

Interdisciplinariedad

Un aspecto clave en la formación actual del ingeniero

Liliana Milevicich¹, Alejandro Lois¹

¹ Universidad Tecnológica Nacional, General Pacheco, Argentina, {lmilevicich, alois}@frgp.utn.edu.ar

Resumen

El paradigma disciplinario, heredado del período de la ciencia clásica fue instituido en el siglo XIX, particularmente con la formación de las universidades modernas. Así, el conocimiento científico fue concebido durante mucho tiempo, y aún lo es a menudo en la enseñanza superior, como teniendo por misión la de disipar la aparente complejidad de los fenómenos, a fin de poner de manifiesto la simplicidad que los caracteriza.

La interdisciplinariedad nace de constatar que la aproximación al mundo a través de una disciplina particular era sesgada y generalmente demasiado limitada; abre la posibilidad de compartir problemas, de abordarlos desde ópticas diferentes y de la formación de nuevas disciplinas.

La competencia de resolver problemas con capacidad de análisis y síntesis, tal como lo expresan los estándares para la acreditación de las carreras de Ingeniería, sigue siendo uno de los problemas con mayor arraigo en la educación superior.

Transitar el camino académico hacia una forma integrada de abordar el conocimiento científico, induce a tomar distancia de la preconcepciones de la vida cotidiana y a construir un espacio conceptual que brinda otro modelo del mundo. Un modelo que tenga en cuenta los procesos sociales e históricos.

Palabras clave: Interdisciplinariedad – Formación del ingeniero – Constructivismo social – Competencias

Abstract

The disciplinary paradigm inherited from the period of classical science was established in the nineteenth century, particularly with the formation of modern universities. Thus, scientific knowledge was conceived for a long time, and still is often in higher education, as having the mission to dispel the apparent complexity

of phenomena, in order to highlight the simplicity that characterizes them.

The interdisciplinary was born in order to note that the approach to the world through a particular discipline was biased and generally too limited; opens the possibility of sharing problems, address them from different perspectives and the formation of new disciplines.

The competence to solve problems with analysis and synthesis capacity, as expressed in the standards for the accreditation of the Engineering careers, remains as one of the most deeply rooted problems in higher education.

To walk the academic path towards an integrated way to address scientific knowledge leads to take away from the preconceptions of everyday life and build a conceptual space to provide another model of the world. A model that takes into account the social and historical processes.

Keywords: Interdisciplinary - Engineering Education - Social Constructivism - Skills

1. Introducción

1.1 El origen del conocimiento científico

El análisis sobre la evolución del conocimiento humano nos lleva a iniciar este trabajo con una breve introducción sobre la denominada etapa pre-disciplinar, caracterizada por el saber mítico.

El mito es la forma del saber que más ha perdurado en la humanidad, pues se cree que su antigüedad es de trescientos mil años y aún hoy continúa su vigencia en muchos grupos humanos. Es, por cierto, la primera forma de saber formulada por el hombre sin establecer diferencias entre religión, filosofía o ciencia.

Es posible que hayan sido los griegos quienes separaron el mito de otro tipo de saber, lo cual equivaldría a decir que los griegos cultivaron un saber, un saber analítico que presagiaba el saber científico a

la manera de occidente. Sustentado por esta interpretación, podemos afirmar que a escuela griega es el origen de la ciencia actual.

Otro momento relevante que precede el advenimiento de la ciencia moderna, iniciada en el siglo XVII, es el saber medieval. Antes del año 1500, en Europa y en la mayoría de las civilizaciones, prevalecía una visión orgánica del mundo [1].

Por cierto, la naturaleza de la ciencia medieval era muy diferente a la de la ciencia actual. La meta de la ciencia en el Medioevo era comprender el significado y la importancia de las cosas, no predecirlas o controlarlas.

A partir del siglo XVII se consolida paso a paso la visión del saber que perdura aún hoy, y que se conoce como "El Paradigma Clásico de la Ciencia". Dicho paradigma surge progresivamente a partir del pensamiento de tres personajes: René Descartes, en lo que se refiere a las bases filosóficas; Francis Bacon en lo concerniente al método, e, Isaac Newton, en cuanto a la realización y perfeccionamiento de tal paradigma.

Si bien la obra de Newton es la que solidifica las bases del paradigma disciplinar clásico, el aporte de Bacon merece una observación particular. Es el propulsor de la reforma metodológica que produjo el paradigma clásico [1].

Su obra de filosofía de la ciencia, *Novum Organum*, en oposición a la que había permanecido vigente, escrito por Aristóteles, propone como método de la ciencia la inducción en vez de la deducción. Como empirista que fue, pensaba que solamente a través de la observación se lograba comprender la naturaleza.

1.2 Disciplinario - Interdisciplinario

Texto El paradigma disciplinario, heredado del período de la ciencia clásica, tiene características claras, a saber: el análisis, la disyunción, el reduccionismo, y la objetividad entre otras.

