

Cálculo y construcción de un molino Savonius. Una propuesta didáctica integral

Pablo Fabián Carranza

pfcarranza@gmail.com

Resumen

En esta comunicación compartimos una propuesta didáctica llevada a cabo con estudiantes de la Universidad Nacional de Río Negro en la cual calculamos y construimos un molino tipo Savonius para una pobladora rural de la meseta semidesértica del norte de la Patagonia. Esta propuesta didáctica tuvo varios ejes motivacionales. Se describen estos ejes y se proponen algunas primeras reflexiones

1. Introducción

En esta publicación compartiremos una experiencia didáctica llevada a cabo durante el primer semestre del año 2015 en el marco de las clases de matemática de la Tecnicatura en Mantenimiento Industrial de la Universidad Nacional de Río Negro.

Esta experiencia didáctica consistió en el cálculo, construcción e instalación de un molino para una pobladora rural que habita en una zona de meseta semidesértica de la provincia de Río Negro. Hasta la fecha, esta pobladora llamada Yolanda extraía el agua para riego y para sus animales mediante una bomba manual tipo sapo. Con los alumnos de matemática de la Tecnicatura, nos propusimos construir un molino que gracias a la energía eólica reemplace a la bomba manual que la pobladora utilizaba diariamente.

La construcción de este molino constituyó un marco didáctico para el aprendizaje de nociones no solo de Matemática sino también de Física y de Estadística. Proponemos a continuación una breve descripción sociogeográfica de la zona de meseta de la Patagonia Argentina.

2. Contexto del proyecto

La geografía de la Patagonia Argentina, más allá de la región Andina, se caracteriza por un clima semidesértico (promedio de 200 mm de precipitaciones anuales) con mesetas escalonadas que descienden hacia el océano atlántico. Producto de las dificultades climáticas, la vegetación es arbustiva y de rarísima gramínea. Las poblaciones suelen ubicarse en valles de ríos y/o a reparo de los fuertes vientos. La región, posee una densidad de población que se encuentra entre las más bajas del país.

Más allá de las ciudades que poseen todos los servicios tales como agua potable, red eléctrica, gas etc., hay una vasta zona, la inmensa mayoría de la región, que no cuenta con esos servicios. Más aún cuando se trata de pequeños pobladores cuya economía de subsistencia está basada en la cría extensiva de ovinos y/o caprinos. Estos pobladores

suelen ubicar sus casas cerca de alguna vertiente o en zonas bajas que permitan con una perforación hecha a pala de unos 8 metros de profundidad (llamada jagüel) llegar a extraer el agua de napas cercanas a la superficie. Este es el caso de la pobladora rural que integramos a nuestro proyecto.

Yolanda es una mujer de unos 60 años que vive sola en la zona de meseta de la provincia de Río Negro. En su puesto, hay una vivienda de ladrillos, dos corrales y dos jagüeles. En cada uno de esos jagüeles, Yolanda instalada una bomba tipo sapo que permite extraer agua manualmente. Ese agua era utilizada por Yolanda para regar sus 4 eucaliptus y dar de beber a sus animales (chivos, caballos y gallinas). La figura 1, foto satelital del puesto de Yolanda, muestra las instalaciones.

Figura 1. Fotografía Satelital puesto Yolanda

Cabe acotar que la situación de Yolanda no es excepcional. Muchos pequeños crianceros a lo largo de la Patagonia viven en condiciones similares. Nuestra intención fue la de brindar una solución al tema del agua para riego y bebida de los animales mediante la construcción de un molino tipo Savonius. Resumiremos a continuación una descripción de este tipo de molinos.

3. Molino tipo Savonius

El molino Savonius está basado en un rotor que gira verticalmente. La Figura 2 muestra un esquema de este tipo de molinos. El cuerpo principal del molino, llamado rotor, está constituido por una suerte de paletas que giran verticalmente y transforman la energía cinética del viento en movimiento rotacional del eje. Este rotor, conectado a una bomba tipo diafragma por medio de un eje, permite la extracción de agua del jagüel.

El rotor puede tener uno, dos o más conjuntos de paletas. En nuestro caso, optamos por una configuración de dos conjuntos de paletas (similar al esquema de la Figura 2), lo que le da a la estructura una altura de 6 metros.

