



ESCUELA DE INGENIERÍA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

I3

Journal de
Investigación
de Pregrado

Nº3

INVESTIGACIÓN

INTERDISCIPLINA

INNOVACIÓN

I³

Journal de
Investigación
de Pregrado

Nº 3 | Abril 2013

Editora Jefe

Magdalena Walczak

Comité Honorario

Ángel Abusleme

Gloria Arancibia

Marcelo Arenas

Carlos Bonilla

Javier Castro

Juan Dixon

Rodrigo Escobar

Wendy Franco

Patricia Galilea

Claudio Gelmi

César Saez

Alfredo Serpell

Loreto Valenzuela

Jorge Vera

Julio Vergara

Equipo Editorial

Ana Monardes

Marco Echeverría

María Teresa Molina

Isabella Solari

René Gonzalo Sanhueza

Benjamín Lagos Berrios

Gonzalo Reyes

Coordinador Editorial

Vilma Morales

Editores Adjuntos

María José Cortés

Nicolás Luco

Diagramación y Diseño

Sofía Dreyse

Contenidos

- 02 Palabras del Director de Pregrado
- 03 ¿Sabías qué?
- 04 Palabras de la Editora
- 05 Selecciones de Ícaro
- 06 Oportunidades de Investigación
- 08 I³ Outlines
- 10 Ph.D. en la Empresa
- 13 ¿Qué ocurre con la Innovación en el Mundo?
- 15 Investigación en Pregrado
- 16 Investigación con Impacto Social
- 20 Investigación en sus Inicios
- 22 Investigación por Placer

INVESTIGACIÓN DE LOS ALUMNOS

- 26 Ocurrencia de elementos químicos de Tierras Raras en yacimientos tipo Óxido de Hierro-Cobre-Oro andinos
- 32 Implementación, aplicación y evaluación de la herramienta computacional XSEOS en el curso de Termodinámica
- 38 Incorporación de inulina en una matriz de almidón-gluten
- 44 Microbial Fuel Cells para el desarrollo de sistemas de biorremediación y biosensores de zonas contaminadas con arsénico
- 51 Observaciones astronómicas usando PUCHEROS, el primer espectrógrafo construido en Chile
- 56 Vinculación entre volcanismo y deformación tectónica en Los Andes del sur
- 62 Estudio acerca del logro de competencias y percepción de aprendizaje por parte de los alumnos. Experiencia de un curso de Físicoquímica
- 70 Efectos de factores de riesgo locales en la vida de los componentes
- 79 Mapocho Pedaleable: Modelos estadísticos y de transporte de sedimentos
- 88 Inferencia de redes cerebrales funcionales implicadas en la atención

INGENIERÍA PROPONE

- 94 Investigaciones estudiantiles al servicio de la comunidad

INVESTIGACIÓN DE LOS ALUMNOS

- 96 Cómo los establecimientos educacionales escogen a sus docentes
- 101 La motivación del alumno, el apoyo del docente y el temprano compromiso con la sociedad: tres pilares para impulsar el perfil del Ingeniero UC
- 106 Gran desafío de Ingeniería UC: formar líderes integrales



IPRE unleashed!

Tengo una mezcla de alegría y orgullo por ustedes, los alumnos de pregrado de esta Escuela, involucrados en investigación, que realmente me energizan.

Siempre he sentido que participar en investigación en el pregrado es una experiencia transformadora porque nos permite ser parte de algo que no está pasando en ninguna otra parte del mundo y en lo cual podemos poner nuestra marca. Al mismo tiempo, nos permite poner un sello único en nuestra formación que nos puede diferenciar del resto para siempre. La investigación puede transformar realidades (conocimiento, entendimiento, aplicaciones y funcionamientos, entre otras cosas.) y, la investigación en pregrado, puede transformar nuestras trayectorias.

El currículo de ingeniería no puede ser otra cosa que una gran bolsa de oportunidades en donde ustedes buscan y encuentran instancias para descubrirse y potenciar sus talentos. Entonces, la pregunta más relevante es: ¿hay otro ingrediente más perfecto en un currículo que IPRE?

Hoy estamos completando dos años desde que un grupo de ustedes comenzara todo y, con alegría, miro para atrás y veo que valió la pena haberles escuchado, apoyado y empujado. En este muy corto tiempo ya podemos mostrar cambios notables en cómo ustedes se involucran en el descubrimiento en la Escuela. En 2010, el número de alumnos haciendo experiencias de “trabajo personal dirigido” (TPD) fue de 44 y había permanecido estable en el tiempo. Ese número llegó a nada menos que 116 en 2012. Las experiencias de “investigación o proyecto” (IoP) subieron de 108, en el 2010, a 220, en el 2012. El 2012, además, tuvo por primera vez, 22 alumnos con pasantías de investigación: cuatro de ellos en empresas nacionales y 18 en el extranjero, financiados con becas CONICYT. En números globales, subimos de 190 experiencias de investigación en pregrado,

durante 2010, a 449, en 2012. Este despegue de oportunidades de investigación aprovechadas por alumnos me hace exclamar IPRE unleashed!

Quiero imaginar a IPRE como un virus, pero uno de los buenos, un virus que se multiplica y contagia fácilmente, un virus del que no hay cura, que se queda con ustedes definitivamente y que, hagan lo que hagan, en el futuro determine cómo observan y cómo exploran el mundo.

Si bien los resultados nos tienen contentos, no significa que creamos haber llegado a la meta. Nos queda una enormidad por crecer y mejorar. En el 2012 se incorporaron oportunidades de investigación interdisciplinarias en donde alumnos nuestros trabajaron con profesores de las Facultades de Educación, Matemáticas, Ciencias Económicas y Administrativas, Artes y Geografía. Pero aún nos quedan 12 facultades más en la UC y un sinfín de otras interacciones que hoy ni sospechamos.

Por eso les digo, alumnos, busquen las oportunidades de investigación que los atraigan, que los apasionen y que les permitan mirar su proceso de formación desde otra perspectiva. Profesores, sigan aprovechando esta energía y genuina búsqueda de los alumnos y nunca subestimen lo que nuestros alumnos pueden hacer porque IPRE está unleashed.

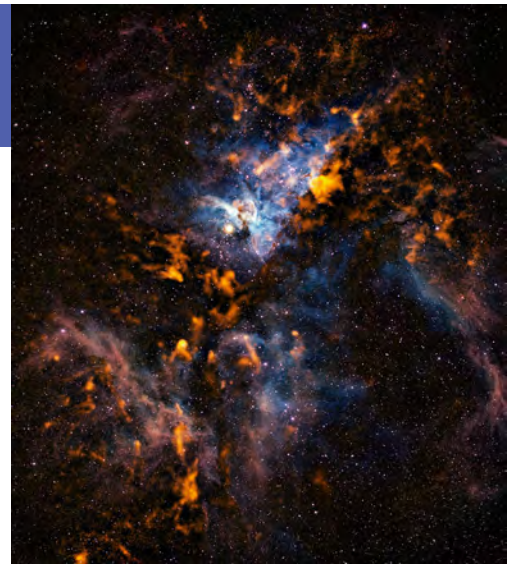
A handwritten signature in black ink that reads "Mauricio López". The signature is stylized and written in a cursive-like font.

Mauricio López
Director de Pregrado

¿Sabías qué?

Centro Astro-Ingeniería
Las aplicaciones de la
Astronomía no se quedan sólo
en el observatorio.

06



ESO/ARXIV, Preibisch et al. (Submillimeter), N. Smith, University of Minnesota/
NOAO/AURA/NSF (Optical)

20

iGEM

Un grupo de estudiantes de Ingeniería UC representó a Chile y Latinoamérica en un concurso de Biología Sintética en MIT.



Ingeniería Propone
Alumnos de Ingeniería Propone realizan investigación con contenido social de relevancia para el país y para la Escuela de Ingeniería, la universidad y el país.

94



79

Mapocho Pedaleable

Se realizó un estudio hidráulico del Mapocho para evaluar la posibilidad de crear una ciclovía a un costado del río.





El (des)agrado de investigar

Una de las características humanas es la capacidad de postergar el placer y, creo, es una de las condiciones que nos permiten innovar. De hecho, ¿por qué perder tiempo en una actividad desagradable si puedo pasarlo bien, ya, ahora? En nuestro mundo moderno, “innovar o no innovar” es un dilema similar al que tiene un niño de tres años al ofrecerle su dulce favorito diciendo que puede comerlo al tiro o esperar un rato y obtener un segundo dulce para comer cuando quiera. Un niño así, no tiene percepción de tiempo y, este rato, le parece una tortura infinita. Según psicólogos, los niños que aguantan la prueba y llegan al segundo dulce, tienen mejores predisposiciones para ser exitosos en su vida adulta. Paciencia, entonces, resistencia a la tentación en alcance y placer en un futuro indefinido. Tal vez no es exactamente lo que asociamos con los verbos innovar e investigar.

El efecto Eureka lo conocemos todos porque darse cuenta de algo que siempre estuvo frente de los ojos, da risa, por lo menos. Si la cosa es grande e implica resolver un grave problema, podemos llegar a Epifanía, un sentimiento de profunda realización y satisfacción, una revelación hasta divina. Steve Blank, un emprendedor de California que, posteriormente, desarrolló un software CRM (customer relationship management), quedó tan asombrado al descubrir que ésta era la solución perfecta para resolver los problemas de su cliente, que decidió fundar una empresa y llamarla E.piphany. La experiencia de Epifanía puede ser aún más intensa si el descubrimiento fue accidental, como fue el caso de PTFE. Su descubridor, Roy Plinkett, buscaba sintetizar un nuevo refrigerante pero, un día, se dio cuenta que el reactor estaba cubierto con una capa resbaladiza. Hoy día la conocemos como Teflon®, material con la menor energía de superficie que permi-

te freír huevos sin grasa. Serendipia - el descubrimiento por accidente - está detrás de varios productos a los cuales estamos acostumbrados: adhesivo instantáneo (la gotita), ropa de nylon, velcro, post-it y horno de microondas, entre otros. Hasta un dinosaurio fue nombrado según el modo de su descubrimiento, el Serendipaceratops. No cabe duda que las emociones de Eureka, Epifanía y Serendipia son fuertemente positivas. La pregunta es si, entrando al laboratorio, o empezando investigar para una innovación, ¿deberíamos esperarlas?

Les tengo malas noticias al respecto. Aunque son casos famosos los de descubrimientos accidentales, la gran mayoría del progreso tecnológico se lleva a cabo gracias a paciencia y perseverancia de individuos y de grupos. Pueden ser horas, semanas, meses y años en búsqueda de la solución. Incluir el momento de descubrimiento en una Carta Gantt, para que cuadre con el cierre del semestre o el cumpleaños de uno hace poco sentido. En este negocio no existen garantías ni devolución del tiempo perdido. Puede ser desilusionante, frustrante y estresante - todo contrario de lo que esperábamos. Sin embargo, la imposibilidad de predecir el momento de Eureka es lo que lo hace tan sorprendente y complaciente.

Les deseo un doble dulce a todos los investigadores.

Magdalena Walczak
Editora Jefe

Selecciones de Ícaro



BUTTER STICK

Este dispensador de mantequilla, que nos recuerda el pegamento en barra, fue inventado para no ensuciar cuchillos y hacer más práctica la preparación de tostadas u otras aplicaciones gastronómicas. El problema es que el inventor de esta genialidad nunca se dió a conocer y al parecer a los consumidores no les gusta cambiar sus hábitos.



BABY MOP

Es muy claro cuándo se originó esta peculiar prenda infantil. Empezó como una broma japonesa y hoy se conoce como el "baby mop". Este novedoso trapero multifuncional se comercializa en el mercado Norteamericano y promete ser un producto indispensable para la limpieza del hogar. El único problema es que el sistema requiere harto mantenimiento.



Flying Saucer Camera will be used by Air Force to clear up saucer questions. One lens takes regular picture; the other separates light into colors so scientists can judge the source and make-up of saucers.

FLYING SAUCER 1953 REVISTA MECHANIX ILLUSTRATED

Esta cámara permitía tomar una foto incluyendo en el paisaje un platillo volador de forma que su falsedad fuera indetectable por expertos. Quizás la comunidad ufológica luchó para que este dispositivo fraudulento no viera la luz.



NOODLE COOLER

En países asiáticos es común que los platos con tallarines, tales como sopas o ramen, se sirvan muy calientes, por lo que quemarse la lengua es pan de cada día. Para evitarlo surgió esta invención, poco eficiente, llamada "noodle cooler" la cual enfría los tallarines pero calienta la mano.



El profesor Leonardo Vanzi contagia su entusiasmo por la astroingeniería e invita a quienes sientan la vocación.

Astro-Ingeniería: fuertes exigencias y grandes perspectivas

El profesor Leonardo Vanzi palpita con el Centro de Astro-Ingeniería. Nació y estudió en Florencia. “¡Qué privilegio!” se le dice; él se encoge de hombros.

Por Nicolás Luco

— ¿Qué le diría a un joven que está empezando a pensar en Astro-Ingeniería?

“¡Bienvenido!” contesta con entusiasmo. “Hay algo que yo trato de transmitir. Se cree que la astronomía es una ciencia especulativa sin mayor impacto en la realidad. No es así. Quien estudia esta disciplina tiene muchísima potencialidad en muchas áreas. En investigación, pero no sólo ahí, también en la industria y hasta en negocios.”

Agrega:

“Advierto que muchos, muchísimos, se autolimitan porque se dicen ‘me gusta mucho la astronomía pero ¿cómo voy a ser astrónomo?, no hay mucho trabajo de astrónomo’. Eso es muy equivocado porque, primero, uno tiene que hacer lo que le gusta. Eso es fundamental. Segundo, una persona que estudia astronomía, o en nuestro caso, toma una dirección un poco más técnica, tecnológica, en realidad tiene muchísimas opciones. Por ejemplo, en astronomía se da la única posibilidad en Chile de estudiar óptica. Como es una carrera muy exigente, te prepara para muchas otras cosas.”



El auge de Paranal y otros grandes telescopios como Alma, exige astroingeniería y astroingenieros.

“La astronomía es una de las fuerzas más poderosas que empujan el desarrollo tecnológico, la innovación.”

—**Y para investigar e innovar...**

“Bueno, ahí está el documento: ‘Astronomy Technology Industry Roadmap for the Fostering of Technology and Innovation in the Field of Astronomy in Chile’. Lo encargó CONICYT. Sugiere que Chile lidere un par de proyectos astronómicos de gran envergadura. Nosotros, en Astro-Ingeniería, podríamos ser los líderes en estos esfuerzos. Somos extremadamente activos en las postulaciones a proyectos en todo lo que se pueda: CONICYT, Milenio, CORFO...”