El *análisis* o estudio de las partes de un todo, ha conducido las ciencias a una división indefinida, hasta el punto que hoy es difícil hacer el recuento completo de las mismas [2]. Este proceso ha contribuido a delimitar y simplificar cada vez más el objeto de estudio.

La *disyunción* es otro de los instrumentos del paradigma disciplinar. Algo es verdadero o falso, de manera excluyente, y sin que exista una tercera opción.

El mismo Newton resultó víctima de este principio. En la discusión sobre si la luz era onda o corpúsculo, Christian Huygens había propuesto desde 1690 su teoría según la cual la luz se trasmite en ondas que se propagan a partir de la fuente luminosa. En 1704 Newton rechazó la teoría ondulatoria propuesta por Huygens y propuso su teoría según la cual la luz estaba compuesta por innumerables partículas que se movían

por el espacio. Newton se basó, para rechazar la teoría de Huygens, en que una de las dos teorías debería ser falsa; pues estaba persuadido, por excelentes demostraciones, de la verdad de su teoría. Así pues el error de Newton no consistió en afirmar que la luz se compone de partículas, sino en no admitir la otra posibilidad propuesta por su contendor, la cual, posteriormente, se demostró que también era verdadera.

La *objetividad* permitió sostener que los procesos científicos son independientes de todo sujeto, éstos se comportan como la película de una cámara fotográfica. Los datos científicos serían el reflejo fiel de la realidad sin ninguna mediación del sujeto cognoscente, el cual no aporta nada al conocimiento.

El *reduccionismo* es otra característica del paradigma disciplinar clásico a partir del cual existe un solo punto de vista para la ciencia. Física, Química, Biología, Psicología, Astronomía, Antropología, Sociología, etc. se basan en las mismas suposiciones y sus resultados son compatibles e incluso intercambiables entre sí.

Fouréz lo describe del siguiente modo:

“...se basa en la idea de que el mundo objetivo es fundamentalmente espacio, tiempo y partículas materiales, nada más. El estudio de cómo éstas partículas se comportan es la Física, y cómo se combinan para formar partículas más grandes, es, en términos sencillos la Química. El estudio de cómo estas partículas más grandes se combinan para transformarse en partículas vivientes es la Biología y el estudio de cómo esas partículas vivientes se vuelven más complejas, de manera que empiezan a sentir, es la Fisiología y la Neurofisiología. El estudio acerca del modo en que estas aún más complejas partículas se comportan, reflejando lo que nosotros llamamos inteligencia, es la Psicología. Mi descripción ha partido desde la Física, desde las pequeñas partículas hasta las grandes partículas, hasta las cosas vivientes, inteligentes” [3].

La organización disciplinar fue instituida en el siglo XIX, particularmente con la formación de las universidades modernas, luego se desarrolló en el siglo XX con el impulso de la investigación científica. Como parte de este proceso es posible analizar la evolución de una disciplina desde su nacimiento, institucionalización, evolución y dispersión.

Dice Morin que no es suficiente encontrarse en el interior de una disciplina para conocer todos los problemas referentes a ella misma. La frontera disciplinaria, su lenguaje y los conceptos propios van a

aislar a la disciplina de otras y de los problemas que involucran a otras, a los que habitualmente llamamos interdisciplinarios [4].

Así, el conocimiento científico fue concebido durante mucho tiempo, y aún lo es a menudo en la enseñanza superior, como teniendo por misión la de disipar la aparente complejidad de los fenómenos, a fin de revelar el orden simple al que obedecen.

Cabe observar que con el triunfo de la mecánica de Newton, en los siglos XVIII y XIX, la Física asumió visos de ciencia exacta con la que se habían de cotejar todas las demás ciencias. Cuanto más un científico, tanto de las ciencias naturales como sociales, llegase a la imitación de la Física tanta más categoría ganaría su ciencia ante la comunidad científica.

La interdisciplinariedad nace de constatar que la aproximación al mundo a través de una disciplina particular era sesgada y generalmente demasiado limitada. Para estudiar una determinada cuestión de la vida cotidiana son precisas múltiples aproximaciones y a eso se refiere el concepto de interdisciplinariedad.

Parafraseando a Morin, decimos que la interdisciplinariedad puede pensarse en términos de intercambio y cooperación, lo cual hace que ella resulte algo orgánico [4]. La necesidad del pensamiento interdisciplinario se impone progresivamente a lo largo de un camino en el cual aparecerán, ante todo, los límites, las insuficiencias y las carencias del pensamiento simplista, condiciones asociadas a lo disciplinar.

La historia de la ciencia no es solamente la historia de la constitución y de la proliferación de las disciplinas, sino también aquella de la ruptura de las fronteras disciplinarias, de la posibilidad de compartir problemas abordarlos desde ópticas diferentes, de la circulación de conceptos, de la formación de disciplinas híbridas que van a terminar por atomizarse.