Figura 2. Esquema Molino savonius

En términos de rendimiento, este tipo de molinos es uno de los más bajos dado que cuando una paleta (posición cóncava) gira en favor de la dirección del viento transformando así la energía, la otra lo hace en contra, por lo que en el mismo diseño hay una importante pérdida de energía producto de la paleta (posición convexa) que gira en sentido contrario a la dirección del viento.

A pesar de su bajo rendimiento este tipo de molinos es muy apreciado, principalmente por dos razones. Una es la vinculada a su facilidad de construcción y bajo mantenimiento. La otra se refiere a los relativamente reducidos costos de fabricación. Dada la alta disponibilidad de vientos en la zona, y las características de nuestra tecnicatura, optamos por priorizar sus ventajas. Por lo que nos decidimos a la construcción de un molino Savonius de dos pares de paletas.

Los cálculos, la construcción y la instalación del molino fueron considerados como un marco didáctico para el aprendizaje de nociones de Matemática, Estadística y Física. Intentaremos abordar ahora algunas de las principales motivaciones didácticas del proyecto.

4. Marco didáctico

Las ideas que aquí expresaremos van más allá de lo didáctico, si es que esto cabe. Ellas tienen que ver también con lo pedagógico y por qué no con lo político. Pero a los fines de no explayarnos demasiado en subtítulos, hemos decidido reunir las bajo la forma de “marco didáctico” y las expresaremos bajo el término “motivaciones”.

Podríamos resumir estas motivaciones como el interés de integrar y esto en varios sentidos. Nos interesamos a la integración de disciplinas, a la integración en equipos, a la integración con la comunidad, a la integración de tipos de conocimientos (teóricos y prácticos) y también a la integración de tiempos. Intentaremos explicar estos ejes de integración.

4.1 Integración de disciplinas

Entendemos que el abordaje de situaciones de la vida real, raramente es posible por medio de una sola disciplina. La mayoría de nuestras acciones convocan, a veces explícitamente a veces implícitamente, a disciplinas diferentes. Consideramos entonces necesaria una reflexión didáctica sobre la integración de los saberes disciplinares pues entendemos que así funcionan en situaciones reales.

En nuestro proyecto entonces, tuvimos la intención de integrar áreas disciplinares y esto más allá de la formalidad que representó proponerlo desde la clase de matemática. Principalmente las disciplinas convocadas fueron matemática, estadística y física.

En el proyecto pretendimos principalmente que las acciones a emprender en el marco de la construcción del molino, fueran fundadas a partir de conocimientos. Esto implica que las disciplinas funcionan como un conjunto de herramientas racionales para las decisiones a tomar tanto sea en los materiales a utilizar como en las dimensiones del molino. Volveremos sobre esta cuestión más adelante.

4.2 Integración en equipos

Nos interesaba también avanzar sobre la idea del trabajo en equipo, haciendo que los estudiantes se interioricen de las potencialidades y dificultades del trabajo con sus colegas. Fue así que se identificaron partes del molino como relativamente autónomas en su construcción y se crearon grupos donde cada uno de ellos se hacía responsable de la fabricación de una de esas partes.

También se construyó una matriz de interdependencia en la cual se detallaron las partes del molino donde intervenían dos o más grupos. Así, si un grupo pretendía abordar dimensiones y materiales de una de esas partes, sabían que debían convocar a los otros grupos donde esa parte tuviera incidencia.

4.3 Integración con la comunidad

Adherimos a la idea de explorar con los estudiantes la posibilidad de concebir el saber como un bien cultural, un producto de una sociedad y en tanto que tal, que sea devuelto a la misma bajo la forma de una acción solidaria concreta. En este sentido, el conocimiento adquirido no solo es percibido como beneficio para sus futuras vidas profesionales solamente sino también como una herramienta de intervención social para la mejora de su comunidad.

La intención al respecto fue la de remarcar, por un lado nuestra pertenencia a una comunidad y por el otro la importancia de intervenir en ella. También nos motivó la integración en lo que llamamos “tipos de conocimientos”.

