo instalado en la Isla Huemul, con base en lo que hoy son las instalaciones del Centro Atómico Bariloche. Ante la falta de resultados demostrables un grupo de físicos nacionales, entre ellos José A. Balseiro, audita las tareas en la isla y llega a la conclusión que todo había sido una farsa. El proyecto se cierra y lo construido en la isla se desmantela. (Mariscotti, 1984).

G2 *Análisis por Activación Neutrónica (AAN)*: Técnica cuantitativa de análisis químico que se utiliza para determinar la composición elemental de una muestra. Luego de someter un material a la irradiación con neutrones, bajo ciertas condiciones, ocurre que los átomos del material sufren una reacción nuclear: El neutrón (proyectil) es absorbido por el núcleo del átomo (blanco). Este nuevo núcleo formado es inestable y se encuentra en un estado excitado. Para volver a una situación de menor energía puede ocurrir que el átomo formado emita partículas nucleares y/o radiación electromagnética en forma de rayos gamma o rayos X, con las energías características. Éstas se pueden utilizar para identificar el átomo madre, y cuantificarlo. Con esta técnica se pueden analizar muestras en el rango de los % hasta las partes por millón.

G3 *Análisis por Activación Neutrónica de Gammas Instantáneos (PGNAA)*: del inglés, Prompt Gamma Neutron Activation Analysis). Es una técnica de análisis por activación que se utiliza para la identificación y la cuantificación elemental la radiación gamma. Usa para ello la radiación emitida por el núcleo compuesto que se forma mientras el núcleo blanco absorbe los neutrones proyectiles con los que está siendo irradiado.

G4 *Barras de Control*: una manera de controlar la reacción en cadena de la fisión nuclear del Uranio es el colocar un material absorbente de neutrones dentro del núcleo (Por ejemplo cadmio o Boro). Una forma tecnológica que se encontró de introducir carburo de Boro o una aleación de plata, indio y cadmio en el núcleo del reactor es tomando la configuración de una „barra“ con las mismas dimensiones que las varillas que contienen el combustible nuclear. Las barras se introducen o retiran lentamente para alcanzar la reactividad deseada, o se sueltan rápidamente, en caso de necesitar un apagado abrupto de la reacción, para etapas de operación rutinaria o en caso de emergencia.

G5 *Boca de tanque*: el núcleo del reactor se encuentra instalado en una pileta (también llamada “tanque”) de acero envuelto en un blindaje de concreto. La parte de arriba, por donde se accede al núcleo a través de varios metros de agua, se denomina “boca” de tanque.

G6 *Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)*: Técnica médica que utiliza neutrones para tratamiento de algunos tipos de tumores. Un fármaco conteniendo Boro es diseñado especialmente para que sea ávidamente absorbido por células cancerosas. La zona del tumor se irradia con neutrones, los cuáles provocan una reacción nuclear en el Boro y lo convierten en un núcleo excitado. Este núcleo retorna a un estado más estable emitiendo una partícula alfa, que por su corto alcance sólo destruye las células cancerosas que están a pocos milímetros, con mínimo daño a las células sanas.

G7 *Canastas*: son cajas metálicas abiertas que permiten subir/bajar una muestra dentro de la pileta del reactor, hasta ubicarla en su lugar de irradiación.

G8 *Celda Caliente*: Recinto blindado para radiaciones, con ventilación controlada, en el que se ejecutan operaciones con materiales de radiactividad elevada. Las operaciones se dirigen a distancia por medio de telemanipuladores y la observación se lleva a cabo a través de ventanas blindadas o por métodos de visión indirecta.

G9 *Coficiente de reactividad*: Parámetro que indica cuando una reacción en cadena se mantiene, crece o decrece, dependiendo de la variación de algún otro parámetro (por ejemplo la temperatura).

G10 *Colimador*: Sistema que transforma un haz divergente en un haz paralelo.

G11 *Colisiones atómicas*: rama de la física que estudia los fenómenos que se producen al chocar partículas entre sí.

G12 *Columna térmica*: bloque de algún material (como el grafito) que tiene la propiedad de disminuir la energía de los neutrones hasta el rango térmico (0.025eV).

G13 *Conducto*: es un canal que atraviesa los blindajes del reactor desde el lado interior hacia el exterior y se utiliza para extraer algún tipo de radiación que se aproveche en alguna facilidad o instrumento de medición. El RA-6 cuenta con 5 conductos, dos de ellos pasantes.

G14 *Consola*: lugar desde donde se opera el reactor. Con el mismo concepto que en un auto diseñado para aprender a manejar, con doble comando de pedales, la *doble consola* permite que los estudiantes practiquen las operaciones en el reactor y analicen las señales pertinentes, mientras que un operador capacitado y licenciado verifica la operación real desde la consola principal.