2. Desarrollo

2.1 El problema de la actualización de la enseñanza universitaria

La política de la enseñanza científica actual se justifica a menudo con el nombre de una “formación adecuada para los alumnos”[5]. Esta política no está basada solamente sobre consideraciones educativas, sino también sobre ideas anteriores. Las disciplinas científicas han servido de base para la definición de ciertas carreras científicas y ha definido una identidad que es adquirida por los estudiantes en el curso del desarrollo de su carrera.

El malestar vinculado a la enseñanza disciplinaria está bastante arraigado. A principio de los años setenta, con la puesta en marcha en Francia de la reforma Haby y

posteriormente en Bélgica, hubo tentativas, sin éxito, de aproximaciones interdisciplinarias. El fracaso, según los responsables de estos proyectos, se debió a la escasa o nula formación de los docentes para este tipo de trabajo [5].

En consonancia con la opinión de expertos en Didáctica de las Ciencias, uno de los problemas claves ha sido la manera en que se han reformado los contenidos de los cursos de ciencias. Éstos han sido a menudo modificados (más bien se han cambiado los capítulos de lugar)⁴, pero la estructura de base de los cursos de matemática, física y química data del siglo XIX. Se siguen manteniendo a través de los años las divisiones en temas o sub-disciplinas: la Física mantiene sus capítulos de óptica, electricidad, cinemática, etc.; la matemática mantiene sus divisiones en cálculo numérico, álgebra, ecuaciones diferenciales, etc. [6], [7], [8], [9] y [10].

Por tanto, uno de los desafíos más difíciles de la educación actual es el de modificar el pensamiento de los educadores para abordar la complejidad creciente, la rapidez de los cambios y lo imprevisible. Es necesaria una reforma en la forma de adquirir el conocimiento como producto de un proceso ultra complejo y, por consiguiente, una reforma educativa de carácter amplio.

La universidad, institución fuertemente clásica y tradicional de más de nueve siglos de existencia, se enfrenta actualmente a los requerimientos de una actualización dinámica y permanente frente a los cambios vertiginosos planteados por la globalización, la diversidad cultural y las tecnologías de la información y la comunicación [11].

Morin promueve una continua revisión epistémica de los contextos del conocimiento científico, en 3 aspectos: descubrimiento (epistemológico), validación (metodológico) y aplicación (tecnológico) [9].

La necesidad de nuevas maneras de pensar e investigar se pone de manifiesto en la evaluación de la calidad de las instituciones educativas.

Así, los procesos de acreditación de las carreras de Ingeniería en la mayoría de las universidades latinoamericanas, evidencian un conjunto de falencias que en mayor o menor grado obstaculizan tales procesos. Este conjunto se puede explicitar resumidamente del siguiente modo:

- escasa compatibilidad entre los programas académicos y la propia especialidad,
- escasa interdisciplinariedad entre las materias del ciclo básico y el ciclo superior de la carrera, internas de cada ciclo y entre ciclos,
- insuficientes oportunidades de formación pedagógica para los docentes,

⁴ El texto entre paréntesis es nuestro.

- débil coordinación entre las instituciones de educación superior que ofertan carreras de ingeniería y los organismos públicos y privados vinculados a actividades de educación,
- mínima presencia de programas de investigación sobre la problemática específica de cada carrera,
- insuficientes recursos económicos destinados a la investigación,
- escasez de proyectos que faciliten la obtención de fondos extra-universitarios para investigación,
- insuficiente disponibilidad de recursos para la organización de eventos destinados al intercambio de experiencias, discusión y análisis de resultados de investigaciones realizadas,
- débil coordinación entre las instituciones de educación superior que ofertan carreras de ingeniería y los organismos públicos y privados vinculados a actividades de investigación,
- escasa vinculación con medio,
- limitada formación y experiencia de docentes y estudiantes en aspectos metodológicos del trabajo específico de la especialidad.

Los estándares en Argentina, promueven la aplicación de un Programa de Acreditación a favor de un conjunto de aptitudes que caractericen al graduado de ingeniería. Entre ellas se enuncia: “Aplicar sus conocimientos de matemáticas, ciencias básicas y ciencias de la ingeniería para resolver problemas de la ingeniería con capacidad de análisis y síntesis” [12, p. 235].

Más aún, específicamente en el Ciclo de las Ciencias Básicas se explicita que: “El objetivo de los estudios en matemática es contribuir a la formación del pensamiento lógico-deductivo del estudiante, proporcionar una herramienta heurística y un lenguaje que permita modelar los fenómenos de la naturaleza. Estos estudios estarán orientados al énfasis de los conceptos y principios matemáticos más que a los aspectos operativos” ([12, p. 256].

Para lograr tales propósitos, el ciclo de las Ciencias Básicas tiene asignado un total de 750 horas de las cuales el 53 % están destinadas a Matemática, tal como se puede apreciar en la tabla 1 [13].