4.4 Integración de tipos de conocimientos

La dicotomía de saberes teóricos versus saberes prácticos no nos parece reflejar fielmente la manera en que los conocimientos tienen lugar en situaciones de la vida real. Entendemos que esta oposición entre tipos de saberes puede deberse a divisiones del trabajo las cuales en todo caso deseamos también interrogar. El hecho de construir el molino, es decir, ir más allá del conocimiento teórico del cálculo del mismo tiene precisamente que ver con una ruptura de esta dicotomía de saberes en tanto y en cuanto en nuestro trabajo con los estudiantes fueron las mismas personas quienes realizaron los cálculos y quienes construyeron el molino.

De esta manera, los dos tipos de conocimientos se integraron para concretar el proyecto. Ambos entonces fueron indispensables para lograr el objetivo de construir el molino para el puesto de Yolanda. Otro tipo de integración nos motivó también en este proyecto. La hemos denominado integración de tiempos.

4.5 Integración de tiempos

Suele interpretarse el aprendizaje escolar, sobre todo del lado de los estudiantes, como un tiempo de formación, un tiempo de preparación para el futuro. Un tiempo donde se adquieren herramientas que en algún momento, todos esperamos, serán de utilidad.

Entendemos que el aprendizaje es también presente, y es también acción en ese presente. Pensamos que los saberes acumulados por los estudiantes desde la escuela primaria y los en proceso de adquisición en la tecnicatura en particular son necesarios y suficientes para emprender acciones que no solamente motivan el aprendizaje sino que lo resignifican. Hay en este proyecto entonces una integración de tiempos: de los saberes aprendidos en el pasado y de los en curso de aprendizaje para una utilización en el presente. Esperando al mismo tiempo que su significación en este presente sirva para su convocación en el futuro. Intentaremos describir el esquema didáctico que concebimos para este proyecto.

5. El molino como eje de interés

Algunos autores hablan de situación adidáctica en un contexto constructivista para referirse al hecho que el alumno, al vivir un fuerte interés por resolver un problema, se olvida momentáneamente de la ficción que lo convoca (un profesor, un aula, un contexto no real) y aborda con interés genuino la situación que le es propuesta.

En nuestro caso, la adidacticidad de la situación está dada por su impronta de realidad. Así, el interés de los alumnos es devuelto a su autenticidad por su realismo. En este caso, se trata de una pobladora que necesita un molino para extraer agua. Esta situación real, auténtica, no es ni evocada ni simulada y admitimos que los estudiantes se la apropian por un conjunto de emociones ligadas al compromiso social y solidaridad latente en ellos. Los trabajos ya concretados al respecto, nos confirman tal potencial en los estudiantes. .

Este proyecto nos confirma nuevamente el alto grado de adidacticidad de este tipo de propuestas. Esto permite que alumnos y profesores abandonen los lugares tradicionales como por ejemplo cuando el profesor evalúa y presiona con exámenes para que sus alumnos aprendan.

Aquí, en este tipo de proyectos, el interés por aprender lo da ya no el docente con sus herramientas de calificación sino el sentido de responsabilidad por cumplir con un compromiso asumido, en este caso, con la pobladora. En efecto, una de las primeras acciones emprendidas con los estudiantes fue la de visitar a la pobladora en su casa, no solo para recopilar datos sino también para fortalecer el sentido de responsabilidad y esto, para con todos los actores del proyecto.

Esto permitió progresivamente ir abandonando en los estudiantes la referencia a la calificación numérica como objetivo o como motivación para aprender. Esto tiene que ver también con un cambio de contrato didáctico en el cual el interés por la nota se desvanecía con el transcurrir del tiempo para centrarse en el interés por construir el molino. En otras palabras, la adidacticidad de la propuesta fue progresiva y podemos decir que alcanzó su punto de estabilidad y completitud cuando los estudiantes dimensionaron la importancia del proyecto.

Así, se lograba cumplir el objetivo didáctico del proyecto de vivenciar la construcción del molino al mismo tiempo que se aprendían conceptos de las diferentes disciplinas. En sí, el esquema podría describirse como el de respuesta a una necesidad. En efecto, los conocimientos de matemática, física y estadística aparecían como argumentos racionales a cuestiones a abordar en el proceso de construcción del molino. De esta manera fueron convocadas nociones de álgebra, funciones, trigonometría, estadística, geometría, etc. A modo ilustrativo, mencionaremos dos tipos de nociones de matemática y estadística trabajadas con los estudiantes y sus contextos de aparición.