—**Pero la astronomía requiere inversiones importantes...**

“Bueno, el estudio de CONICYT sugiere la creación de posibilidades de financiamiento mayor. Este tipo de desarrollo no se puede hacer con un FONDECYT. Nuestros proyectos no son de corto plazo, esos que consideran una inversión, un desarrollo, un plan de negocios y un retorno. El retorno de inversión en ciencia es a largo plazo. No es algo que se pueda evaluar dentro de cinco años. El retorno es inmensamente más fuerte y grande, pero no es cuantificable dentro de los límites de las bases habituales de postulación, que son tres, o cinco años, máximo.”

—**¿Cuántos años habría que poner de plazo?**

“La astronomía es una de las fuerzas más poderosas que empujan el desarrollo tecnológico, la innovación. Hay que mirar que en el medioevo la óptica estaba limitada a los anteojos. Y es en su aplicación a la astronomía cuando, en el siglo XVI, comienza a crecer; con la construcción de los telescopios, debido a las altas exigencias de las observaciones astronómicas.”

—**¿Y en qué está la óptica ahora?**

“¡En todo! Las transmisiones de datos, las pantallas, los celulares, todos estamos ahora conectados al computador. Pero imaginar a Galileo haciendo un plan de negocios para desarrollar las aplicaciones de lo que estaba estudiando... ¡imposible! No tiene sentido.”

—**Estamos hablando de periodos largos.**

“Así es, hay que mantener una mirada larga, no es cosa de años, sino de décadas, tal vez de siglos. Lo que se ha desarrollado en los siglos anteriores pasa a ser, hoy, el fundamento de la tecnología que nos permite vivir bien. Por suerte, ya ha habido señales de que en este sentido podremos contar con más apoyo de las instituciones públicas.”



(De izquierda a derecha) Gustavo Pizarro, Constanza Díaz, Macarena Larraín, Patricia Pérez y Felipe Rivera en el paseo costero Bund de Shanghai, con los emblemáticos edificios del barrio financiero Pudong de fondo.

Beca Ciencia y Tecnología, Estadías Cortas en el Extranjero para Estudiantes de Ingeniería:

Un vistazo a la investigación de nivel internacional

La beca entrega a alumnos de ingeniería una estadía corta, de dos o tres meses dependiendo del destino, en universidades y centros de investigación de países como Alemania, Australia, Canadá, China, Corea del Sur, Finlandia, Francia, Estados Unidos y Reino Unido para desarrollar actividades académicas y de investigación aplicada en las áreas de su interés.

Por María José Cortés

Felipe Rivera, Felipe Arteaga y Pedro Lizana son tres de los 30 alumnos de Ingeniería UC que se han adjudicado la beca Ciencia y Tecnología, Estadías Cortas en el Extranjero, otorgada por la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) entre los años 2011 y 2012. Gracias a esta beca visitaron una universidad extranjera en los últimos meses de su carrera, exploraron nuevas oportunidades y conocieron otras realidades de la ingeniería. Hoy, los tres son egresados y recuerdan lo positivo de la experiencia.

“Es una gran oportunidad para enriquecer la carrera y la forma en que entendemos la ingeniería”, explica Felipe Rivera, ex alumno de Ingeniería y Gestión de la Construcción, que estuvo en Shanghai Jiao Tong University, en China, entre julio y agosto de 2012. No sólo tuvo contacto con otra cultura sino que, también, tuvo acceso a un centro de investigación de primer nivel, presenciando desarrollos tecnológicos muy lejanos a lo que “estamos acostumbrados a ver en Chile”. Felipe postergó su memoria de título por esta pasantía, pero cree que valió la pena: “Pude darme cuenta de la importancia de la investigación y de la ciencia pura y aplicada para el desarrollo de un país”.

“Si tienes al menos un pequeño interés por la investigación o quieres saber de qué se trata, sin duda, hay que tomar esta oportunidad”, dice Felipe Arteaga, ex alumno de Ingeniería Civil Industrial, con mención en Transporte. Las ventajas, cuenta, son muchas: “Mejoré mi inglés, exploré posibilidades de investigación en un ambiente de alto nivel académico y tecnológico, conocí personas de distintas culturas, hice nuevos amigos”, todo en dos meses de pasantía en University of Queensland, en febrero y marzo de 2012.

Pedro Lizana, también ex alumno de Ingeniería Civil Industrial, con mención en Transporte, estuvo en University of Queensland, en Australia, a comienzos de 2012. También agradece la experiencia: “Pude ver cómo funciona la investigación en países desarrollados. Los alumnos de postgrado en Australia no lo hacen sólo para trabajar en

Felipe Arteaga y sus compañeros en Australian Institute for Bioengineering and Nanotechnology - UQ (AIBN).



centros de investigación y universidades sino que, también, en empresas. Se da una colaboración estrecha entre éstas y los centros de investigación, porque saben que invertir en investigación es fundamental para que las empresas puedan innovar”.

La beca Ciencia y Tecnología, Estadías Cortas en el Extranjero, entrega una estadía de dos meses en centros de excelencia internacional de países como Alemania, Australia, Canadá, China, Corea del Sur, Finlandia, Francia, Estados Unidos y Reino Unido, para desarrollar actividades académicas y de investigación aplicada en las áreas de ingeniería y tecnología.

En marzo de 2013, CONICYT realizó la tercera convocatoria de la beca. En 2011, cuando se realizó el primer concurso, 10 alumnos de Ingeniería de la Universidad Católica, entre 17 postulantes a nivel nacional, la obtuvieron. En 2012, la Escuela también lideró el número de adjudicaciones, entre los 52 seleccionados, 20 fueron de Ingeniería UC. Las becas cubren los costos de arancel y matrícula del programa, pasajes de ida y vuelta, alojamiento, asignación para alimentación y seguro médico.

REQUISITOS PARA OBTENER LA BECA

(fuente www.conicyt.cl)

- Ser alumno regular de un programa de pregrado en Ingeniería Civil, acreditado al momento de la postulación, por la Comisión Nacional de Acreditación (CNA-Chile).

- Haber cursado, como mínimo, el séptimo semestre de la carrera al momento de la postulación. Sin perjuicio de ello, al momento de la firma de convenio, deberá presentar la Licenciatura.

- Poseer excelencia académica acreditando, al menos, uno de los siguientes requisitos:

- Haber alcanzado un promedio de notas igual o superior a cinco (5.0) sobre un máximo de siete (7.0), o su equivalente. Este promedio deberá corresponder al obtenido luego de considerar todos los semestres cursados.

- Encontrarse dentro del 30% superior del ranking. Este deberá corresponder al obtenido luego de considerar todos los semestres cursados.

- Certificar conocimiento de idioma inglés con un registro mínimo TOEIC Listening and Reading 650; TOEFL PBT de 530, CBT 197 IBT 71; ETAAP 80 o IELTS 5.5.



El profesor Mordechai Perl aplicó su especialidad en la industria de defensa y en el campo de batalla.

Paso a paso, a controlar la presión

Profesor visitante, artillero, se especializa en presión en recipientes, como los cañones.

Por Nicolás Luco

“ ¡No puedes conseguir este café en Chile; es turco, el único que tomo! Me traje dos kilos cuando me vine”, dice el doctor Mordechai Perl, profesor visitante en el Departamento de Ingeniería Mecánica, gozoso con el aroma.

Sugiere que lo llamen “Miky”. Es judío, educado en el Technion, el primer Instituto de Ingeniería de Israel, sobre la bahía de Haifa. Amigable, “muchos israelíes somos así, sueltos, informales.”

“Los judíos del mundo constituyen el 0,2% de la población y tienen aproximadamente el 15% de los Nobel; esto equivale a 75 veces a lo que corresponde.”

—Hay una cierta alegría en los laboratorios de Israel...

“La atmósfera ahí es muy distinta. Somos un pueblo muy entusiasta. Aprender ha sido el hábito de los judíos por dos mil años. Hemos sufrido muchas persecuciones. Así es que siempre hemos tratado de contar con algo que nadie pudiera quitarnos y que fuera fácilmente transportable. Por eso, en muchos países, incluyendo Chile, uno encuentra tantos judíos doctores, abogados, ingenieros... gente con profesión, algo que nadie puede quitarles. Hay una razón para que ello ocurra.”

—También se cree que los israelitas son muy inteligentes.

“A nivel personal no hay forma de medir eso. Pero existe un camino: el número de Premios Nobel. Los judíos del mundo constituyen el 0,2% de la población y tienen, aproximadamente, el 15% de los Nobel; esto equivale a 75 veces a lo que corresponde. Y esto deriva de las persecuciones: no creemos nada; somos muy críticos, tanto, que a veces basta que alguien diga algo para que nosotros, por el gusto de debatir, digamos lo contrario. Otros pueblos, por ejemplo los del Sur de Asia, jamás contradicen, para ellos son malos modales y, así, sus capacidades de investigación son limitadas.”

—En el súperventas “La historia del amor” un inmigrante judío se instala en Valparaíso...

“Somos muy adaptativos, no hemos tenido otra alternativa: somos como las plantas, si al ser transplantadas no se adaptan, mueren. Es parte de nuestro carácter. Nos expulsaron de España, nos fuimos a Turquía, a Holanda, a muchos países. Aprendimos nuevos idiomas, nuevas culturas. Fuimos obligados a dudar y a desarrollar la audacia para probar caminos no ortodoxos.”

COMIENZO POR CASUALIDAD

Estudiaba el cuarto año en el Technion, buscando ingresos, trabajando en el laboratorio de un gran profesor. “Fue una casualidad”, dice. Tomó conciencia de lo que era investigar. Se había especializado en Ingeniería Aeronáutica y logró postergar su servicio militar hasta sacar su Máster en esa especialidad. Luego del servicio militar, de 3,5 años, pasó a una industria que proveía al ejército. Vinieron conflictos y batallas, muchas muertes, él fue reclutado por la artillería. “La artillería es muy interesante, no por azar tantos artilleros han sido científicos. Hay que calcular. Y, hasta hoy, la artillería es mi campo de investigación.”

—La guerra puede ser injusta, como la Segunda Guerra Mundial...

“Sin duda que es algo malo. Pero es de esas necesidades en algún punto en el tiempo. En la guerra hay sólo dos posibilidades: o matas o te matan. Hay que decidir. Por cierto que a uno le gustaría que no hubiera guerras, pero eso no ocurre, por lo menos en lo que yo conozco. Cuando joven, pensé que tendríamos un Medio Oriente quedo, pero se está poniendo peor ahora.”

—En cuanto a artillería, hay una deuda con Napoleón...

“Por cierto, él contribuyó a la artillería como en muchos otros campos. Científicamente hablando, fue uno de los más grandes que han vivido. Napoleón estandarizó muchas cosas, incluyendo la artillería. Hay que tener ciertos números, no sirven cañones y balas de cualquier diámetro. Hoy, en el mundo occidental, no se fabrican cañones de más de 3, 4, 5 ó 6 pulgadas. Toda la estandarización, como el metro, el kilogramo, vinieron de la era Napoleón, gran oficial de artillería.

“Pero quien es el genio en el campo es Gustavo Adolfo II de Suecia, el primero en montar pequeños cañones sobre ruedas. Además, en su época (1594-1632) los cañones de bronce tendían a explotar. Tomaron cuero animal, lo mojaron, y arrojaron con ellos los cañones; al encogerse los cueros hicieron presión externa sobre ellos, evitando explosiones. En los tiempos modernos hacemos lo mismo, con otras tecnologías.”

“...El entusiasmo por la investigación es algo interno, no tiene que ver con el ‘debo’.”

“De joven científico, la motivación es publicar para ser ascendido. Cuando mayor, todo eso ya no cuenta, pero la motivación sigue ahí, trabajo lo mismo y con la misma intensidad de hace 20 años.”

—Y usted investiga la presión contenida.

“Investigo la fatiga y la estructura de todos los materiales. Pero me concentro en la presión en recipientes, como los cañones. Los recipientes a presión se integran a muchas industrias: químicas, nucleares, militares. Trabajamos con las grandes presiones: si un balón de gas doméstico tiene 2 ó 3 atmósferas, el cañón de una pistola soporta 6 mil y tenemos situaciones en que se llega a las 25 mil atmósferas, por ejemplo, para fabricar diamantes artificiales.”

— ¿Qué tan complejo es este campo?

“Es un problema que incluye materiales, geometría, muchos problemas de seguridad, una industria muy sofisticada. Por ejemplo, para fabricar polietileno se necesita un proceso a 1.500 atmósferas.”

— ¿Todavía queda por investigar?

“Por supuesto, es por eso que el tema de la presión en recipientes intriga y hay tanta investigación en el área. Ahora, es un campo profesional limitado, no como los ingenieros civiles que se necesitan en países desarrollados y subdesarrollados. Los ingenieros en presión en recipientes tienen trabajo en los países más desarrollados. En EE.UU., por ejemplo, hay varias empresas que fabrican estos artificios. Y, bueno, ellos tienen una gran industria militar.”

Interrogado sobre cómo llegó a este campo, cuenta que durante sus años de postdoctorado en la U. de Washington, en Seattle, lo introdujeron al tema. Estaban trabajando en la fractura de recipientes a presión en la industria nuclear. Luego, cuando regresó a Israel

como profesor joven en el Technion (35 años), empezó a trabajar en mecánica de fracturas. Entonces, un inmigrante ruso, 20 años mayor, le propuso integrarse en un proyecto del ejército en el rubro. El ruso era un gran laboratorista. “A mí me gustaba el trabajo experimental, pero no con mis propias manos. Y aquí tenía un gran experimentador y una gran persona. Y con una gran formación teórica. Podíamos conversar. Trabajamos juntos durante 15 ó 20 años. Luego seguí con mis propias investigaciones”.

— ¿Y descubre?

“Aún aprendo, aún lo paso bien; me retiro en 2 años más. Me preguntan ‘¿para qué publicas?’ De joven científico, la motivación es publicar para ser ascendido. Cuando mayor, todo eso ya no cuenta, pero la motivación sigue ahí, trabajo lo mismo y con la misma intensidad de hace 20 años. Tengo, ahora, más alumnos que realizan el trabajo sucio; con cuatro candidatos a Máster me comunico diariamente por Skype. Y tengo un postdoc muy interesante: había jubilado cuando llegó a pedirme que lo recibiera para hacer un doctorado. Yo le dije que si estaba loco, por su edad. (...) Finalmente comenzamos una historia que dura hasta hoy. Él tiene 69 años, todo el tiempo del mundo, es muy inteligente con muchísima experiencia (fue el ingeniero jefe en diseño de cañones en la industria militar israelí), así es que continuamos trabajando juntos. ¡Para pasarlo bien! El entusiasmo por la investigación es algo interno, no tiene que ver con el ‘debo’.”

— ¿Es un proceso acumulativo?