DISCIPLINAS	HORAS	Porcentaje
Matemática	400	53%
Física	225	30%
Química	50	7%
Sistemas de Representación y Fundamentos de Informática	75	10%
TOTAL	750	100%

Sin embargo, a juzgar por los resultados luego de 10 años de implementación, la escasa interdisciplinariedad entre las materias del Ciclo Básico y entre los Ciclos Básico y Superior de la carrera, sigue siendo uno de los problemas con mayor arraigo en la educación superior y sin vías de solución.

2.2 La interdisciplinariedad como intento de solución a las dificultades de la disciplinariedad

Como respuesta al paradigma disciplinar, cada vez más, se reconoce que para estudiar una determinada cuestión de la vida cotidiana son precisas múltiples aproximaciones.

En ese sentido, la interdisciplinariedad busca aplicar los métodos de una disciplina a otra y en algunos casos generar una nueva disciplina [14] y [15]. Tal es el caso de la Física-Matemática, generada a partir de la transferencia de los modelos matemáticos a la Física.

En ambos casos, construir una nueva representación del problema de manera interdisciplinar puede resultar más adecuado, independientemente de todo criterio particular. Se espera que se asocien, por ejemplo, la biología, la sociología, la sicología, etc., con lo cual se podría obtener una ciencia de la salud más adecuada, objetiva y universal, porque examinará muchos más aspectos del problema y libre de los sesgos de cada una de las aproximaciones particulares.

Sin embargo, advierte Fouréz, que semejante aproximación interdisciplinaria no hace más que producir un nuevo acercamiento particular, pues el objetivo no es crear una nueva disciplina científica, ni un discurso universal, sino recobrar un problema concreto desde una visión compartida [5].

Es posible conjeturar, tal como lo sostiene Bishop, que las ciencias han llegado al límite de su capacidad de articular una comprensión de la complejidad en los lenguajes formales que cultivan, y que se debiera pensar en una forma integrada de abordar el conocimiento científico. Una educación con espíritu interdisciplinario, lo será también en sus estructuras, en

Tabla 1. Ciclo de Ciencias Básicas, distribución de horas por disciplina.

su organización, en las dimensiones de su gestión y en la administración [16].

La estructuración del diseño curricular es una muestra clara de la ausencia de integración. Dice Peñalver que:

“la estructuración del diseño curricular, en los momentos en que ello ha sido posible, se ha convertido en un escandaloso pugilato definido por dos golpes básicos: un fuerte derecho porcentual, que se distribuye en las distintas áreas de conocimiento, y una izquierda con rango de importancia, porque se define que área es más importante que otra” ([17], p. 2)

2.3 Una aproximación socio constructivista al conocimiento

La epistemología estudia nuestra manera de conocer. Se podría proponer una larga lista de temas que esta disciplina estudia, entre ellos nos interesa la manera en que el saber está dividido en disciplinas y las diferentes aproximaciones interdisciplinarias.

Las prácticas llamadas interdisciplinarias o interdisciplinares utilizan resultados de diversas disciplinas para comprender un fenómeno complejo. Desde esta perspectiva, el objetivo de la interdisciplinariedad es la construcción de un saber adecuado para una situación utilizando las diferentes disciplinas y los conocimientos que puedan aportar.

A modo de ejemplo, el análisis sobre el aumento de número de accidentes de tránsito en rutas constituye un problema que involucra a varias disciplinas. Los datos de los accidentes son un importante punto de partida para reducir el número de accidentes, ya que ellos permiten llevar a la práctica programas de control, educación, mantenimiento, inspecciones vehiculares, servicios de emergencia y mejoras de la red, tanto urbana como rural.

El uso de programas computacionales permitirá obtener tabulaciones a partir de listados periódicos de accidentes por localización, de lugares con alto número de accidentes, de resúmenes de accidentes por distintos tipos de situaciones, días de la semana, hora del día, etc.; que permitirán estudiar la situación existente.

Más aún, un equipo de expertos deberá realizar observaciones del terreno y dar respuesta a preguntas tales como:

- ¿Son los accidentes causados por condiciones físicas del lugar?. ¿Pueden estas condiciones corregirse o eliminarse?
- ¿La falta de visibilidad es la causa de los accidentes?, ¿Puede mejorarse?. ¿Puede

informarse del peligro a los conductores si la causa no puede eliminarse?

- La señalización, las marcas y semáforos ¿están cumpliendo el rol que corresponde?. ¿Alguno de ellos puede, de alguna manera estar contribuyendo a producir un accidente en vez de prevenirlo?
- ¿Pueden prevenirse los accidentes prohibiendo algún movimiento vehicular? Un giro a la izquierda de poca magnitud, ¿por ejemplo?
- El número de accidentes nocturnos ¿tiene una proporción distinta a la diurna en relación con el volumen vehicular?
- ¿Muestran las condiciones que falta alguna disposición especial o un mayor control policial?
- ¿Los estacionamientos contribuyen a los accidentes?
- ¿Existe una adecuada señalización previa al lugar en consideración?
- ¿Se aprecia una demora que puede impacientar a los conductores?