5.1 Nociones de Estadística

Fue necesario estimar la potencia producida por el molino. Con esa potencia se estimaría luego la disponible a los fines de elevar el agua desde el jagüel a la superficie.

Esta potencia producida por el molino no es única, ella está en función de algunas variables, una de las principales es la velocidad del viento, otra es la superficie de contacto con el viento.

Como es de suponer, la velocidad del viento no es estable, por lo que nos fueron necesarios registros de velocidades del viento en la zona. Fue así que gracias a la colaboración de organismos diversos pudimos obtener 32000 registros de velocidades de viento a lo largo de tres años. El tratamiento de estos datos nos permitió tener una idea de las velocidades del viento tanto mínimas como máximas. Fue posible también estudiar la estacionalidad de los vientos y sus efectos en la potencia del molino, así como tener una estimación de la variación a lo largo del día.

El tratamiento se realizó en una hoja de cálculo, esto permitió abordar cuestiones referidas a datos extremos, datos faltantes, medidas de posición y de dispersión, distribución de weibull, representaciones gráficas en excel, tratamiento dinámico de datos en la hoja de cálculo, etc., etc.

5.2 Nociones de funciones trigonométricas

El cálculo del área de la paleta cóncava que gira en dirección al viento es fundamental para estimar la potencia teórica aportada por el viento. Por razones de tiempo, tuvimos que descartar el estudio de la pérdida de potencia dada por la paleta en posición convexa, por lo que nos centramos en el estudio de la parte cóncava.

El estudio (simplificado) de la superficie colectora de viento responde a nociones de trigonometría, por tratarse de cuatro paletas rotando, se trata de cuatro funciones trigonométricas desplazadas entre sí 90 grados. Este estudio se realizó apoyándonos fuertemente en un software didáctico de geometría dinámica (Geogebra).

De la misma manera, el estudio de los tensores, la profundidad de las bases y las tensiones que se producían fueron estudiadas dinámicamente en este software. Cabe acotar la fuerte interacción con nociones de Física que continuamente se producían. Resumiremos la dinámica de tratamiento de los conceptos de las diferentes disciplinas.

6. Esquema didáctico

Como mencionamos anteriormente, la construcción del molino representó un eje de motivación para la discusión de conceptos nuevos o la resignificación de otros aprendidos anteriormente. De esta manera el orden de discusión de los conceptos no respondió a una lógica curricular y probablemente tampoco a una lógica disciplinar, no al menos en su entera linealidad.

El principio que guiaba el tratamiento de tal o cual concepto era su necesidad para abordar una cuestión constructiva. Si para tratarla eran necesarios varios conceptos, ellos eran discutidos en progresiva profundidad hasta alcanzar un nivel relativamente satisfactorio. Luego se realizaban algunos ejercicios mas o menos convencionales para consolidar cuestiones algorítmicas o de otro tipo.

Nos parece importante remarcar que esta dinámica no era habitual para los estudiantes, ni tampoco era corriente para la carrera en sí. En general, los estudiantes habían enfrentado problemas o ejercicios de otro tipo bien diferente. La secuencia para ellos solía ser: los conceptos son explicados y estudiados en sus propiedades y luego son aplicados en situaciones evocadas, donde en general la información del enunciado del problema evocado es necesaria y suficiente para resolver el problema. No solo ello, sino que el concepto en proceso de aprendizaje solía ser el único central para la resolución del problema que insistimos siempre era evocado, nunca uno real.

En nuestro caso, se partió de un problema real. Esto representa varios cambios respecto al esquema habitual en los estudiantes. Enunciaremos algunas características de este tipo de situaciones.

6.1 Interdisciplinariedad

Las cuestiones a abordar no responden solamente a una disciplina. Al instante de plantearse una problemática emergen cuestiones que en su formalidad convocan a campos

disciplinarios diferentes. En estos casos, las variables, los números no suelen ser adimensionales como es corriente ver en la matemática escolar sino que ellos están vestidos de una dimensión por el hecho de estar modelizando un componente o una relación del proyecto.