“Los cambios en ciencia no llegan tan a menudo. Es cierto que estamos de pie sobre los hombros de gigantes. Incluso los premios Nobel han hecho cosas fantásticas, pero no son Einstein. Los grandes saltos en ciencia vienen... no sé si se pueda cuantificar esto... cada 500 años. En mecánica hay poco progreso entre Newton y Einstein; desde Einstein hasta hoy, poco progreso. Capaz que en 200 ó 300 años aparecerá un nuevo Einstein o un nuevo Newton. Mientras tanto, tenemos que avanzar en forma incremental, acumulando pasitos... hasta que aparezca un Einstein que haga calzar todo, eso es lo que llamamos genio.”



Entrevista a Michael Leatherbee

“Debemos ser primeros en descubrir lo que la humanidad aún desconoce”

El profesor del Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Michael Leatherbee, actualmente realiza un doctorado en Stanford. Adelanta que, cuando regrese a Chile, trabajará en construir un programa líder en investigación de fenómenos de innovación y emprendimiento en Latinoamérica.

Por Ricardo Ibáñez

En octubre ganaste el gran premio del concurso “Dreaming Chile from California” con la idea “Chile-Stanford Biodesign”. ¿En qué consiste? ¿Cómo esperas que ese proyecto contribuya a la expansión de la investigación y la innovación en el país?

La innovación se puede entender como un proceso compuesto de tres partes: detección de un problema real, creación de nuevo conocimiento para resolverlo y gestión de los recursos necesarios para que la humanidad pueda beneficiarse de dicha solución. En otras palabras, es la integración de tres fenómenos: detección de oportunidades, invención de soluciones y emprendimiento. Por esta razón, es frecuente que surjan innovaciones cuando los investigadores deciden emprender (Zucker, Darby & Armstrong, 2002).

Durante décadas, Chile ha estado invirtiendo en la formación de individuos talentosos que regresan al país tras

adquirir conocimiento científico en las mejores universidades del mundo (Márquez & Heyl, 2010). Sin ir más lejos, en la década de los sesenta -durante la época del Decano Raúl Devés- la Escuela de Ingeniería inició una audaz política para crear un cuerpo de profesores de clase mundial. Reconociendo el talento que residía en sus aulas, año tras año, la Escuela fue escogiendo a algunos de los mejores alumnos, a quienes enviaba a formarse como académicos en las mejores instituciones del planeta. Sin embargo, a nivel país ha sido lenta la generación de científicos emprendedores -individuos que pueden transformar conocimiento en soluciones prácticas.

Stanford Biodesign es un programa que contiene, en su ADN, la convergencia de la ciencia y el emprendimiento. Su misión es formar a la próxima generación de innovadores globales de tecnología médica a través del entrenamiento de científicos en las habilidades que son cruciales para el éxito emprendedor. Es una iniciativa interdisciplinaria cuyo objetivo es mejorar el cuidado de pacientes, a través de la formación de innovadores que inventarán dispositivos médicos, técnicas y tecnologías destinadas a mejorar y salvar vidas. El programa congrega a profesores y alumnos de más de 40 departamentos de Stanford University. Recientemente, se abrió a colaboración internacional a través de su programa Stanford Global Biodesign. Actualmente sólo existen dos colaboraciones internacionales: India y Singapur.

Chile-Stanford Biodesign -la idea que mi colega Loreto Valenzuela y yo estamos emprendiendo para hacer realidad- consistiría en un entrenamiento para 10 participantes cada año. Los primeros seis meses serían en Stanford University y, los restantes seis, en Chile. El proyecto incluiría las siguientes actividades: encontrar y entrenar a innovadores chilenos; entrenar las organizaciones participantes en las metodologías de Stanford Biodesign; incentivar la interacción entre participantes chilenos y norteamericanos para fomentar el descubrimiento de oportunidades internacionales; y desarrollar dispositivos que sean costo-efectivos y globalmente relevantes. Este proyecto contribuirá a la investigación y la innovación en el país porque entregará, a investigadores nacionales, el conocimiento, entrenamiento, redes sociales y mentoría para transformarse en los co-fundadores de una nueva y vibrante industria biotecnológica en Chile.

Alumnos tuyos en Chile están muy agradecidos por tus enseñanzas. Cuando regreses a la Escuela de Ingeniería UC. ¿En qué medida tu estadía en Stanford abrirá o concentrará tu enseñar? ¿Incluirá investigación?

A mi regreso a Chile tendré tres focos académicos: pregrado, magíster y doctorado. A nivel del pregrado, mi objetivo es empoderar a los alumnos con herramientas para detectar oportunidades de alto valor. Esto tiene dos componentes. El primero está relacionado a las transformaciones cognitivas y conductuales que permiten descubrir aquello que es no-obvio. En lo no-obvio-aquellos lugares que son cognitivamente distantes- residen las oportunidades de alto valor; porque es improbable que otras personas hayan extraído el valor de dichas oportunidades previamente (Gavetti, 2012). El segundo está relacionado con la valoración del conocimiento científico

y tecnológico, es decir, la investigación. En este aspecto nuestra Escuela tiene un potencial enorme, porque residen simultáneamente, en ella, la tecnología y la gestión. Si bien se requiere trabajo para que ambas ramas del conocimiento estén más integradas, contamos con los ingredientes fundamentales -y de primera calidad- para aumentar significativamente la capacidad innovadora de los futuros líderes de nuestro país.

A nivel del magíster, mi objetivo es empoderar a individuos con las capacidades para gestionar procesos de innovación en organizaciones establecidas. Empresas establecidas tienden a contar con cantidades relevantes de recursos, lo cual constituye una ventaja comparativa muy importante (Barney, 1991). Dados los bajos niveles de innovación existentes en la industria nacional, aquellas personas que sean capaces de liderar procesos de innovación, con los recursos de las empresas establecidas, contribuirán contundentemente al Producto Geográfico Bruto y a la creación de empleos de mayor valor.

A nivel del doctorado, mi objetivo es construir un programa, líder en Latinoamérica, en investigación de fenómenos de innovación y emprendimiento. Si deseamos acelerar el tranco hacia el desarrollo y lograr transformarnos en un país líder, en términos de bienestar social y económico, necesitamos poder diseñar políticas y programas que sean idóneos a nuestra realidad. No basta con ser seguidores de otros países y copiar lo que ha dado resultado en otros lugares. No se puede llegar al primer lugar copiando lo que hace el líder. Para ganar se debe ser más audaz que el líder. De hecho, tenemos una oportunidad única de empezar a generar conocimiento útil para el emprendimiento desde Chile, permitiéndonos salir del surco de seguidor de políticas que funcionan bien en el extranjero, para entrar al carril de líderes de políticas que son copiadas en el extranjero. Para esto necesitamos conocer profundamente los mecanismos subyacentes de la innovación, además de las competencias y limitaciones de nuestro país. En otras palabras, debemos ser primeros en descubrir lo que la humanidad aún desconoce.

REFERENCIAS

- BARNEY, J. B. Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, 17(1), pp. 99-120, 1991.
- GAVETTI, G. Toward a Behavioral Theory of Strategy. *Organization Science*, 23(1), pp. 267-285, 2012.
- MÁRQUEZ, M. A., HEYL, V. El Sistema Bicentenario Becas Chile: Una Evaluación de la Política Pública de Formación de Capital Humano Avanzado 2006-2010, 2010.
- STANFORD BIODESIGN GLOBAL PROGRAM: <http://biodesign.stanford.edu/bdn/global/>
- ZUCKER, L. G., DARBY, M. R., ARMSTRONG, J. S. Science, Knowledge Capture, and Firm Performance in Biotechnology. *Management Science*, 2002.



El Decano Kilpatrick se mostró confiado en la relación con Ingeniería UC por la calidad de sus investigadores.

Decano de Ingeniería en Notre Dame abre horizontes

Ingeniería en Notre Dame, tras la visita de su Decano, Peter Kilpatrick, es una nueva ruta posible.

Por Nicolás Luco

Lo tentó el desafío de oficiar de decano en una universidad católica y de excelencia. Notre Dame ocupa el lugar 17 en el ranking de universidades estadounidenses del U.S. News & World Report. Es la novena universidad del país en materia de su “endowment” o legado (US\$ 6.330 mil dólares, Harvard tiene US\$32 mil) y está por sobre grandes universidades como Berkeley, UCLA y Georgetown.

El Dr. Kilpatrick califica la cultura en Notre Dame como “un experimento único en educación”.

La educación lo motiva. Durante su jefatura de Departamento en Duke, creó el Centro de Biomanufactura y Capacitación. Su meta: preparar bioingenieros, especialidad en intenso crecimiento; meta que también comparte la Escuela de Ingeniería UC y que podrá hacerse realidad gracias al nuevo currículum que comenzó este año 2013.

Su “College of Engineering” estuvo en las noticias durante febrero debido a una investigación que corroboró la existencia de agua en la luna y señaló su fuente. Los temas en que están involucrados sus investigadores son, por ejemplo, la generación de nanopartículas que reemplacen las actuales terapias contra el cáncer y que distingan entre las células cancerosas y las sanas, destruyendo sólo las enfermas. Otros trabajos han demostrado que la estructura del iris, usado como identificador biológico, no es tan permanente como se pensaba, lo que está cambiando los estándares de seguridad. En el laboratorio multiescala de bioingeniería

cardiovascular, los investigadores recurren a técnicas de ingeniería para estudiar las configuraciones de diferentes desórdenes cardíacos; así entenderán las complejas relaciones entre la biología del tejido del corazón y el medio ambiente para, así, desarrollar mejores tratamientos.

El Dr. Kilpatrick, además de su campo de investigación, se interesa en la relación entre la catolicidad y la tecnología. Es invitado a hablar sobre esos temas como, por ejemplo, si la tecnología puede darle sentido a la vida humana.

“La ingeniería no genera tantos productos como bienestar para la gente, especialmente entre los más necesitados”. Se interesa en formar ingenieros con un fundamento moral en su misión de servir a los más necesitados en la sociedad, dijo.

El convenio entre la Escuela de Ingeniería UC y el College of Engineering de Notre Dame favorece el intercambio de profesores, proyectos de investigación y alumnos. El Decano Juan Carlos de la Llera y un equipo de Ingeniería UC viajará en mayo a Notre Dame para consolidar y ampliar esta relación.



La cámara graba durante un período de 15 a 20 minutos cada hora y las imágenes son post-procesadas en forma automática para generar una base de datos de la evolución del sistema costero a nivel diario.

Análisis de la costa de Iloca y Caleta Duao

A 7 kilómetros de la localidad costera de Iloca, en la VII Región, la caleta Duao fue brutalmente azotada por el terremoto y tsunami del 27 de Febrero de 2010. Investigadores y alumnos de la UC y de otras universidades desarrollaron el primer sistema de monitoreo de la costa en la zona, de modo de contribuir a un mejor conocimiento de las condiciones costeras y constituir una alternativa real para la toma de decisiones y la gestión del litoral.

Por Marco Echeverría, Ricardo Ibáñez y Vilma Morales

A contar de marzo de 2012 se comenzó la implementación del proyecto desarrollado por el profesor Rodrigo Cienfuegos, profesor del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, en conjunto con alumnos de Ingeniería Eléctrica y de su propio departamento. Le acompañan en el proyecto los investigadores nacionales Patricio Catalán, de la Universidad Técnica Federico Santa María, y Diego Caamaño, de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, y los

investigadores franceses Rafael Almar y Bruno Castelli. El proyecto busca generar información sobre las condiciones de la zona costera de Iloca, mediante un sistema de seguimiento por video. Sin embargo, su alcance podría ser mucho mayor, generando oportunidades de emprendimiento sociales y comerciales que permitirían contar con mayor y mejor información para la toma de decisiones en la gestión de nuestras costas.

—¿Cómo nace este proyecto?

“Este proyecto, que es un proyecto FONDECYT, viene con una motivación

mía muy antigua, que es poder trabajar en contribuir a conocer mejor el litoral chileno. En Chile hay buena investigación sobre la tierra, por así decirlo; hay, además, muy buena investigación a nivel oceanográfico, a gran escala, como lo referente a corrientes de Humboldt, etc., pero hay un segmento de vacío importante en lo que es la interacción en el margen donde se junta el oleaje con la tierra, las desembocaduras y las playas. Esto es algo bien antiguo dentro de lo que recuerdo, como motivación a conocer mejor y hacer una contribución en este tema.

Esto me motivó a hacer estudios de investigación de postgrado y trabajar, al margen, en entender los procesos de propagación del oleaje. Y a la vuelta del doctorado en Francia, donde estuve trabajando en estos temas, más bien en laboratorio y a nivel numérico más que en terreno, se genera un intenso vínculo con amigos y colegas que estaban, al mismo tiempo que yo, trabajando en temas parecidos en sus doctorados allá y, de alguna forma, fui capaz de “venderles” Chile como un sitio interesante para estudiar, para venir y para pasar un tiempo trabajando. Creo que resultó y que les vendí bien el cuento. Tuve muchísima suerte porque al regresar del doctorado, tuve dos amigos que llegaron a trabajar en postdoctorado. Uno vino a trabajar en temas de laboratorio, por dos años aproximadamente y, el otro, con quien armamos esta idea de montar y observar con sistemas de video, fue Rafael Almar, quien venía a Chile a trabajar por 1 o 2 años. Él llegó acá unos días antes del terremoto y tsunami del año 2010, que remeció, sacudió y cambió muchas cosas de las que uno quería y esperaba hacer.”

—¿Qué efectos tuvo el terremoto y tsunami del año 2010 en la génesis del proyecto?

“En ese primer año del proyecto estuvimos haciendo un seguimiento de una zona que nos interesó mucho, que es de Constitución hacia el norte. Esto, más que por los impactos a nivel de infraestructura, que fueron sumamente relevantes, se realizó por el impacto a los sistemas naturales sobre localidades más pequeñas y sobre las variaciones producidas a nivel de la tierra y las consecuencias que pudieran tener, en



La instalación del sistema se realizó con ayuda de alumnos de Ingeniería Hidráulica y Eléctrica de la Escuela de Ingeniería UC, además del Departamento de Obras Civiles de la Universidad Santa María.

el mediano plazo, en la evolución de los sistemas naturales.

Esa era la pregunta que nos hacíamos, ya que sabíamos que ese sitio estaba ubicado cerca de Iloca, que había tenido subsidencia, habiendo bajado 50 centímetros. Sabíamos, además, que tenía un sistema constituido por el río y una desembocadura con una barra de arena que formaba una especie de laguna, que también había sido fuertemente afectada, ya que dicho sistema fue barrido por el tsunami. En ese momento, al ver el sistema afectado y, comparándolo con lo que uno conoció anteriormente, se generó una sensación similar a la que tenemos en un laboratorio controlado, cuando tenemos un modelo, el cual borramos y hacemos de nuevo. Es una diferencia de gran magnitud el ver un sistema natural tan afectado y remecido, donde todas las conexiones cambiaron y está partiendo todo de nuevo.