Los resultados de estos análisis acoplados al trabajo de otros especialistas pueden generar un conjunto de medidas correctivas

Parfraseando a Fouréz, cada uno ve el mundo a su manera. De esta afirmación se desprenden, a nuestro juicio, dos observaciones fundamentales:

- Reconocer la diversidad de puntos de vista no implica nivelarlos, ni suponer que sean equivalentes.
- Cada perspectiva es individual, incompleta y parcial [3].

Desde una posición constructivista podemos afirmar que los conocimientos están hechos por y para los humanos. Más aún, el socio constructivismo, por su parte, desde una visión histórica y social, analiza cómo, bajo la presión de factores económicos, sociales, políticos y culturales, las sociedades se desarrollan y evolucionan. El conocimiento estandarizado de una disciplina es una respuesta colectiva a las preguntas y problemas propios de una época.

Es importante observar la existencia de dos posturas epistemológicas bien diferenciadas que conducen hacia actitudes pedagógicas bien diferentes y que están ligadas a representaciones más bien opuestas de la enseñanza de las ciencias.

Por una parte, los docentes que creen que enseñan la verdad, frente a quienes los alumnos tienen la impresión de encontrarse con una enseñanza que busca convencerlos. Ellos tratan de comprender estas verdades y finalmente, creerán en ellas. En muy pocos casos se preguntarán en que contextos una ley o propiedad es aplicable. Desde esta óptica el objeto de

enseñanza será la verdad científica y el propósito, hacérsela conocer a los alumnos.

Por la otra, los docentes que aceptan la existencia de representaciones múltiples del conocimiento científico. A partir de la puesta a prueba de nuevos modelos, sus alumnos aprenderán oportunamente a utilizar el más adecuado.

Se parte de la idea de que quienes aprenden, en primer lugar miran el mundo a través de ideas preconcebidas, representaciones, modelos científicos, pre científicos, mitos. Lejos de provenir de experiencias realizadas, dependen de las ideas aceptadas en el punto de partida. En segundo lugar, trabajan con modelos hechos, los comprueban, pueden ver hasta qué punto eso funciona, utilizando los conceptos que van unidos a ellos.

En ese sentido, el trabajo en ciencias resulta una práctica que sustituye constantemente las representaciones que tenían del mundo. Dice Fouréz que: se empieza a hacer ciencia desde el momento en que dejamos de aceptar la visión espontánea, relacionada con la vida cotidiana y condicionada por la cultura ([18], p. 48). Cabe observar, que en la medida en que. Por ejemplo, todas las personas perciben el calor irradiado y la luz visible como fenómenos naturales distintos, sin embargo, al estudiar ondas electromagnéticas, se aprende que esto no es así, que en realidad son manifestaciones distintas de un mismo fenómeno físico. Sólo difieren en la longitud de onda.

Los modelos teóricos aparecen como interpretaciones que organizan nuestra percepción del mundo. Lo que acabamos de exponer lleva a plantearse nuevas preguntas: ¿sería posible tener otras representaciones equivalentes o igualmente “buenas”?, ¿existen reglas universales?, ¿cuáles son buenas representaciones?, el consenso en torno a una teoría ¿obedece a reglas rígidas o flexibles?.

En definitiva, toda representación va unida a convenciones. Los análisis que hemos desarrollado van en la línea de la ausencia de criterio absoluto para decir cómo hay que representar las cosas. En todo caso, los criterios podrían ser relativos al contexto.

En definitiva, los modelos teóricos tratan de organizar el mundo, de que se ajusten a nuestro razonamiento. En ese sentido, el descubrimiento de nuevos modelos teóricos consiste en inventar una manera nueva de ver las cosas, más adecuada, más fecunda.

A modo de ejemplo: “La revolución copernicana fue una revolución en el campo de las ideas, una transformación del concepto del universo que tenía en hombre hasta ese momento y de su propia relación con el mismo...” ([19], p. 23.). Copérnico, en 1543, propuso simplificar la teoría astronómica vigente hasta ese momento, transfiriéndole al Sol funciones que se le atribuían a la Tierra. De este modo revolucionó la astronomía. No sólo dio origen a innovaciones en otras

ciencias sino que también generó debate en otros ámbitos: la religión, la filosofía y lo social.

2.4 Una aproximación interdisciplinaria al conocimiento

En la educación superior, surge el cuestionamiento sobre *cómo promover las formas integradas de investigación y la transferencia de métodos entre disciplinas que permita enlazar tres aspectos claves del conocimiento, tal como lo propone Souza Da Silva:*

- *El sistema de conocimiento* (relacionado con los procesos empíricos que han hecho aflorar los presentes problemas y que pueden también influir en el desarrollo de un problema futuro).
- *El objetivo del conocimiento* (se refiere a los valores y normas que son aceptables como bases para determinar los objetivos propios del proceso de resolución de problemas).
- *El conocimiento de transformación* (hace referencia al hecho de si la situación de un determinado problema puede ser transformada o mejorada y a los caminos o estrategias para lograrlo) [20].