6.2 Los saberes como argumentos racionales para las tomas de decisiones

En este tipo de propuestas, los saberes disciplinares funcionan como argumentos convocados para las tomas de decisiones. Aquí, no se trata de copiar un plano o seguir las instrucciones de un tercero sino que la intención es la de analizar e investigar de tal manera que las acciones que se lleven a cabo sean fundadas. Esto implica que los grupos avanzan en los estudios porque hay un debate que exige fundamentos. El límite del nivel de justificación lo determina la posibilidades temporales, físicas y el conjunto de limitantes del entorno. Es muy importante en este tipo de propuestas la actitud cuestionadora del profesor que interroga los saberes y cuestiona continuamente las propuestas de los estudiantes, sobre todo aquellas basadas en la intuición o en las costumbres.

En este contexto, los estudiantes investigan y estudian para encontrar respuestas satisfactorias al grupo. El rol del profesor como desestabilizador de propuestas basadas en la intuición o en las costumbres es aquí fundamental.

6.3 Relación modelo realidad

La referencia directa a un objeto, dimensión o relación, en este caso del molino, resulta también interesante pues de esta manera se pone en evidencia el vínculo entre modelo y realidad. Y no solo ello, dado que cada cuestión a resolver es un problema nuevo para los estudiantes, resulta muy enriquecedor trabajar el proceso de construcción del modelo representativo de la situación.

Así, surgen las características a retener las unas, y a descartar las otras, para que en ese proceso de filtrado se construya un modelo, nivel en el cual por cierto se producen en general los desarrollos matemáticos por ejemplo.

Se desarrollan en este tipo de propuestas entonces importantes procesos semióticos de construcción de vínculos entre significantes y significados, dados por el proceso en el cual los estudiantes construyen un modelo a partir de una realidad.

6.4 Procesos de investigación

Este tipo de propuestas se caracteriza por un fuerte proceso investigativo, tanto en docentes como en alumnos. En efecto, dado que los proyectos son en general nuevos para todos es necesario adoptar una actitud de exploración, de investigación y de búsqueda tanto de información como de datos necesarios para abordar los diferentes problemas.

Esto nos parece muy importante a resaltar pues la actitud exploradora de los integrantes del proyecto es fundamental.

Nos parece oportuno también remarcar el clima por momentos caótico que puede vivirse en este tipo de proyectos por las características mismas de este tipo de propuestas.

Entendemos que profesores y alumnos deben poder no solo convivir con este relativo caos sino también poder producir en ese tipo de contextos, incluso si para algunos puede resultar estresante.

6.5 Vínculo alumnos profesor saber

Las características anteriormente mencionadas llevan indefectiblemente a plantear una relación alumnos-profesor-saber muy diferente a la tradicional en nuestras aulas. El profesor, entendemos, se aleja del lugar de detentor de un saber para acercarse al rol de coordinador de acciones y reflexiones de los estudiantes. En este tipo de situaciones, el profesor no tiende a validar o aprobar las acciones. La intención es que el peso de los argumentos expuestos por todos en el debate sea el criterio decisorio. Es muy usual en este tipo de situaciones que los estudiantes aporten ideas y soluciones que escapen a priori de la órbita de las ideas de los profesores. El profesor entonces debe poder asumir la incertidumbre que implica este tipo de proyectos y poder transmitirle a sus estudiantes confianza sin abandonar la incertidumbre inherente al proyecto.

6.6 Estructura organizacional

La organización de la mayoría de las formaciones presenciales responden a un esquema conocido por todos y que data de hace muchos años: En general se trata de profesor y sus alumnos en el marco de una materia dada que trabajan en un aula durante un corto período de tiempo (por ejemplo 80 min). Esto se repite una o dos veces más por semana. Esta estructura es replicada en las otras materias. La acumulación de estos compartimentos estancos constituye entonces una formación. Este esquema reina de alguna manera en la escuela primaria y se profundiza en los niveles secundarios y universitarios.

Este tipo de proyectos va al encuentro de la organización tradicional de materias en compartimentos estancos. Este tipo de propuestas llama naturalmente a participar a docentes de materias diferentes para abordar juntos la complejidad del proyecto.

No solo eso, la estructura temporal y física de 80 min en un aula es también cuestionada con estas actividades pues raros son los temas que pueden abordarse en ese período de tiempo y sentados de cara al pizarrón. Proponemos ahora unas primeras reflexiones sobre las posibilidades y dificultades de este tipo de propuestas

7. Primeras reflexiones

En este tipo de propuestas la referencia disciplinar como espacio de intercambio con los estudiantes pasa a un segundo plano, al menos en lo explícito. En el plano más visible, profesor y estudiantes se relacionan para la concreción del proyecto, en este caso, la construcción de un molino. En un segundo plano, menos visible pero no por ello menos importante, y en parte gracias a los cuestionamientos del profesor, emergen los saberes como herramientas que justifican racionalmente las acciones a emprender.