Además, este desastre natural tuvo implicancias sociales, en términos de que el lugar es sitio de pescadores, por lo que ahora no existía una laguna cerrada, el oleaje entraba con mayor fuerza hacia las casas las que, por lo demás, habían sido totalmente barridas por el tsunami. Todo esto significó para ellos, en especial en Caleta Duao, la necesidad de reconstruir, con el apoyo de Desafío Levantemos Chile, que estuvo con ellos

en ese momento, las casas e instalaciones pesqueras, de modo de poder salir a pescar de nuevo.”

—¿Cómo ha sido la implementación del proyecto? ¿Cuáles han sido los principales hitos?

“En esos primeros años hicimos un seguimiento de modo de entender lo sucedido, investigando y yendo al lugar cada cierto tiempo. El sueño de nosotros era armar un sistema de observación continua, de tal manera de instalarlo y obtener información. Imagínate lo que hubiera sido haberlo tenido después el terremoto, porque habríamos visto toda la deformación del sistema casi en tiempo real.

Sin embargo, lo hicimos yendo cada 2 o 3 meses y, ahora, recién este año, tuvimos el financiamiento necesario para poder comenzar con este sueño que es la instalación del sistema de observación en video y transmisión. Aún no tenemos línea, porque no hay internet allá, pero estamos grabando localmente, lo que constituye un desafío que no es fácil. Aquí se produjo algo muy bueno, que fue el poder trabajar con alumnos de otros departamentos, en particular, de Ingeniería Eléctrica. Esto fue perfecto, ya que todos los sistemas fueron armados por nosotros:



Además de la instalación del sistema de monitoreo, el equipo de investigadores realiza mediciones in situ.

“...el segundo propósito es que dichos estudios, y los beneficios que se desprenden de ellos, estén disponibles para la gente local.”

compramos las piezas necesarias para alimentar el equipo de video con paneles solares. Nada se compró armado, por lo que todo el montaje del sistema de video fue realizado por el equipo del proyecto. En particular, las cámaras debían ser montadas y conectadas mediante sistemas inalámbricos de largo alcance, lo que constituyó un gran desafío.

Sin duda, el mejor momento fue el proceso de inicialización del sistema de video. El momento en que todo funciona es algo bien emocionante.

Para el correcto funcionamiento, se necesitaba el apoyo de la gente del lugar. Además, tuvimos una situación “mágica”. Un día, a fines del año pasado, vino Sofía Cubillos, que es la hija de Felipe Cubillos (fundador de la Fundación Desafío Levantemos Chile). Ella vino al lugar, pues había escuchado sobre los proyectos de este tipo que se estaban realizando en el sector; explicó que a su padre siempre le había gustado la investigación respecto a mejorar el conocimiento sobre la costa de Chile, y preguntó qué posibilidades tenían ellos de ayudar a que estos proyectos pudieran ser más fáciles de implementar. Yo le dije que la mejor ayuda era contactarnos con la gente de la localidad. Así logramos obtener contacto con el sindicato de pescadores y con otras personas, de modo de explicarles lo que queríamos hacer en el sector.”

—¿Cuántas personas necesitan para el monitoreo de las costas? ¿Qué participación tienen los pescadores y los habitantes de la localidad?

“Por ejemplo, necesitamos personas

para realizar mediciones sobre el fondo marino, de instalación de instrumentos, etc., por lo cual pensamos, inicialmente, en subcontratar a una empresa que preste esos servicios, de modo de recibir los datos requeridos. Sin embargo, hace 4 meses, tomamos la decisión de comprar los instrumentos de medición, aprender a usarlos, pidiendo la ayuda que sea necesaria y trabajando con la gente de la localidad.

De esta forma, armamos estos experimentos, contratando a los pescadores e instalando los equipos. Además, esto fue mucho más entretenido, pues cuando instalamos un equipo, a 15 metros de profundidad en el mar, los pescadores, que también son buzos, lo dejaron instalado y luego pasamos a unos roqueríos a sacar locos, choritos y jaivas. Comimos muy bien.

Este trabajo conjunto fue posible gracias a los pescadores y, también, a los alumnos de Ingeniería Eléctrica e Hidráulica de la Universidad, así como de otras universidades como la UTFSM y, también, colegas del extranjero.”

—¿Qué impacto social tiene la investigación que ustedes han desarrollado?

“En este caso se pudo ver que el aspecto social fue súper importante. La investigación tiene un propósito doble: el primero, respecto a la ciencia, donde uno puede publicar artículos, ojalá, en las mejores revistas, reportando los procesos físicos y sus consecuencias. Pero, también, el segundo propósito es que dichos estudios y los beneficios que se desprenden de ellos, estén disponibles para la gente local.

Actualmente, respecto al sistema de observación, nosotros tenemos como proyecto hacer un sitio web en línea, de modo que, además de la información de la Capitanía de Puerto de Constitución, se pueda tener un pronóstico adicional y poder disponer de antecedentes que se puedan interpretar y usar en una escala de tiempo distinta: saber las condiciones del mar, las corrientes y el oleaje, entre otras cosas.”

—¿Cuál es el aporte, en particular, para la gente del sector?

“El proyecto no tiene un impacto tan grande como para generar trabajo. El

objetivo a corto plazo es que la misma información que queremos generar y analizar acá en Santiago, sea información útil para ellos y que vaya en beneficio de las actividades propias de la pesca.”

—¿Cómo se desarrollará la entrega de información a los usuarios de este sistema? ¿Algún software o sistema similar?

“Esto va a ser progresivo. Primero, se realizará un sitio web donde ellos puedan acceder a la información, de manera que ellos puedan interpretar con sus propios conocimientos, ya que ellos saben más que nosotros lo que sucede en el lugar. Lo más difícil es juntar las observaciones y el conocimiento informal de los pescadores con el conocimiento formal. Hay que examinar las relaciones entre estos datos. Por ejemplo, vamos a aprender que cuando el oleaje tiene una cierta característica implica que a los pescadores no les sirve para la recolección de mariscos. El cruce de variables permitirá conocer si las condiciones del mar son adecuadas para la actividad pesquera.

Hoy en día, los pescadores ocupan modelos globales, disponibles en sitios web dedicados a la práctica del surf, con información sobre aguas profundas, que son aguas alejadas de la costa, que les permite conocer las características de lo que sucede aguas adentro. Lo que nosotros queremos hacer es unir el espacio vacío que hay entre esos modelos a gran escala con lo que sucede en sitios específicos del litoral chileno. Por tanto, el proyecto tiene interés tanto para el turismo, como para los surfistas y, en general, para la gestión del litoral, pues se puede observar y entender lo que está sucediendo en las playas y, así, tener herramientas para tomar mejores decisiones.”

—¿Cuán escalable es este proyecto para ser implementado en otras localidades costeras?

“A nivel nacional existe un problema de carencia de información en todos los ámbitos. Sin embargo, en este caso particular, estamos con mayor atraso en comparación a otros temas como la hidrología o las lluvias. El tema de la costa ha sido relegado, principalmente, por la longitud de la costa chilena y la baja cantidad de personas que habitan en

“Este proyecto en particular, es un desarrollo a corto y mediano plazo que podría generar proyectos más grandes con apoyo de inversionistas...”

ella. Debido a la explosión demográfica que está ocurriendo ya en algunos lugares, necesitamos información y veo, claramente, que este tipo de herramientas se constituyen en elementos de gestión para municipios y otros centros de toma de decisiones. Por ejemplo, tomar decisiones respecto a la construcción de un puerto, de una caleta o de un muro en una playa y ver el impacto que ello tiene en el lugar antes de tomar una decisión o, también, verificar los riesgos para la construcción en dichos lugares antes de realizar la inversión.

Además, esto distingue distintos niveles de aplicación: Lo relativo a la playa, cómo se está moviendo, lo que sucede al colocar edificios en la playa y el efecto que tiene ello en el corte del suministro de las dunas hacia la playa, lo que permitiría predecir el impacto que generaría esta construcción. Por otro lado, lo relativo a la población que va a la playa, ya que es posible contar la gente que se encuentra en la misma, su posición, de modo de cuantificar variables con mayor precisión y, así, se puede determinar los sitios a licitar con mayor precio, transformándose en una herramienta de gestión importante.

Las aplicaciones de un sistema bien armado son amplias.”

—¿Quién está gestionando estas aplicaciones “sociales” del sistema que han desarrollado?

“Este proyecto está recién partiendo, por lo que tenemos algunas ideas de estas salidas. Sin embargo, estas aplicaciones del proyecto, que tienen relación con el ámbito social y que son de impacto directo en la población, no son de interés para nosotros como investigadores. Nuestro interés es que los alumnos que se forman en la Universidad sean los

encargados de desarrollar esos productos con destino social o comercial. Este proyecto, en particular, es un desarrollo a corto y mediano plazo que podría generar proyectos más grandes con apoyo de inversionistas, de modo de desarrollar un producto interesante, el cual debería ser realizado por los alumnos, en conjunto con los profesores investigadores.

Actualmente, los alumnos ingenieros que trabajan conmigo tienen algunos planes, aunque poco formales, respecto a la continuidad del proyecto. Sin embargo, estamos con tantas cosas al mismo tiempo que nos falta la capacidad para ir a buscar los apoyos necesarios.

Si sale ahora alguna posibilidad de realizar un escalamiento para ser realizado en otros lugares, y no tan sólo donde estamos actualmente, no sería difícil juntar a los mismos alumnos con los que se armó el primer sistema, de modo de armar una pequeña empresa tipo start-up.”

Subsistencia: Hundimiento paulatino de la corteza terrestre, continental o submarina. Dicho fenómeno implica el asentamiento de la superficie terrestre en un área extensa debido a diversos factores, que pueden ser naturales o causados por el impacto de una gran variedad de actividades humanas.

Referencia: CORAPCIOGLU, M.Y. Land subsidence a state of the art review. Fundamentals of Transport Phenomena in Porous Media. En: Bear and M. Y. Corapcioglu (Ed.), NATO ASI Series E.82, Martinus Nijhoff P.



Jornada de reclutamiento del equipo.

iGEM, de la motivación a la luz

Alumnos de la UC se aventuraron a realizar una investigación para un concurso organizado por el MIT, el cual consistía en la creación de bio-luminiscencia usando bloques biológicos.

Por Vilma Morales y Gonzalo Reyes

Todo comenzó gracias a la curiosidad y empeño de un alumno de la Facultad de Biología, Bernardo Pollak, quien escuchó en la cátedra de Biología de Sistemas del profesor Rodrigo Gutiérrez sobre una competencia mundial de Biología Sintética, iGEM del MIT, que busca que equipos interdisciplinarios de alumnos de pregrado desarrollen “máquinas biológicas” con una función específica, creándolas a partir de partes estándar (llamadas biobrick).

Bernardo, luego, buscó apoyo en el profesor Gutiérrez para formar un equipo chileno y, gracias a este apoyo, se desarrollaron una serie de charlas y afiches informativos que, en diciembre de 2011, culminaron en un curso práctico y teórico de Biología Sintética, donde se nos seleccionó como equipo iGEM-UC: Bernardo Pollak, Simón Álamos, Isaac Núñez, Tamara Matute, Carla Vidal, Max Felis, Sebastián Espinoza, Emilia Díaz, Ulises Mayol, Bryon Silva, Rolando Moraga y Claudia Stuckrath. Sin embargo, sólo los primeros 6 pudieron seguir trabajando en el proyecto.

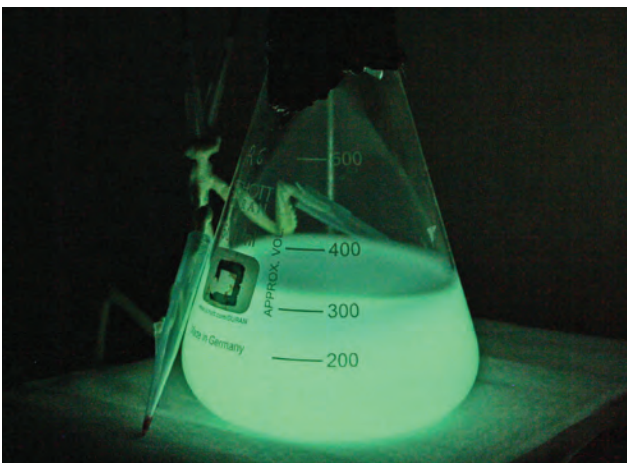


Maximiliano Felis y Carla Vidal (miembros del equipo iGEM-UC) junto al profesor del Tom Knight, una eminencia mundial en Inteligencia Artificial, considerado el “padre de la Biología Sintética”.

Terminado el curso, realizamos un brainstorming durante enero. Para nosotros, el desafío en 2012 consistió en construir una lámpara que funcionara solamente con organismos biológicos, de manera sustentable y automática (programable), Luxilla Biolamp.

Desarrollamos el proyecto enfocados en la innovación, utilizando principios propios de la ingeniería para obtener aplicaciones usando organismos biológicos. En particular, modificamos el Luxbrick, un Biobrick que normalmente se utiliza para identificar si un gen se está expresando, para permitir una aplicación distinta: emisión de luz controlada temporalmente y de forma sustentable, pudiendo, en un futuro, ser una fuente de luz que se recarga con luz solar durante el día e ilumina durante la noche.

En octubre viajamos a Colombia para presentar nuestros resultados en la etapa sudamericana de iGEM. Allí ganamos el Gold Medal, por cumplir objetivos en iGEM, Best Poster y Best Presentation, Latin America, además de ser Regional Finalist, Advance to World Championship, MIT. Aunque no ganamos más premios en la competencia final en el MIT, nuestro premio fue haber llegado allí.



Matraz con bacterias bioluminiscentes y la mascota del equipo, Al.

“...el viaje nos cambió la forma de ver el mundo al relacionarnos con gente distinta...”



Alumnos trabajando en el proyecto.

Y ¿qué fue de nosotros después de la competencia? Bueno, Bernardo Pollak continúa trabajando en el proyecto de Luxilla Biolamp, Simón Álamos fue a una pasantía de investigación en Stanford, Carla Vidal se irá de intercambio a University of California a tomar ramos de Biología Sintética y, Tamara Matute, Isaac Núñez y Max Felis se integraron al laboratorio del profesor Rodrigo Gutiérrez para investigar en el área de la Biología de Sistemas.

Hoy sabemos que el trabajo requiere sacrificios... nuestro compromiso con el proyecto nos exigió tomar menos ramos, sin embargo, esta experiencia fue enriquecedora y decisiva en nuestro futuro profesional. Tuvimos la oportunidad de invitar a Tom Knight -“fundador de la Biología Sintética”- a Chile para dictar una charla entre el 17 y 21 de diciembre, organizada por Bernardo Pollak, Rodrigo Gutiérrez, Eduardo Agosin, Fernán Federici y el PSB Lab. Fue la primera vez que vino a Sudamérica. El viaje que hicimos, fue también una “transformación del viajero” y, en ese sentido, más allá de los contactos -que uno podría pensar que son la fuente de oportunidades- el viaje nos cambió la forma de ver el mundo, al relacionarnos con gente distinta, lo que nos impulsó a nuevas formas de plantearnos las cosas.