Creemos que una aproximación interdisciplinaria permite construir una representación del problema mucho más adecuada e independiente de todo criterio particular, crea la necesidad de trabajar sobre un proyecto compartido y se valoriza y fomenta: la investigación del entorno, el trabajo cooperativo, el conocimiento integrado, la interacción continua entre el que enseña y el que aprende, el uso de diversas fuentes y entornos de aprendizaje, la creatividad.

El siguiente ejemplo nos proporciona una aproximación interdisciplinaria a la resolución de un problema.

En primer lugar se describe el contexto (se esquematiza en la figura 1)

La captación de agua de lluvia es un medio fácil de obtener agua para consumo humano y/o uso agrícola. En muchos lugares del mundo con alta o media precipitación y en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para consumo humano, se recurre al agua de lluvia como fuente de abastecimiento. El agua de lluvia es interceptada, colectada y almacenada en depósitos para su posterior uso.

En la captación del agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos).

Este sistema tiene como principales ventajas:

- *Alta calidad físico química del agua de lluvia.*

- Sistema independiente y por lo tanto ideal para comunidades dispersas y alejadas.
- Empleo de mano de obra y/o materiales locales.
- No requiere energía para la operación del sistema.
- Fácil de mantener.
- Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia.

Pero al mismo tiempo hay algunos factores que juegan en contra y pesan a la hora de decidir acerca del sistema utilizar:

- Alto costo inicial que puede impedir su implementación por parte de las familias de bajos recursos económicos.
- La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.

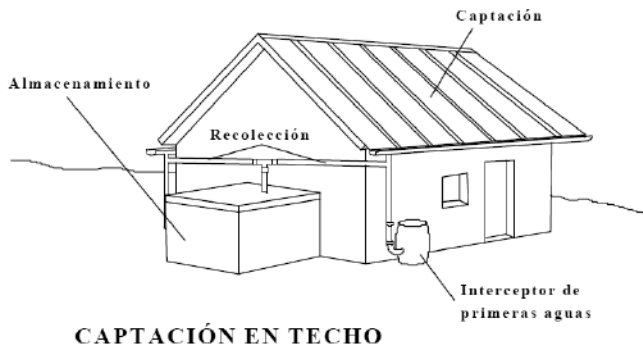


Figura 1. Esquema modelo SCAPT. [21]

Luego, se presenta el problema

Se tiene una pieza de acero galvanizado de “w” pulgadas de ancho se debe doblar en forma simétrica de tal manera que queden 3 lados rectos y se forme un canalón/canaleta que desaloje el agua de lluvia.

- ¿Cuáles son las dimensiones que permiten el flujo máximo posible?.
- ¿Sería mejor curvar la pieza de tal modo que quede una sección transversal semicircular?

La modelización de la situación es clave para poder dar respuesta al problema. Dado que en este caso no se dispone de un modelo experimental, habrá que trabajar sobre las condiciones del problema para obtenerlo. La figura 2 reproduce un corte transversal de la pieza de acero doblada de manera simétrica, con lo cual el problema se reduce a maximizar el área del corte. Como se puede observar, las dimensiones de la misma van a depender del ángulo y de la longitud del doblé.

Se trata entonces de una función de dos variables, que denominamos A, cuyo modelo se puede obtener luego

de algunos desarrollos algebraicos que no se reproducen por cuestiones de espacio:

Nuevamente, mediante la utilización de un sistema computacional, se puede observar que la función tiene un máximo, con lo cual cobra sentido la búsqueda del mismo (gráfico 1).



Figura 2. Corte transversal de la pieza de acero doblada de manera simétrica.

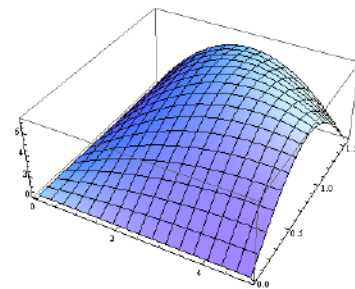


Gráfico 1. Representación de la función $A(x, \theta) = x \text{ sen}(\theta) ((w - 2x) + x \text{ cos}(\theta))$

Los pasos siguientes (no se reproducen por razones de espacio) consisten en explorar sobre el máximo local mediante un software computacional, calcular los puntos críticos de la función y analizarlos según el criterio de la segunda derivada, para comprobar que se trata de un máximo; y finalmente calcularlo. Los valores obtenidos son $x = w/3$, $\theta = \pi/3$ y el máximo

$$A\left(\frac{w}{3}, \frac{\pi}{3}\right) = \frac{w^2}{4\sqrt{3}}$$

En cuanto a doblar la pieza de manera semicircular, podemos ver que la longitud $w = \pi r$, con lo cual $r = w/\pi$ (gráfico 2).