G15 *Criticidad*: Condición en la que el número de neutrones producidos por la fisión coincide con el número de neutrones absorbidos (por materiales fisibles y no fisibles) y fugados del reactor. Se dice que el reactor alcanza criticidad cuando se establece por lo tanto una reacción nuclear en cadena autosostenida.<sup>221</sup>

G16 *Difracción*: fenómeno físico característico de las ondas, basado en la desviación de las mismas cuando atraviesan una rendija o cuando interactúan con otros objetos de tamaño del orden de la longitud de onda en cuestión. Dada la dualidad onda-partícula, neutrones y electrones producen difracción al atravesar un grupo ordenado de átomos. Los patrones de interferencia generados por la difracción de las partículas pueden entonces utilizarse para caracterizar la estructura cristalina del material investigado. Esta técnica se denomina *difractometría*.

G17 *Dosis absorbida*: Magnitud utilizada en radioprotección y radiobiología para definir la cantidad de energía (de radiación o partículas) que es depositada por unidad de masa (J/kg).

G18 *Energía de los neutrones*: *Neutrón térmico* es aquél que se encuentra aproximadamente en equilibrio térmico con el medio en el que se mueve. A la temperatura ambiente su energía es de 0,025 eV. *Neutrón epitérmico*: posee una

---

<sup>221</sup> Modificado del glosario de energía nuclear del foro de la industria nuclear española ([www.foronuclear.org](http://www.foronuclear.org))

energía cinética ligeramente superior a la de la agitación térmica (entre 0.025 y 1 eV). *Neutrón rápido*: posee energías mayores a las epitérmicas.

G19 *Enriquecimiento del Uranio*: El Uranio natural consta de varios isótopos, siendo mayormente  $^{238}\text{U}$  (99.27%) seguido por  $^{235}\text{U}$  (0.72%) y  $^{234}\text{U}$  (0.005%). Se entiende por “enriquecer” el aumentar artificialmente la proporción del  $^{235}\text{U}$  natural. Reactores de investigación utilizan porcentajes de entre el 20 y el 90%. Por debajo del 20% se considera de “bajo enriquecimiento”.

G20 *Facilidades de irradiación*: A través de las reacciones nucleares que ocurren en el reactor pueden obtenerse partículas (alfa, beta, neutrones, protones) y/o radiaciones electromagnéticas (gamma, X). Cuando éstas son encausadas y filtradas, se obtienen los llamados “haces de irradiación” (ya sea de tal o cuál partícula o radiación, respectivamente).

G21 *Fantoma*: Material que simula alguna parte de un cuerpo humano o animal. Se utiliza para calcular dosis.

G22 *Filtrado del haz*: El reactor provee un conjunto de radiaciones, compuesta de partículas y radiación electromagnética, con energías que abarcan gran parte del espectro. Si se requiere para alguna aplicación específica un haz solamente de neutrones con un rango específico de energías, se deben eliminar (filtrar) todos los demás componentes (es decir las otras partículas presentes, como protones y electrones, y la radiación gamma). Esto se hace interponiendo en el camino del haz filtros de distintos materiales.

G23 *Filtro*: Dispositivo que elimina las partes no deseadas de un haz de radiaciones o partículas. Permite elegir (en este caso) un haz de neutrones puramente epitérmicos, eliminando las componentes de flujo neutrónico térmico y rápido. En el caso del reactor, el filtro se denomina filtro interno si está por el lado interior de la pared de blindaje y filtro externo si está por fuera de la misma.

G24 *Fisión*: Dícese de un material capaz de sufrir una fisión nuclear.

G25 *Flujo*: Cantidad escalar utilizada en física e ingeniería para definir el número de partículas que atraviesan una unidad de área por unidad de tiempo. En el caso de *flujo neutrónico*, las partículas son neutrones (y se mide en  $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ).

G26 *Fundación José A. Balseiro*: Fundación sin fines de lucro ubicada en el Centro Atómico Bariloche la cual promueve la investigación en ciencia y tecnología y la formación de recursos humanos en esas áreas, como así también la transferencia de los resultados de dichas investigaciones al medio cultural, académico e industrial del país. [www.fundacionbalseiro.com](http://www.fundacionbalseiro.com).

G27 *Hall del reactor*: Lugar donde está instalado el reactor nuclear (artefacto) en sí. Por cuestiones de radioprotección, el mismo se encuentra separado por distintas barreras físicas

G28 *Haz*: Conjunto de partículas o rayos que parten de un mismo lugar. *Haz mixto*: haz que contiene partículas o radiaciones de distintas energías. *Haz epi-hiper-térmico*: haz que contiene partículas (en este caso neutrones) con energías  $> 0.025\text{eV}$  (térmica) hasta 1eV (epitérmicas).