Este año (2013) se volvió a hacer el curso y, afortunadamente, hay un nuevo y motivado equipo iGEM de la UC.

http://2012.igem.org/Team:UC_Chile



Entrevista a Álvaro Sylleros

Interdisciplina al servicio de la música

Música, Ingeniería y Diseño se unieron para dar vida a Arcontinuo, instrumento electrónico musical cuyo nombre es la suma de arco, por lo curvo del instrumento, más continuo, que es el atributo principal de la superficie de ejecución.

Por Magdalena Estay

El diseño de un tablero curvo se debe al estudio de la interacción más frecuente entre gestos e instrumentos observados en 17 músicos profesionales que colaboraron con la investigación. Álvaro Sylleros, uno de los responsables de la iniciativa ganadora del FONDART 2011, cuenta sobre el desarrollo del proyecto.

— **¿Cómo partió la idea de crear un nuevo instrumento?**

“La idea nació el 2008, después de hacer un taller relacionado con la música y el mundo del physical computing, es decir, sensores, tarjetas y programación. La idea se hace investigación gracias a un concurso de la VRAID sobre iniciativas interfacultades. Así conocí a los ingenieros y músicos

del Instituto de Música UC: Patricio de la Cuadra y Rodrigo Cádiz, quienes han sido mis co-investigadores hasta ahora. También participa un equipo profesional de profesores: Alberto González, Rosario Sánchez y Mirko Petrovich; además de los estudiantes de Ingeniería UC: Claudio Bertín, Fernando Casar y Héctor Fuentes y los de Diseño UC: Gabriel de Ioannes y Joaquín Rosas.”

— **¿Qué necesidad buscaron resolver con Arcontinuo?**

“Más que resolver una necesidad, fue aprovechar una oportunidad brindada por una tecnología bastante eficaz y alcanzable versus una industria de instrumentos un poco sorda al avance.”

— **¿Cómo llegaron a la idea de fabricar un instrumento con un diseño genérico?**

“La idea siempre fue buscar un tipo de interacción y por ende una forma del producto que aprovechara las ventajas tecnológicas y tuviera una identidad que lo diferenciara de los usos canónicos en ejecución musical. Me refiero a tocar piano, guitarra, violín, etc.”

— **¿Cómo fue el proceso para desarrollar el diseño final?**

“Aún no llegamos al diseño final, estamos en un proceso de proyecto cíclico que se basa en prototipado y rediseño. Sin embargo, hemos logrado dos prototipos funcionales bastante avanzados. El proceso para llegar a ellos está centrado en la idea de que primero hay que entender las particulares formas de interacción del segmento de músicos que compone nuestro mercado y luego generar una forma que acomode esa interacción con el máximo de calidad posible. Por ello conseguimos un grupo de 17 músicos que participaron en el proceso en el cual se procesó y analizó información proveniente de entrevistas, performances... en fin, una complejidad de interacciones críticas que fundamentan nuestro producto, al que también hubo que entregarle creatividad y oficio en el desarrollo de la forma.”

— **¿Qué dificultades encontraron?**

“El instrumento es esencialmente un plano curvo que se adapta al recorrido del ante brazo que se produce al rotar el codo (gesto musical más recurrente en nuestra investigación). Sobre este plano hay una red de sensores que capturan la posición de los dedos en los ejes x y z para luego traducir esta información en parámetros musicales. No fue fácil diseñar el circuito electrónico y menos de forma curva. También nos ha costado resolver la mecánica de la superficie touch, porque ésta no puede ser dura, sino que debe ofrecer cierta elasticidad para que los dedos articulen expresivamente. En general, la etapa de pasar de la idea al invento es complicada sobre todo en Chile, donde la tecnología está disponible sólo parcialmente.”

“Siempre hemos pensado que la innovación se cristaliza realmente, cuando hay alguien dispuesto a pagar por ella, lo demás es creación, invención u ocurrencia.”

— **¿Siempre pensaron en diseñar un instrumento para comercializar?**

“Siempre hemos pensado que la innovación se cristaliza realmente, cuando hay alguien dispuesto a pagar por ella, lo demás es creación, invención u ocurrencia.”

— **¿Qué le recomendarías a un alumno que desea empezar un proceso como el que viviste? Varias cosas**

- Ser agresivo apuntar alto, yo lo llamo mentalidad “Cecilia Bolocco”
- No desesperar por la solución, fijarse en el problema
- Centrarse en la calidad de la interacción, nunca en el objeto ni en la tecnología
- Cuero de chancho para los reveses y las derrotas.”

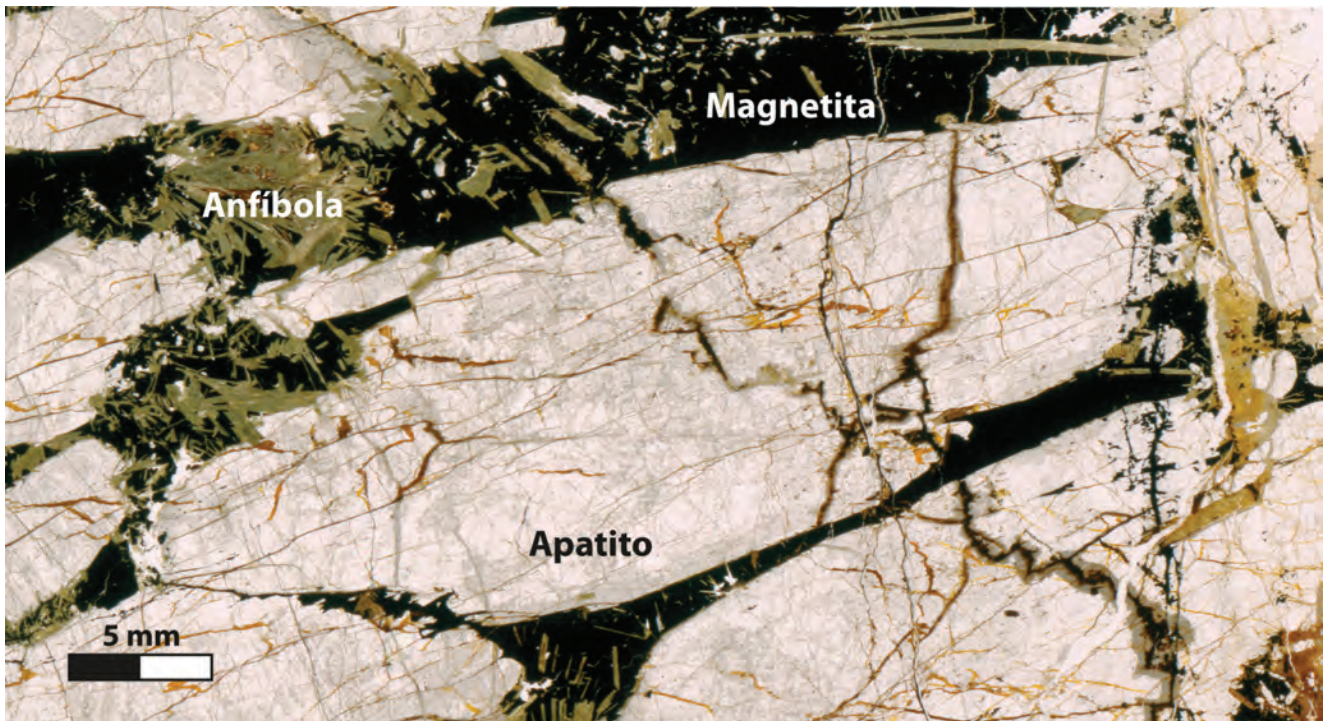
Álvaro Sylleros es Diseñador Industrial de la Universidad de Chile. Tiene un Master of Arts The Ohio State University. Actualmente es profesor e investigador de la Escuela de Diseño de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Sus trabajos y áreas de interés son bastante variados, entre los que destacan el diseño gráfico, la ilustración, la pintura, la escultura, la arquitectura y los multimedia. Sin embargo, para Sylleros la más cautivante siempre ha sido la música. Tiene estudios formales en música y toca saxo tenor, básicamente Jazz.

13

Investigaciones
de Alumnos

“Progress in science depends on new techniques, new discoveries and new ideas, probably in that order.”

*Sydney Brenner,
Premio Nobel 2002*



Ocurrencia de elementos químicos de Tierras Raras en yacimientos tipo Óxido de Hierro-Cobre-Oro andinos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

Daniel Werner¹, Alumno de sexto año

Rodrigo Gomila², Alumno de postgrado

Gloria Arancibia², Profesora Asociada

¹DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINERÍA

²DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL Y GEOTÉCNICA

INTRODUCCIÓN

Las Tierras Raras (conocidas como REE por su nombre en inglés, Rare Earth Elements) corresponden al grupo de 17 elementos químicos que incluye a los **lantánidos**, escandio e itrio. Estos elementos no son tan escasos como parece, pero encontrarlos en una concentración económicamente viable, es poco común. Las REE pueden encontrarse en distintas concentraciones en la naturaleza: como elementos constituyentes básicos de un **mineral**, en cuyo caso su concentración será de **elemento mayor** (porcentaje en peso); o como reemplazo de algunos átomos de la **red cristalina**, en cuyo caso su concentración química será de **elemento menor**, o **traza** (ppm y ppb).

El uso principal de estos elementos se da en la fabricación de variados dispositivos tecnológicos de última generación y en industrias metalúrgicas. Su negocio está siendo cada vez más rentable, ya que sus

precios han subido, hasta en un 650%, entre 2002 y 2008. Estos valores varían desde US\$6.600/kg para el europio a US\$165/kg para el lantano. Países como Estados Unidos, China y Australia tienen las mayores reservas mundiales, mientras que Chile no tiene un **ambiente geológico** que favorezca la formación de yacimientos de estos minerales [1]. Sin embargo, el aumento de los precios de mercado y el avance del desarrollo tecnológico han despertado nuevamente el interés por la exploración geológica de estos elementos [2].

Estudios previos muestran que en el caso de Chile (situado en un ambiente geológico de margen convergente de placas), existe una concentración significativa de REE en un cierto tipo de mineralización, conocida como yacimientos de Óxido de Hierro-Cobre-Oro (IOCG por sus siglas en inglés, Iron Oxide Copper Gold) [3]. En nuestro país, estos depósitos se encuentran localizados, principalmente, en la Cordillera de la Costa, entre Antofagasta y La Serena, y están asociados genéticamente al **arco magmático** desarrollado en el periodo Jurásico al Cretácico Inferior (aproximadamente 200 a 100 millones de años de edad). También se documenta su fuerte relación temporal y espacial con la **Zona de Falla Atacama**, una estructura de rumbo nort-sur de varios cientos de kilómetros de largo [3] (Figura 1). Las rocas en este sector corresponden, principalmente, a **rocas intrusivas y extrusivas**, las cuales han sido alteradas hidrotermalmente dando origen a brechas y vetas compuestas por minerales de magnetita-hematita-apatito y óxidos y/o sulfuros de cobre (además de oro), característicos de la mineralización IOCG.

El objetivo de este trabajo es evaluar la ocurrencia de REE en este tipo de yacimiento mediante la recopilación bibliográfica de los datos geoquímicos publicados. Este estudio constituye una primera aproximación acerca de dónde focalizar la exploración geológica de estos elementos.

METODOLOGÍA

La metodología consistió en la recopilación de información de la bibliografía existente y su integración geológica. Esto se basó, esencialmente, en la interpretación de **tablas geoquímicas** publicadas de muestras de rocas y de minerales de depósitos de IOCG chilenos. Luego de la revisión bibliográfica, se seleccionó cuatro casos de estudio de IOCG, según los siguientes criterios: consistencia interna de la información (localización de las muestras, medición geoquímica comparable de los elementos de interés) y representatividad geológica (presencia de rocas intrusivas, rocas extrusivas, rocas mineralizadas y minerales representativos del ambiente geológico).

Los depósitos seleccionados fueron los siguientes: a) Carmen de Fierro; b) Mantoverde; c) Cerro Negro Norte; d) Productora (Figura 1). En estos yacimientos se obtuvo datos geoquímicos de roca total, de rocas intrusivas (granodioritas y dioritas), rocas extrusivas (andesitas y tobas), **rocas hidrotermales** mineralizadas (brechas y vetas hidrotermales) y de minerales (magnetita, apatito, monacita, anfíbola, rutilo).

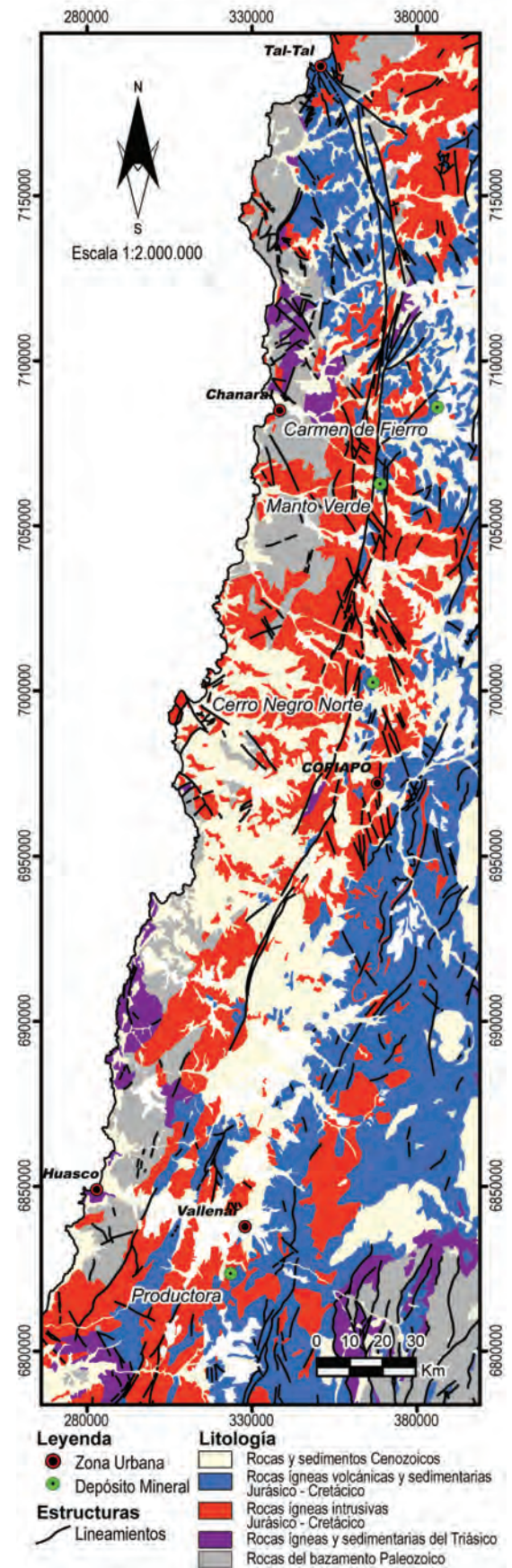


Figura 1: Mapa geológico simplificado (modificado de [4] y [5]), que muestra la ubicación de los casos de estudio seleccionados. Los lineamientos mostrados corresponden a la Zona de Falla Atacama.