Por tanto: $A(w) = \pi \left(\frac{w}{\pi}\right)^2 = \frac{w^2}{\pi}$,

lo cual produce un área mayor pues: $\frac{w^2}{\pi} > \frac{w^2}{4\sqrt{3}}$.

Una conclusión importante es que el doblé semicircular permite mayor caudal de agua.



Gráfico 2. Esquema del doblé semicircular.

Este problema da lugar a un análisis interdisciplinario que incorpora:

- a) Factores técnicos y económicos de oferta y demanda de agua, tal como se ha mencionado al inicio del problema. Por ello, en el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia es recomendable trabajar con datos suministrados por la oficina meteorológica del país o de la región donde se pretende ejecutar el proyecto. Además, en cuanto a la demanda, la dotación de agua debe satisfacer las necesidades básicas elementales (los aspectos de higiene personal y lavado de alimentos y ropa, requieren al menos a 20 litros de agua por familia y por día).
- b) Factores sociales: entre los cuales se hace necesario analizar las ventajas y desventajas de la manera tradicional de abastecimiento de agua y de la tecnología propuesta en relación con la participación de la comunidad en el proyecto.

Del mismo modo, un análisis de los componentes referidos a captación, recolección, intercepción y almacenamiento, enlaza el problema con una posible investigación sobre los materiales más adecuados para cada fase del dispositivo.

- a) El área de captación está conformado por el techo de la edificación; el mismo debe tener la superficie y pendiente adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. La selección del material más adecuado debe contemplar bajo costo y adecuación al lugar.
- b) La recolección y conducción (modo de conducir el agua recolectada hacia los depósitos de almacenamiento) también requiere una investigación sobre el material más acorde para las canaletas.
- c) Intercepción (dispositivo de descarte de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentran en el momento del inicio de la lluvia). Su diseño debe contemplar el volumen de agua requerido para lavar el techo a partir de tamaños estandarizados.
- d) Almacenamiento (dispositivo destinado a almacenar el volumen de agua de lluvia para el consumo). Esta unidad debe cumplir con un conjunto de especificaciones:
 - Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración,
 - De no más de 2 metros de altura para minimizar las sobre presiones,
 - Dotado de tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar,
 - Disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande como para que permita el ingreso de

una persona para la limpieza y reparaciones necesarias,

- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje. Esto último para los casos de limpieza o reparación del tanque de almacenamiento. En el caso de tanques enterrados, deberán ser dotados de bombas de mano.

El problema propuesto si bien se inserta en el ciclo de materias básicas, involucra temas de Biología, Economía, Estadística e Informática. En este último caso como sustento gráfico, numérico y algebraico de los desarrollos que conducen a la solución.

Sin embargo se trata de un problema que es propio de la Ingeniería Ambiental o más bien, de Ingeniería en Tecnología Ambiental dada la necesidad de abordaje de forma integrada, teniendo en cuenta sus implicancias ecológicas, sociales, económicas y tecnológicas.

Más allá del problema puntual aquí planteado, es deseable que los alumnos profundicen sobre las problemáticas globalmente. Por ejemplo, podrían investigar sobre el impacto económico, social y geográfico de la aplicación del sistema SCAPT

3. Reflexiones y conclusiones

Retomando nuestro objetivo inicial, la interdisciplinaria puede pensarse en términos de intercambio y cooperación, lo cual se contrapone a las características del paradigma disciplinar: reducción, objetividad, disyunción.

En este nuevo contexto se debe contribuir a la comprensión de los saberes mediante el trabajo interdisciplinario y para ello resulta necesario:

- Facilitar el desarrollo de estrategias para el abordaje y resolución de problemas complejos a través de la aproximación a situaciones concretas, que representen un desafío para los estudiantes.
- Promover la toma de decisiones personales fundamentadas sobre temas de la vida cotidiana, brindando las oportunidades necesarias para desarrollar la capacidad de hacer elecciones, negociarlas y justificarlas.
- Estimular el desarrollo de las habilidades comunicativas en las relaciones interpersonales a través de instancias de trabajo cooperativo y solidario que favorezcan la iniciativa personal y los intercambios, para que los estudiantes

participen con confianza en debates acerca de distintas problemáticas.

- Favorecer el desarrollo de un pensamiento humanista y científico que permita a los estudiantes adaptarse a los cambios de contexto y abordar problemas de interés desde la óptica de varias disciplinas, asumiendo actitudes críticas y responsables ante las políticas sociales, científicas y tecnológicas que los afecten.

Se hace necesario transmitir una visión constructivista de la ciencia y sus vinculaciones con lo social. Para los alumnos universitarios puede suponer un acercamiento a una visión abierta de la ciencia, y los procesos sociales que la condicionan.