G29 *Hojuelas*: Pequeños trozos de materiales que sirven para medir indirectamente a través de un proceso de activación el flujo y la energía de determinada radiación

G30 *Instituto de Física de Bariloche*, que luego se rebautizó como *Instituto Balseiro* (IB) tras la muerte de su fundador. Institución Educativa Argentina de la Universidad de Cuyo y la Comisión Nacional de Energía Atómica, en un principio dedicada a la enseñanza de la física y de la ingeniería nuclear. Actualmente posee carreras de grado, especializaciones, maestrías y doctorados.

G31 *INVAP S.E.*: Consorcio público-privado con la provincia de Río Negro para desarrollo y venta de tecnologías.

G32 *Irradiaciones térmicas*: irradiaciones que se producen con neutrones de energía térmica.

G33 *Línea*: En este caso se interpreta como el lugar por donde se extrae determinado tipo de partículas o radiaciones de un reactor nuclear, y la instrumentación que se ubica allí (por ejemplo: línea de BNCT, línea de neutrografía, etc).

G34 *Lugares de irradiación*: Son posiciones dentro o en la periferia del núcleo del reactor donde existe una cavidad en la que se pueden colocar muestras para someterlas a un flujo de neutrones (es decir, para irradiarlas).

G35 *Melanoma*: Grave variedad del cáncer de piel.

G36 *Núcleo*: Es la parte central de un reactor nuclear y contiene el material combustible y sus barras de control.

G37 *Período de semidesintegración*: Tiempo en que la mitad población de cierto radionucleído tarda en desintegrarse.

G38 *PICT*: Proyecto de Investigación Científica y Tecnológica financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Técnica (ANCYT).

G39 *PIP*: Proyecto de Investigación Plurianual financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

G40 *UN-CUYO*: Proyectos de investigación financiados por la Universidad Nacional de Cuyo, para profesores investigadores.

G41 *PROEVO*: Programa de Emergencias Volcánicas, que financia proyectos de investigación en esa temática.

G42 *Potencia*: Energía por unidad de tiempo (1 Watt = 1 Joule/segundo).

G43 *Presión del hall del reactor*: Debido a una cuestión de protección radiológica, el hall de los reactores nucleares de potencia está a menor presión que la atmosférica. En caso de un escape radiactivo, si se rompiera por ejemplo un vidrio, el aire tendería a entrar en el hall en vez de a salir y contaminar el exterior.

G44 *Puertas SAS*: doble puerta separadas por un hall de acceso, que permite abrir la puerta interior sólo cuando la puerta exterior está cerrada. Sirve además para que el personal que va a ingresar al hall del reactor se coloque guardapolvos y cubrezapados o ropa especial.

G45 *Radiografía*: Cuando fotones de cierta energía (pueden ser en la energía de los rayos X o en la energía de los rayos gammas) atraviesan un material pueden, entre

otras cosas, ser absorbidos por los átomos del mismo. Cuanto más material atraviesan, o más denso es el material, los fotones son más absorbidos. Asimismo, materiales que tienen un número atómico alto absorben más que los materiales más livianos. Estos contrastes de absorción pueden ser utilizados para formar una imagen de la muestra. Las radiografías médicas por ejemplo, utilizan fotones tipo rayos X. La *gammagrafía* utiliza el contraste por absorción de fotones gamma. La *neutrografía* es en esencia similar a éstas, pero utiliza el contraste generado por la distinta absorción de neutrones en distintos materiales.

**G46 *Reactor Nuclear*:** Instalación que utiliza la fisión del Uranio para generar energía o con fines de investigación.

**G47 *Reactor nuclear experimental*:** Es un reactor nuclear que no se utiliza para la producción de energía eléctrica (llamado reactor de potencia) o para la producción de radiofármacos (llamado reactor de producción) sino con fines científico-técnicos y académicos.

**G48 *Redundancia por triplicado*:** Cada señal relevante es medida en forma independiente tres veces. Si existe una diferencia en las lecturas, se toma la decisión por 2 de 3.

**G49 *Sistema neumático*:** Sistema de envío de muestras a las posiciones de irradiación dentro del núcleo del reactor a través de un porta-muestras (llamado rabbit o bala), impulsado por aire comprimido en una tubería especial.

**G50 *Ventilación con filtrado*:** Los sistemas de ventilación del hall del reactor utilizan filtros de partículas, gases y vapores que retienen (por procesos de absorción y adsorción superficial) los componentes radiactivos que pudiera haber en el aire.

Nota: varios de estos conceptos han sido modificados de la versión on-line del Diccionario de Ingeniería de la Real Academia Española.