El análisis de los resultados químicos en los distintos tipos de rocas y en los distintos minerales, entregó una idea de qué elementos trazas están presentes, en qué concentración y qué tan significativa es su anomalía. En los ejemplos tomados de la bibliografía, los análisis químicos fueron realizados con diferentes técnicas que son comparables entre sí.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Según los datos recopilados, la concentración más importante de elementos de Tierras Raras corresponde a aquellos ubicados en la tabla periódica entre el lantano y el gadolinio y, en este trabajo, se presentan como la sumatoria de sus concentraciones (ΣREE). También se discute la presencia de vanadio, el cual, si bien no es una Tierra Rara en el sentido estricto, se considera elemento de interés porque sus características geoquímicas y económicas son similares.

La Figura 2 muestra el contenido de ΣREE de los distintos tipos de roca, según su porcentaje en peso de SiO_2 , compuesto principal de la corteza terrestre. A modo de conocer la concentración primaria en la naturaleza de los elementos de interés, se incluye la composición promedio de la **corteza continental superior** (UCC) [6]. Se puede observar, además, que sólo superan la concentración promedio de ΣREE de la corteza continental superior (del orden de 100 ppm), algunas brechas y vetas hidrotermales, mientras que, en general, las rocas extrusivas (tobas y andesitas) y rocas intrusivas (granodioritas y dioritas) muestran una concentración considerablemente menor. En este caso, estas últimas corresponden a la roca de caja (roca primaria) de una alteración hidrotermal que da origen a las brechas y rocas hidrotermales mineralizadas (roca secundaria). Este proceso geológico habría facilitado el enriquecimiento de REE en las rocas hidrotermales y el empobrecimiento relativo en las rocas de caja adyacentes. Sin embargo, se observa que las rocas hidrotermales no tienen un único patrón de comportamiento geoquímico, por lo que el enriquecimiento no es homogéneo. Esto sugiere que otros factores, que no fueron analizados en este trabajo, influyeron en esta distribución: composición química y origen del fluido hidrotermal que produjo la alteración y cambios en las condiciones de presión y temperatura que favorecen o inhiben la precipitación de algunos minerales, entre otros.

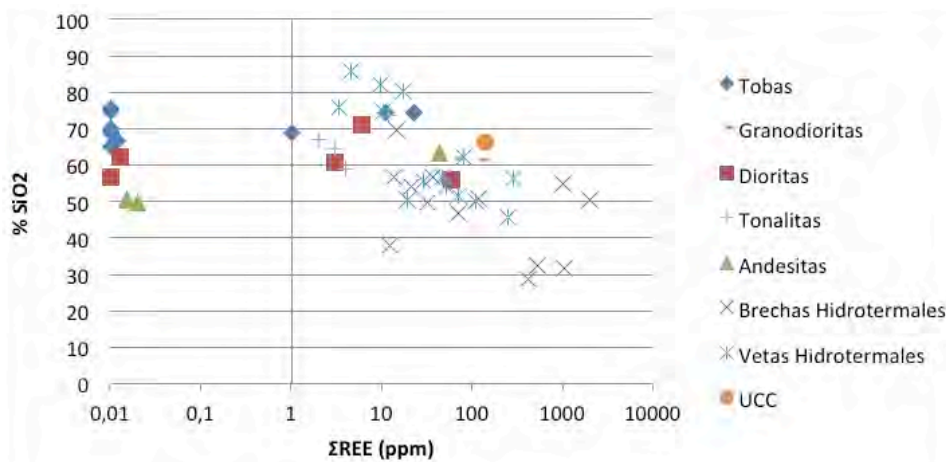


Figura 2: Suma de la concentración de REE (ΣREE) en escala logarítmica según el contenido de sílice de las rocas representativas de los casos de estudio [7], [8], [9], [10], [11]. UCC corresponde al valor promedio de la corteza continental superior [6].

En el caso de la geoquímica de minerales, el análisis se realizó según el tipo de mineral y su concentración en ΣREE y en vanadio. En la Figura 3a) se puede observar que la monacita tiene concentraciones de hasta cuatro órdenes de magnitud más alta que el promedio de la corteza terrestre. El apatito, en cambio, muestra concentraciones muy variables, que pueden alcanzar hasta dos órdenes de magnitud más altos que el promedio cortical. El rutilo, por su parte, tiene contenidos de ΣREE más bajos que el apatito y la monacita, cercanos a la composición de la corteza terrestre. La Figura 3b) muestra que la magnetita tiene contenidos variables de vanadio, de hasta 2.000 ppm, los cuales superan en dos órdenes de magnitud a la concentración media en la corteza superior terrestre. Por otra parte, los datos de anfíbola documentados no tenían contenido alguno de REE ni de vanadio, por lo que no aparecen graficados en estas figuras.

El mineral identificado que tiene las mayores concentraciones de REE es la monacita, la cual aparece descrita en la bibliografía como inclusiones dentro del apatito. Por otra parte, las concentraciones de

vanadio en magnetita podrían llegar a ser significativas. Dado que el apatito y la magnetita son minerales comunes en este tipo de depósitos, es necesario evaluar si estos elementos podrían ser extraídos exitosamente como subproductos en la explotación de los yacimientos IOCG. Por ejemplo, actualmente existen métodos de separación selectiva para el apatito y REE. Éste consiste en una flotación primaria de apatito (proceso selectivo ya existente), una molienda más fina para el concentrado obtenido y una flotación específica final de REE [1].

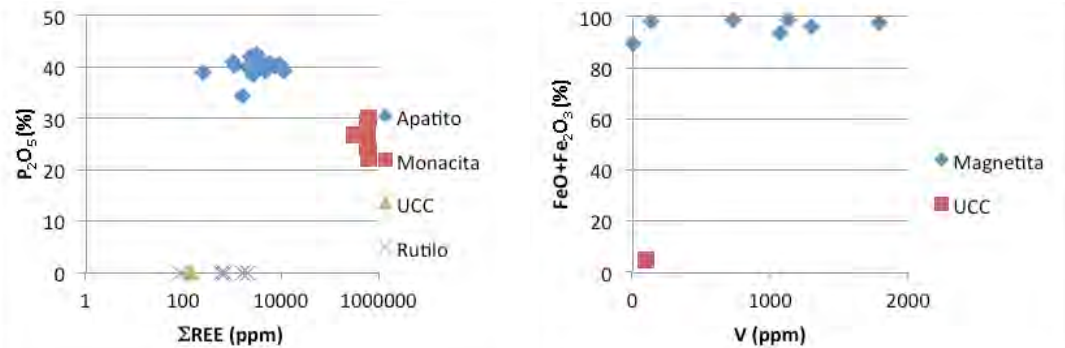


Figura 3: a) Suma de la concentración de REE (ΣREE), en escala logarítmica, en muestras minerales de apatito, rutilo y monacita versus P_2O_5 . b) Concentración de vanadio versus $FeO+Fe_2O_3$, en muestras minerales de magnetita. UCC corresponde al valor promedio de la corteza continental superior [4], [12], [7], [6], [10], [13].

CONCLUSIONES

Las REE son elementos que están presentes en Chile en concentraciones superiores al promedio de la corteza terrestre, lo cual hace llamativa una exploración más exhaustiva. Todas las minas analizadas -Carmen de Fierro, Mantoverde, Cerro Negro Norte y Productora- tienen un contenido alto de cobre y hierro, particularmente, por lo que incluir un tercer elemento de explotación como las REE podría significar grandes ventajas económicas.

La mineralización de REE se produce en las etapas de alteración de fluidos hidrotermales, por lo que no se podrá encontrar concentraciones económicamente interesantes de estos elementos en las rocas extrusivas e intrusivas del arco magmático del Jurásico-Cretácico Inferior. En cambio, en las rocas hidrotermales (brechas y vetas) el proceso pudo estar acompañado de un enriquecimiento significativo.

De los minerales estudiados, el más interesante es el apatito, el cual puede contener, el cual puede contener inclusiones de monacita, uno de los principales minerales portadores de REE. Sin embargo, se documentaron apatitos sin REE, lo que sugiere que debe precisarse mejor las condiciones geológicas en las cuales ocurrió este proceso. La factibilidad de la explotación económica de REE en estos yacimientos dependerá directamente de la cantidad de apatito y de la concentración de monacita que estos puedan presentar. Actualmente, el apatito se trata como **estéril** en las explotaciones de hierro y cobre.

PRINCIPIO CIENTÍFICO UTILIZADO

Los minerales pueden tener estructura interna simple o compleja. En general, una complejidad mayor está dada por la capacidad de alguno de sus componentes básicos de ser reemplazado por iones de similar radio iónico, valencia y/o comportamiento químico. Este intercambio puede ocurrir en la naturaleza, simultáneamente, con uno o más elementos. Por esta razón, aunque un mineral tiene una fórmula química estándar, puede contener pequeñas cantidades de otros elementos en su red, denominados elementos trazas.

En este trabajo se evalúa la capacidad que poseen algunos minerales comunes de los yacimientos en estudio, para contener elementos trazas tales como REE (ejemplo: La^{3+} , Ce^{3+4+} , Nd^{3+}) y V^{3+} . También se analiza la composición química de distintos tipos de rocas asociadas genéticamente a estos depósitos. Los minerales analizados son los siguientes [14]:

a) **Anfibola**. Corresponde a un silicato complejo cuya fórmula general es $A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}(OH, F)_2$. Su iones se distribuyen según las posiciones de A= (Na, K); B= (Na, Ca, Mg, Fe^{2+}); C = (Mg, Fe^{2+} , Al, Fe^{3+}); T: (Si, Al). En este caso, el Ca (posición B), a su vez, puede ser reemplazado por Ce, La, Y, Th.

b) **Apatito**. Corresponde a un fosfato cálcico con fórmula $Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$, donde el Ca puede ser reemplazado por Ce, La, Y, Th. Si esta sustitución ocurre en gran cantidad, puede llegar a convertirse en un nuevo mineral denominado **Monacita** cuya fórmula es $(La, Ce, Nd, Th) PO_4$.

c) **Magnetita**. Corresponde a un óxido de hierro cuya fórmula química es $FeO \cdot Fe_2O_3$. En este caso, el Fe^{3+} puede ser reemplazado por (Al, V, Cr), mientras que el Fe^{2+} puede ser reemplazado por (Ni, Co, Zn, Mg, Mn, Ca, Ti).

d) **Rutilo**. Corresponde a un óxido de titanio con fórmula TiO_2 , en el cual el Ti puede ser reemplazado por La, Ce o Nd.

GLOSARIO

Alteración Hidrotermal: proceso geológico que produce cambios físicos y químicos en la roca producto de la circulación de fluidos hidrotermales a alta temperatura.

Ambiente Geológico: condiciones y procesos geológicos que dieron origen al objeto geológico de interés. En este caso, un depósito mineral.

Arco Magmático: franja de actividad volcánica e intrusiva en un ambiente de subducción.

Corteza Continental Superior: parte superior de la corteza terrestre, la cual forma los continentes.

Elemento Mayor: elemento cuya concentración, dentro de una muestra, alcanza el orden de partes por ciento (%).

Elemento Menor o Traza: elemento cuya concentración, dentro de una muestra, es del orden de partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb).

Estéril: mineral sin valor económico que se extrae en una explotación minera.

Lantánidos: conjunto de elementos que forman parte del periodo 6 de la tabla periódica. Se caracterizan por estar llenando el orbital 4f, lo cual hace que tengan propiedades atómicas similares.

Lineamiento: estructura lineal de carácter morfológico y de escala regional, que puede ser identificado en un mapa geológico o imagen satelital.

Mineral: compuesto químico inorgánico natural ordenado, el cual tiene características físico-químicas propias que dependen de su estructura interna.

Red Cristalina: estructura que toman los minerales en su forma cristalina. Ésta se caracteriza por ser un patrón ordenado de elementos químicos.

Roca: agregado natural coherente de minerales.

Roca Extrusiva: roca ígnea formada por el enfriamiento rápido de magna en superficie. Ejemplo: andesita y toba.

Rocas Hidrotermales: rocas formadas por la interacción de una roca in-situ con fluidos hidrotermales. Suelen estar mineralizadas, es decir, contener minerales con elementos económicamente rentables. Ejemplo: brecha y veta hidrotermal.

Roca Intrusiva: roca ígnea formada por el enfriamiento lento de magma bajo la superficie. Ejemplo: granodiorita y diorita.

Tabla Geoquímica: tabla que contiene la concentración de los elementos químicos identificables en la muestra (roca o mineral). Esta concentración se obtiene mediante algún método químico de medición.

Zona de Falla Atacama: zona de falla geológica, de más de 1.000 km de largo, asociada a lineamientos de rumbo preferencial norte-sur, que se localiza en la Cordillera de la Costa entre Iquique y La Serena.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al proyecto de colaboración DICTUC-Minería Activa S.A “Naturaleza y potencial de exploración de las Tierras Raras en yacimientos de óxidos de Fe-Cu-Au andinos” por su contribución en la selección de los depósitos representativos para este estudio.

REFERENCIAS

1. BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. Rare Earth Elements Profile [En Línea]. Nottingham: Noviembre 2011. Disponible en Web: <http://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=1638>.
2. ESTURILLO, J. Esas escasas y cotizadas Tierras Raras. Revista Qué Pasa Minería, pp. 70-76. Edición 9 de abril de 2012. Santiago, 2012.
3. SILLITOE, R H. Iron oxide-copper-gold deposits: An andean view. Mineralium Deposita, 38, pp. 787-812, 2003.
4. BONSON, C. Fracturing, Fluid processes and mineralization in the cretaceous continental magmatic arc of northern Chile (25°15'-27°15'S). Ph. D. Thesis, no publicada, Kingston University, Londres, 1998.
5. SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. Mapa Geológico de Chile. Escala 1:1.000.000, 2002.
6. TAYLOR, S. R.; MCLENNAN, S. M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Blackwell (Oxford), pp. 312, 1985.
7. RAAB, A. Geology of Cerro Negro Norte Fe-Oxide (Cu-Au) District, Coastal Cordillera, Northern Chile. Thesis, Oregon State University, Junio, 2002.
8. RAY, G. E., DICK, L.A. The Productora prospect in north-central Chile: And example of an intrusion-related, candelaria type Fe-Cu-Au hydrothermal system. Porter T.M. (Ed.) Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective, Volume 2; PGC Publishing, Adelaide, pp. 131-151, 2002.