Los docentes e investigadores en escuelas de ingeniería debieran considerar la ciencia como una construcción social e histórica, comenzando por plantearse la pregunta: ¿qué tipo de verdad ofrece la ciencia?, y organizar su actividad a partir la respuesta. A partir de la puesta a prueba de nuevos modelos, los alumnos aprenderán a utilizar el más adecuado oportunamente. Esto implica, a nuestro juicio, la adquisición de una competencia muy valiosa, la valoración crítica de la situación.

Sin embargo, para llevar a cabo cambios profundos y duraderos, la propuesta de trabajo interdisciplinario no puede estacionarse en los ámbitos exclusivamente académicos. Sería deseable penetrar dentro de las estructuras de la Educación Superior y modificar los currículos.

Creemos que debiera tomarse en consideración el aporte que puede brindar la Didáctica de las Ciencias en cuanto a la formación de alumnos en los cursos de ciencias. A nuestro juicio, sería beneficioso comenzar por dos de las propuestas básicas: proporcionar claves para responder a cuestiones científicas y técnicas y desarrollar actitudes y métodos de pensamiento que se parezcan a aquellos que los científicos ponen en práctica en sus investigaciones.

Referencias

- [1] Boyer, C., Historia de la Matemática. 2da edición, Madrid, Alianza, 1992.
- [2] Varela, F., Método científico y validación: Un puente para dos miradas, Dolmen, Santiago de Chile, (1997), pp. 26-27
- [3] Fourez, G., La construcción del conocimiento científico: sociología y ética de la ciencia. 2da edición, Madrid, Ediciones Plaza, 2000.
- [4] Morin, E., Introducción al pensamiento complejo, México, Mutidiversidad Mundo Real, 1986.
- [5] Fouréz, G., Alfabetización científica y tecnológica. Acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias. Buenos Aires, Ediciones Colihue, 2005.
- [6] Klimovsky, G., Las desventuras del conocimiento científico: Una introducción a la Epistemología, Buenos Aires, AZ Editora, 1994.
- [7] Bruner, J., La educación, puerta de la cultura, Madrid, Aprendizaje Visor, 1997.
- [8] Csikszentmihalyi, M., Creatividad. El flujo y la psicología del descubrimiento y la invención, Barcelona, Piados, 1998.
- [9] Morin, E., Sobre la interdisciplinariedad. México, Mutidiversidad Mundo Real, 1998.
- [10] Morin, E., Los siete saberes necesarios para la educación del futuro, UNESCO, 1999.
- [11] Capra, F. El punto crucial. Ciencia, sociedad y cultura naciente. Espulgas del Llo-Bregat, Integral, 1987.
- [12] CONFEDI, Manual de acreditación para carreras de Ingeniería en la República Argentina, Buenos Aires, Consejo Federal de decanos de Ingeniería, 2000.
- [13] CONEAU, Taller sobre acreditación de carreras de grado en el área de Ingeniería, (1998). [Consulta: 2 marzo 2011]. Disponible en la Web: http://www.coneau.edu.ar/talleres_y_semina/seminari.htm
- [14] Basarab, N., A New Vision of the World : Transdisciplinarity, New York, USA, State University of New York Press, 2002.
- [15] Carrizo, L., Espina Prieto, M., Transdisciplinariedad y Complejidad en el Análisis Social (el Programa MOST), Documento de debate N° 70, UNESCO, (2001).
- [16] Bishop, A., Enculturación matemática. La educación matemática desde una perspectiva cultural. Barcelona, Piados, 1999.
- [17] Peñalver, L., Transdisciplina y pensamiento complejo en la educación básica. Revista Iberoamericana de Educación, (1998). [consulta: 5 noviembre 2011]. Disponible en la Web: www.rieoei.org/deloslectores/688Penalver.PDF
- [18] Fourez, G., Saber sobre nuestros saberes. Un léxico epistemológico para la enseñanza, Buenos Aires, Ediciones COLIHUE, 2006.
- [19] Kuhn, T., La revolución copernicana, Barcelona, Ariel, 1996.
- [20] Souza da Silva, S., Interdisciplinariedad, docencia universitaria y formación, San Paulo, Brasil, Universidad Federal de Sao Paulo, 2008.

- [21] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, (2010).

Dirección de Contacto del Autor/es:

Liliana Milevicich
Hipólito Irigoyen 288
General Pacheco. (1617). Buenos Aires
Argentina
e-mail: lmilevicich@frgp.utn.edu.ar

Alejandro Lois
Hipólito Irigoyen 288
General Pacheco. (1617). Buenos Aires
Argentina
e-mail: alois@frgp.utn.edu.ar

Liliana Milevicich Licenciada en Pedagogía de la Matemática. Magister en Enseñanza de las Ciencias. Universidad del Comahue. Profesora Titular en la Facultad Regional Gral. Pacheco de la Universidad Tecnológica Nacional

Alejandro Lois Ingeniero Electricista. Doctor en Ciencia y Tecnología. Profesor Titular en las cátedras de Análisis Matemático I y II en la Facultad Regional Gral. Pacheco de la Universidad Tecnológica Nacional