Podríamos decir que los saberes disciplinares pasan a ser herramientas para la acción racional. Así, de alguna manera ellos dejan de vivirse en los estudiantes como un objeto en primer plano para pasar a ocupar el lugar de herramienta que permite la concreción racional del proyecto. En otras palabras, el grupo se plantea concretar un proyecto (primer plano) y para ello, es necesario investigar y aprender conceptos (segundo plano).

Esto puede desestabilizar a profesores y estudiantes que suelen tener como primera referencia (primer plano) una disciplina. Para este tipo de propuestas es necesario reconsiderar esta referencia y entender que ello no implica un abandono del aprendizaje de saberes disciplinares sino un cambio de estrategia didáctica. Es por ello que llamamos a este tipo de proyectos como propuestas didácticas.

Este tipo de propuestas, por su naturaleza, convoca al trabajo colectivo. No solo entre estudiantes sino también entre profesores. Sabemos también que ello no es habitual en el sistema educativo y esto en todas sus instancias tanto sea en la formación inicial como continua e incluso en la investigación en didáctica.

Por otro lado, consideramos a las instituciones educativas como ecosistemas. Es decir, como un conjunto de relaciones explícitas e implícitas que explican los fenómenos que allí se producen, y esto más allá de cualquier tipo de apreciación que podamos hacer de ellas.

Esta idea de ecosistema nos parece tener varias consecuencias. Por un lado la de explicación. En efecto, pensar a una institución como un conjunto de relaciones ayuda a comprender fenómenos y sus interrelaciones y por ende su complejidad. Esto quiere decir entre otras cosas que no se puede cambiar una institución por el simple hecho de promulgar una reglamentación puesto que y como se ha demostrado en numerosas oportunidades, el ecosistema, de encontrarse en equilibrio, aislará la innovación propuesta e integrará a los actores a las prácticas ya compartidas por el ecosistema.

Otra consecuencia de la idea de ecosistema tiene que ver con la intención de intervenir en la institución para proponer cambios. Entendemos que si un cambio es posible él debe incluir la integralidad de la institución y no solo a un conjunto de docentes. Nos parece fundamental en toda tentativa de cambio abordar la problemática con los docentes, con los directivos y con el personal administrativo de la institución, al mismo tiempo que con los padres.

En otras palabras, entendemos que propuestas como la presentada aquí se consolidarán en las instituciones si por un lado, ellas se adaptan al ecosistema existente en cada institución y por el otro, si los actores del ecosistema se adaptan ellos también a la dinámica de las mismas. Caso contrario, ocurrirá, como suele verse que la propuesta se desarrolla por fuera de dinámica escolar como es el caso de muchos trabajos de feria de ciencias donde profesores y alumnos se reúnen en horarios fuera de clases para trabajar sobre proyectos que si bien convocan e integran saberes disciplinares, no encuentran un espacio institucional que los albergue.

Nos parece necesario entonces, y para que tales proyectos se integren a la institución, que los mismo permitan una institucionalización de los saberes en juego, pues de alguna manera ellos siguen siendo la referencia principal en docentes y alumnos.

En fin, esperamos con otros trabajos en curso que estamos desarrollando, esta vez en el marco de proyectos de investigación, poder profundizar aún más sobre las condiciones bajo las cuales este tipos de propuestas pueden insertarse en las instituciones educativas. A continuación, algunas fotografías ilustrativas del trabajo al momento del montaje en el puesto de la Sra. Yolanda.

Figura 3. Izado del molino

Pablo Fabián Carranza

Doctor en didáctica de la matemática. Université Paris 7 Denis Diderot. Francia.

Profesor regular Universidad Nacional de Río Negro

Director de proyectos de Investigación

Director de tesis doctorales y postdoctorales

Profesor de Estadística y Matemática en la Universidad Nacional de Río Negro

Se autoriza por la presente a la publicación y difusión del contenido de este documento

Pablo Fabián Carranza

18638235

Cel 0299 4215859

pfcarranza@gmail.com