9. RIEGER, A., MARSCHIK, R., DÍAZ, M., HÖLZL, S., CHIARADIA, M., AKKER, B., SPANGENBERG, J. The Hypogene Iron Oxide Copper-Gold Mineralization in the Mantoverde District, Northern Chile. *Economic Geology*, v. 105, pp. 1271-1299, 2010.
10. TREOLAR, P.J., COLLEY, H. Variations in F and Cl contents in apatites from magnetite-apatite ores in northern Chile, and their ore-genetic implications, *Mineralogical Magazine*, Vol. 60, pp. 285-301, April, 1996.
11. VIVALLO, W., ESPINOZA, S., HENRÍQUEZ, F. Metasomatismo y alteración hidrotermal en el depósito ferrífero Cerro Negro Norte, Copiapó, Chile. *Revista Geológica de Chile*, Vol 2, No 1, pp. 75-88, 7 Figs, Julio, 1995.
12. HENRÍQUEZ, F., DOBBS, M., NYSTRÖM, J.O. Caracterización geoquímica de Magnetita, Apatita y Anfíbola del yacimiento de Hierro Carmen, Región de Atacama, Chile. *Actas 6º Congreso Geológico Chileno, Viña del Mar*, pp. 5-9, 1991.
13. VELASCO, F., TORNOS, F. Origen de las pegmatitas de magnetita-apatito de la mina Carmen del Fierro (Atacama, Chile). *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, macla N°11, 2009.
14. DEER, W.A., HOWIE, R.A., ZUSSMAN, J. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. 2da Edición. Londres: Longman, 1992.

EQUIPO DE INVESTIGADORES

- 1 Daniel Werner
- 2 Rodrigo Gomila
- 3 Profesora Gloria Arancibia





Implementación, aplicación y evaluación de la herramienta computacional XSEOS en el curso de Termodinámica

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

Martín Fuenzalida¹, Alumno de tercer año

J. Ricardo Pérez-Correa¹, Profesor Titular

José Cuevas-Valenzuela¹, Profesor Asistente Adjunto

¹DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOPROCESOS

INTRODUCCIÓN

Termodinámica es un curso fundamental en la formación de los alumnos de la Escuela de Ingeniería UC. En este curso, los alumnos (de segundo y tercer año, sin especialidad definida) desarrollan las competencias para analizar y diseñar, conceptualmente, máquinas térmicas como plantas de poder, motores, sistemas de refrigeración y bombas de calor de gran relevancia para la industria. Una de las competencias fundamentales es aplicar balances de energía y entropía (primera y segunda leyes de la termodinámica) para describir el funcionamiento y eficiencia de máquinas térmicas y determinar, así, parámetros relevantes para su diseño.

Para ello, los alumnos deben conocer, previamente, las propiedades de los fluidos involucrados en la operación de las máquinas térmicas que se están analizando. Dichas propiedades pueden ser obtenidas a partir de bases de datos experimentales (por ejemplo, tablas o programas que compilan este tipo de información)

o calculadas usando modelos termodinámicos estándares. Para el caso de compuestos comunes, como el agua, existe vasta información experimental compilada en tablas que permiten estimar sus propiedades en función de temperaturas y presiones. Sin embargo, existen compuestos para los que, prácticamente, no existe información experimental o ésta no está disponible para los alumnos. En estos casos, se debe recurrir a modelos, como la ecuación de gases ideales o **ecuaciones de estado (EoS)**, como van der Waals (vdW), Peng-Robinson (PR) o Redlich-Kwong (RK). La ecuación de gases ideales es un modelo simple y fácil de aplicar, lo que la convierte en una herramienta de enseñanza de gran valor. Por otro lado, las ecuaciones de estado vdW, PR y RK son modelos más complejos que requieren un análisis más profundo y cuya aplicación y entendimiento exigen el uso de herramientas computacionales sofisticadas. Éstas deben facilitar el proceso de aprendizaje de los alumnos y fortalecer el desarrollo de las competencias del curso.

En este trabajo se describe la implementación, aplicación y evaluación de XSEOS [1], una herramienta computacional fácil de usar y de libre acceso para todos los alumnos. XSEOS es un complemento de Excel que permite calcular propiedades termodinámicas a partir de EoS como vdW, PR y RK y modelos de energía libre de Gibbs que, de otra forma, tomaría bastante tiempo y esfuerzo resolver. Como primera etapa, se analizan en profundidad las características y capacidades de esta herramienta. Luego, se desarrollan nuevas funciones y aplicaciones de XSEOS, útiles para la enseñanza de EoS en el curso de Termodinámica. Finalmente, se evalúa el uso de XSEOS y su contribución al desarrollo de competencias en el curso de Termodinámica del segundo semestre de 2012.

METODOLOGÍA

Con el fin de implementar adecuadamente XSEOS en el curso de Termodinámica, se analizaron previamente sus características, funcionalidades y capacidades. En particular, se probaron cada una de las EoS y funciones integradas en XSEOS y se resolvieron problemas básicos incluidos en el complemento (descritos en Ref. [1]) y otros de mayor complejidad.

En una segunda etapa (también previa al curso) se desarrollaron nuevas funciones de XSEOS para el cálculo de **entalpía** y **entropía** ideales (h^{ideal} y s^{ideal}) de fluidos, propiedades fundamentales para el uso de EoS. Originalmente, ambas propiedades debían ser obtenidas de literatura e ingresarse manualmente a XSEOS, lo que resultaba lento y engorroso. Las nuevas funciones utilizan una serie de polinomios que permiten obtener h^{ideal} y s^{ideal} para un sinnúmero de compuestos y en un amplio rango de temperaturas. Estos polinomios son dados por las Ecuaciones 1-3 [2]:

$$\frac{C_p^{ideal}}{R} = a_1 T^{-2} + a_2 T^{-1} + a_3 + a_4 T + a_5 T^2 + a_6 T^3 + a_7 T^4 \quad (1)$$

$$s^{ideal} = \int_{T_0}^T \frac{C_p^0}{T} dT - R \ln \frac{P}{P_0} \quad (2)$$

$$h^{ideal} = \int_{T_0}^T C_p^0 dT \quad (3)$$

donde C_p^{ideal} es el calor específico ideal a presión constante, R es la constante de gases ideales, T es la temperatura, T_0 es la temperatura de referencia, P es la presión, P_0 es la presión de referencia y los términos a_i son constantes que dependen del fluido en estudio y que fueron extraídas de Ref. [3]. Estas constantes están integradas a las nuevas funciones de XSEOS, por lo que el usuario sólo debe ingresar el nombre del fluido, la temperatura y la presión, para calcular la entalpía y entropía ideales.

También se desarrollaron nuevas aplicaciones para XSEOS, entre las cuales se encuentra el cálculo de volúmenes de distintos compuestos (por ejemplo, agua y refrigerantes) y la descripción de las propiedades de saturación del oxígeno. La primera permite obtener volúmenes usando distintas EoS, comparar los resultados con datos experimentales y validar la precisión de los cálculos. La segunda permite calcular todas las propiedades necesarias para definir el equilibrio de fases del oxígeno en un rango amplio de temperaturas. Ambas aplicaciones son fundamentales para entender cómo se usa XSEOS y comprender la utilidad de las EoS para calcular propiedades termodinámicas esenciales para la descripción y diseño de diversos sistemas.

Luego, XSEOS fue implementado en el curso de Termodinámica del segundo semestre de 2012. Se capacitó a los alumnos a través de talleres y se facilitaron manuales de instalación y uso de la herramienta. Sus características básicas, y las nuevas funcionalidades desarrolladas, se aplicaron para explicar el uso de ecuaciones de estado como vdW, PR y RK, comprender la importancia del cálculo de propiedades termodinámicas y describir la operación de equipos y máquinas térmicas. En particular, se aplicó XSEOS para resolver

un **ciclo termodinámico de Rankine** complejo, máquina térmica fundamental para la generación de potencia a nivel industrial. Esta aplicación se incluyó en una tarea que los alumnos tuvieron que desarrollar en grupos y entregar hacia el final del curso de Termodinámica.

Finalmente, se evaluó la percepción de los alumnos respecto al uso de XSEOS y su contribución al desarrollo de competencias del curso. Para ello, se utilizó una encuesta especialmente diseñada para identificar las falencias en el proceso de implementación y aplicación de XSEOS y generar propuestas para aprovechar, de mejor manera, sus capacidades en el futuro.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la etapa de implementación de XSEOS, se revisaron profundamente sus características y capacidades. Como resultado, se desarrolló un nuevo manual de instalación y uso de XSEOS, adecuado para su aplicación en el curso. En este nuevo manual se describen y explican cada una de las funciones y ecuaciones de estado incluidas en la herramienta, cuestión que no fue abordada adecuadamente en los documentos de apoyo originales de XSEOS. En particular, se incluyen cuadros resumen que permiten identificar los tipos de EoS, sus comandos en XSEOS y los parámetros requeridos para su uso (Tabla 1); también se muestran las distintas funciones que pueden utilizarse, en conjunto con las EoS para calcular propiedades específicas (Tabla 2). Todas las funciones y EoS fueron testeadas satisfactoriamente.

Tabla 1: Ecuaciones de estado (EoS) incluidas en XSEOS y los comandos y parámetros requeridos para su aplicación.

EoS	Comando XSEOS	Parámetros ^a
van der Waals	vdw	T_c, P_c, k
Redlich-Kwong	rk	T_c, P_c, k
Soave-Redlich-Kwong	srk	T_c, P_c, ω, k
Peng-Robinson	pr	T_c, P_c, ω, k
PR, quadratic mixing rule for b	prb2	T_c, P_c, ω, k
PR, for confined fluids	pra	T_c, P_c, ω, k
Patel-Teja-Valderrama	Ptv	T_c, P_c, ω, z, k
Stryjek-Vera	sv	$T_c, P_c, \omega, K1, k$
Predictive SRK	psrk	$T_c, P_c, c_1, c_2, c_3, a', b', c'$
Mattedi-Tavares-Castier	mtc	V_{inf}, Q_B, B, u_{00}

^a T_c - temperatura crítica, P_c - presión crítica, ω - factor acéntrico, z - factor de compresibilidad, k - parámetro de interacción binaria. Para $k1, c_1, c_2, c_3, a', b', c', V_{inf}, Q_B$ y u_{00} consultar referencia [1] o manual desarrollado por los autores.

Tabla 2: Funciones incluidas en XSEOS para el cálculo de propiedades determinadas. Estas funciones y sus parámetros son requeridos para la aplicación de cada EoS.

Función	Propiedad ^a	Parámetros ^a
vl o vv	v	R, T, P, x
soundspeedl o soundspeedv	ρ	
	$\frac{\partial P}{\partial \rho}$	
	$\frac{C_{p_r}}{R}$	
	$\frac{\partial P}{\partial T}$	
resl o resv	$\frac{g_R}{R}$	
	$\frac{h_R}{RT}$	
	$\frac{s_R}{R}$	
	$\frac{C_{p_r}}{R}$	
Inphil o Inphiv	$\ln \phi$	
P	P	R, T, v, x
residual	$\frac{g_R}{R}$	
	$\frac{h_R}{RT}$	
	$\frac{s_R}{R}$	
	$\frac{C_{p_r}}{R}$	

^a P - presión, T - temperatura, v - volumen molar, C_{p_r} - calor específico residual, h_R - entalpía residual, s_R - entropía residual, ϕ - fugacidad, g_R - energía de Gibbs residual, R - constante de los gases ideales y x - fracción molar.

Las nuevas funciones y aplicaciones desarrolladas para XSEOS fueron utilizadas para calcular el volumen a presión atmosférica de distintos fluidos comúnmente utilizados en ciclos de refrigeración y determinar las curvas de saturación del oxígeno para varias temperaturas. En el primer caso, se determinaron los volúmenes usando la ecuación de gases ideales y tres EoS diferentes (vdW, PR y RK) y se compararon con datos experimentales para conocer la precisión y capacidades de la aplicación. Los resultados para uno de los compuestos analizados (Refrigerante 134a, un compuesto usado en refrigeración doméstica y acondicionamiento de aire en automóviles) son mostrados en la Figura 1. Como puede verse, las EoS vdW, PR y RK correlacionan adecuadamente los volúmenes experimentales, aunque PR y RK presentan una mayor precisión. Por otro lado, la ecuación de gases ideales no conduce a buenos resultados.

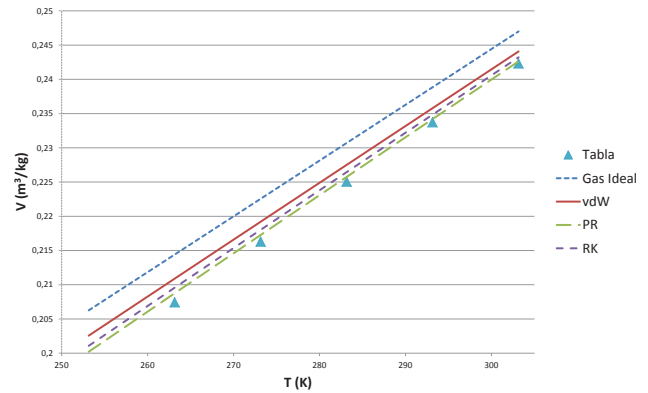


Figura 1: Comparación entre los volúmenes calculados con varias EoS usando XSEOS y aquellos experimentales obtenidos de tablas [4].

Para determinar las curvas de saturación del oxígeno, se utilizó la EoS PR y se resolvió el equilibrio líquido-vapor (ELV) del compuesto a través de la relación fundamental de fugacidades (f) en cada fase ($f^l(T_s, P_s) = f^v(T_s, P_s)$). Al resolver esta relación se obtuvieron las presiones de saturación (P_s) para distintos valores de temperatura (T_s) y se calcularon volúmenes, entalpías y entropías de saturación, todas propiedades que definen las condiciones en las que el oxígeno se encuentra como mezcla de dos fases (líquido y vapor) en equilibrio. Al graficar los valores calculados (curvas de saturación), y compararlos con datos experimentales [2], se puede ver cómo con una EoS relativamente simple se puede lograr una buena aproximación (Figura 2).

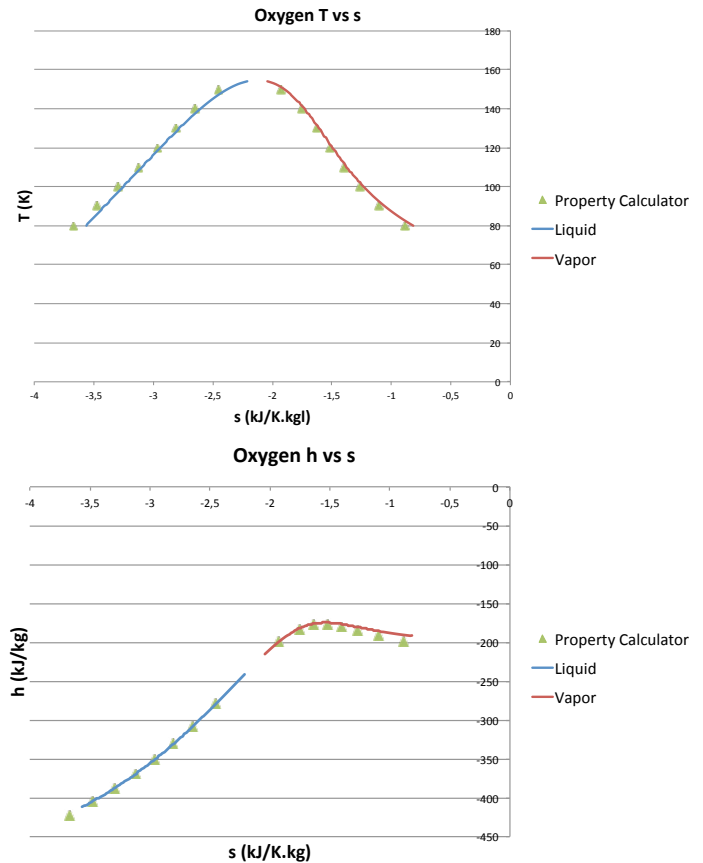


Figura 2: Curvas de saturación del oxígeno: (a) Temperatura- Entropía (b) Entalpía-Entropía.

Luego de la implementación y aplicación de XSEOS en el curso de Termodinámica (que incluyó talleres, actividades y tareas), 55 alumnos (de un total de 83) participaron en la evaluación de esta herramienta. Los resultados de esta evaluación (obtenidos a través de la aplicación de la encuesta descrita en la sección de Metodología) se muestran en la Tabla 3. Los números correspondientes a Evaluación corresponden al promedio de las percepciones de los alumnos respecto a una afirmación en particular (que son medidas en una escala de 1 a 5, donde 1 es muy en desacuerdo y, 5, muy de acuerdo). En general, las percepciones rondan la neutralidad y se presentan desviaciones estándares considerables. En cuanto a la implementación de XSEOS (instalación, uso y comprensión de la herramienta), existe una leve tendencia a una evaluación que demuestra mayor satisfacción (en términos cuantitativos, los valores promedios son cercanos a 4). Esto demuestra que los talleres de capacitación, las actividades complementarias y el manual desarrollados en el curso tuvieron una buena acogida y cumplieron con sus objetivos. Sin embargo, la disparidad en las respuestas (altas desviaciones estándares) indica que aún puede mejorarse bastante en este aspecto. Por ello, los talleres, el manual y las actividades complementarias serán revisados y reestructurados con el fin de lograr una mayor efectividad.

En cuanto a la contribución de XSEOS al desarrollo de competencias, los resultados son buenos, aunque no satisfactorios. Esto puede deberse a varios factores: (i) baja participación en talleres y actividades complementarias para aprender a usar y aplicar XSEOS; (ii) premura en la aplicación de XSEOS (los alumnos tuvieron poco tiempo para familiarizarse con la herramienta); (iii) alta dificultad de los problemas que los alumnos tuvieron que resolver con XSEOS (en particular el correspondiente a la tarea final) y (iv) poco entendimiento del concepto de competencia, su importancia y alcances. Todo lo anterior indica que XSEOS debe implementarse en forma gradual en el curso de Termodinámica, promoviendo una mayor participación en talleres y actividades complementarias y procurando relacionar contenidos y competencias del curso con cada una de las funcionalidades y capacidades de XSEOS.

Tabla 3: Resultados de la aplicación de la encuesta de evaluación de XSEOS en el curso de Termodinámica (promedio de percepciones). Cada alumno asignaba puntajes según la siguiente escala de percepción: (1) muy en desacuerdo, (2) desacuerdo, (3) neutral, (4) de acuerdo o (5) muy de acuerdo.

Afirmación	Evaluación	Desviación Standard
La instalación de XSEOS fue fácil y simple	3,8	1,4
XSEOS es fácil de utilizar	3,2	1,0
Los talleres de XSEOS fueron útiles para comprender su funcionamiento y aplicación	3,5	1,2
Entendí los cálculos que realicé con XSEOS	3,6	1,1
Leí y consulté el manual de XSEOS para la resolución de las tareas	3,4	1,4
(En caso de haber utilizado el manual) El manual fue de gran utilidad para la aplicación de XSEOS	3,4	1,1
Me siento capacitado para utilizar XSEOS en problemas parecidos pero no idénticos a los vistos en tareas y clases	3,1	1,0
XSEOS contribuyó al desarrollo de competencias esenciales para el entendimiento y aplicación de ciclos termodinámicos	2,7	1,1
XSEOS contribuyó al desarrollo de competencias esenciales para el entendimiento y aplicación de ecuaciones de estado	3,0	1,2
XSEOS es una herramienta importante para el proceso de aprendizaje en Termodinámica	2,9	1,0
Yo recomendaría continuar implementando XSEOS en futuros cursos de Termodinámica	3,3	1,2

CONCLUSIONES

Aunque los resultados de la encuesta de evaluación de XSEOS no fueron totalmente satisfactorios, el complemento de Excel, XSEOS, demostró ser una herramienta muy útil para la enseñanza y aplicación de ecuaciones de estado y el cálculo de propiedades fundamentales en Termodinámica. Por esto, se seguirá implementando en futuras versiones del curso, procurando incluir todas las modificaciones necesarias para aprovechar al máximo su potencial. En particular, se desarrollará una nueva estrategia de implementación y aplicación de XSEOS que promueva activamente la participación de los alumnos en su proceso de aprendizaje y que contribuya efectivamente al desarrollo de competencias esenciales para la formación de ingenieros.

PRINCIPIO CIENTÍFICO UTILIZADO

Las ecuaciones de estado (EoS) son muy útiles para el diseño y descripción de procesos industriales que involucran máquinas térmicas y principios termodinámicos. La aplicación de estas EoS exige el uso de herramientas computacionales que permitan realizar cálculos de manera simple y eficiente. Entre estas herramientas se encuentra XSEOS, un complemento de Excel de gran utilidad para adentrarse en el mundo de las EoS y desarrollar aplicaciones con distintos niveles de dificultad.

GLOSARIO

Ciclo de Rankine: Es un ciclo termodinámico que tiene como objetivo la conversión de calor en trabajo, constituyendo lo que se denomina un ciclo de potencia.

Ecuación de Estado: Es una ecuación constitutiva que describe el estado de agregación de la materia como una relación matemática entre la temperatura, la presión y el volumen.

Entalpía: Magnitud termodinámica cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico que opera a presión constante.

Entropía: Es una magnitud termodinámica que permite determinar la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a los alumnos y ayudantes del curso de Termodinámica (IIQ1003), sección dos, segundo semestre año 2012, por su colaboración con esta investigación.

REFERENCIAS

1. CASTIER, M., AMER, M. XSEOS: An evolving tool for teaching chemical engineering thermodynamics, Education for Chemical Engineers, Volume 6, Issue 2, April 2011, pp. e62- e70, [citado 15.3.2012] ISSN 1749-7728.
2. SANDLER, S. Chemical and Engineering Thermodynamics. 4ta ed. New York: Wiley, 2004, Cap. 6, pp. 28 [citado 20.3.2012] ISBN 0471661740.
3. MCBRIDE, B. Coefficients for Calculating Thermodynamic and Transport Properties of Individual Species. Washington D.C, September 2002, National Aeronautics and Space Administration, Office of Management, Scientific and Technical Information Program, pp. 52-218, [citado 18.6.2012] <<http://hdl.handle.net/2060/20020085330>>.
4. KLEIN, S.A., Property Calculator [computer program]. Versión 8.872 3D, 2011, [citado 5.5.2012] <http://www.fchart.com/assets/downloads/setup_property_calculator.exe>.

EQUIPO DE INVESTIGADORES

- 1 Martín Fuenzalida
- 2 Profesor J. Ricardo Pérez-Correa
- 3 Profesor José Cuevas-Valenzuela



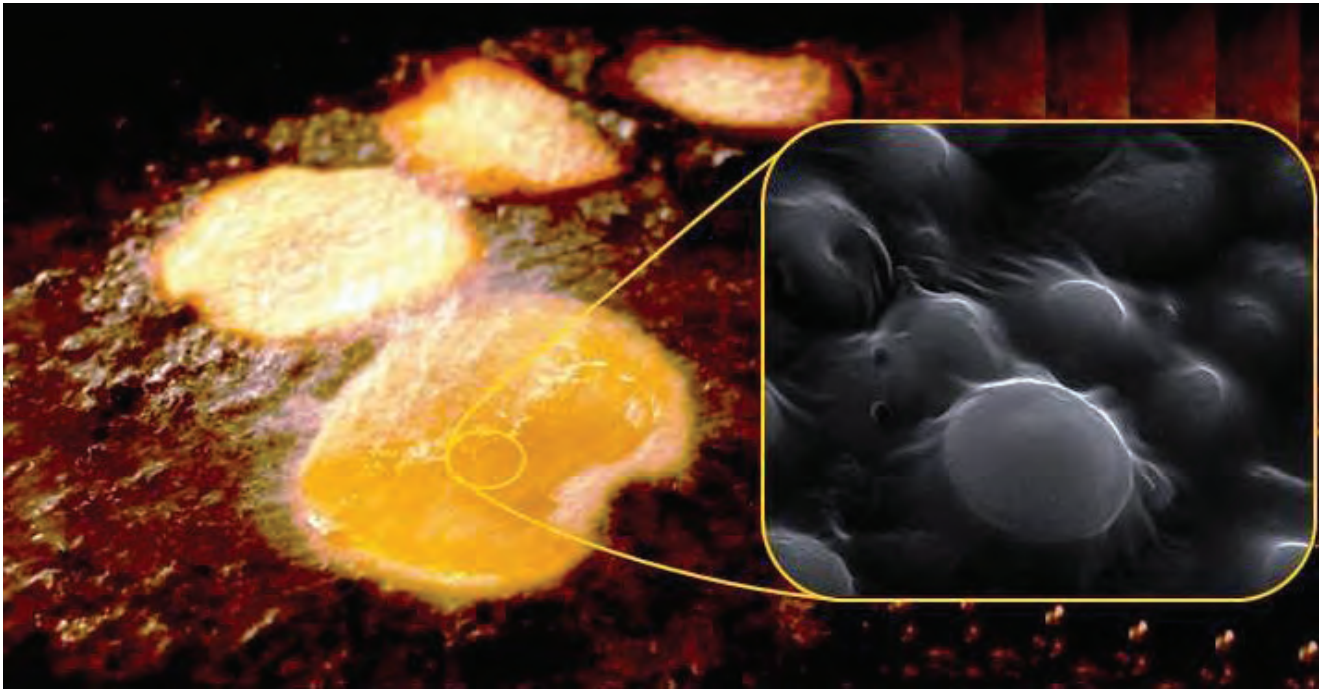
1



2



3



Incorporación de inulina en una matriz de almidón-gluten

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

Trinidad Schlotterbeck¹, Alumna de cuarto año

Verónica Dueik¹, Postdoctorando

Loreto Valenzuela¹, Profesora Asistente

Pedro Bouchon¹, Profesor Asociado

¹DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOPROCESOS

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la sociedad está interesada en llevar una vida más saludable y, con ello, exige alimentos más sanos. En este contexto, es de amplio interés estudiar la cantidad de aceite que absorben los productos fritos y los posibles mecanismos que permitan reducirlo, tal como la incorporación de fibras dietéticas. Las fibras dietéticas son ingredientes cada vez más usados en los productos alimenticios, con la finalidad de aportar beneficios nutricionales a los alimentos que las contienen.

La fibra dietética corresponde a la fracción de pared celular de plantas y está compuesta por lignina y polisacáridos no almidónicos [1]. Ésta puede clasificarse en dos grandes grupos según su solubilidad en agua: fibra soluble e insoluble, estando sus principales propiedades determinadas por su capacidad de retención del agua. La fibra soluble es aquella que forma una dispersión en agua; la cual conlleva a la formación de geles viscosos en el tracto gastrointestinal [1]. Están compuestas, principalmente, por polisacáridos no celulósicos, mientras que la insoluble está compuesta de celulosa, hemicelulosas y ligninas y se caracteriza por retener agua sin dispersarse en ella.

Para efectos de esta investigación se analizó la incorporación de un tipo de fibra soluble, llamada inulina, en un producto frito elaborado a base de gluten y almidón, con el fin de poder estudiar si existe relación entre la adición de la fibra y la disminución en la absorción de aceite durante el proceso de fritura. Dicha premisa se respalda con la hipótesis de que la incorporación de inulina permitiría reducir la absorción de aceite, debido a que promueve la formación de estructura, atrapando los gránulos de

almidón dentro de una matriz y formando una barrera efectiva a la absorción de aceite. Al respecto, cabe destacar que la incorporación de inulina se ha estudiado en pastas, estudios que concluyeron que la adición de esta fibra disminuye la liberación de glucosa durante la digestión, posiblemente debido a la menor disponibilidad del almidón en estas matrices [2]. Además, se observó que la textura, estructura, características de cocción y la calidad nutricional de las pastas están intrínsecamente ligadas con la incorporación de fibras. Otro estudio concluyó que la incorporación de inulina en masa de galletas reduce la degradación in vitro del almidón, provocando una disminución significativa en la liberación de azúcar [3].

El presente artículo resume los efectos benéficos de la incorporación de inulina en una matriz de almidón nativo y gluten, en relación a la absorción de aceite, textura y color, en comparación a las muestras sin fibra (control).

METODOLOGÍA

Materiales: Los materiales utilizados para la formulación de la masa -matriz alimentaria- son: almidón nativo de trigo, gluten de trigo, inulina y agua destilada. Para el proceso de fritura, se utilizó aceite de maravilla.

Preparación de las muestras: Se prepararon 5 formulaciones en que se variaron los contenidos de inulina y almidón nativo de trigo (0; 0,5; 5; 10 y 20% de inulina). Todas ellas contenían un 12% de gluten (bs) y 40% de humedad (bh). Los contenidos de almidón nativo de trigo e inulina se variaron de acuerdo a la Tabla 1. Cada formulación fue preparada en duplicado.

Tabla 1: Contenido de materias primas en los cinco tipos de muestras.

Muestras	Gluten [%bs]	Almidón [%bs]	Agua destilada [%bh]
Control/sin inulina	12	88,0	40
0,5% inulina	12	87,5	40
5% inulina	12	83,0	40
10% inulina	12	78,0	40
20% inulina	12	68,0	40

Para la elaboración de las muestras, se masó el porcentaje de almidón, gluten e inulina correspondiente a cada una de las cinco formulaciones. Primero, se mezclaron con cuchara los sólidos secos y, después, por 2 minutos a 40 rpm, en el mezclador 5K5SS (Kitchen Aid USA). Luego, se agregó la mitad del agua (a temperatura ambiente) distribuido durante 40 segundos y se mezcló por 1 minuto más. El resto de agua se adicionó aproximadamente a 90°C y se esperó 40 segundos para luego mezclar durante 1 minuto más. Con guantes plásticos, se juntó la masa, se generó una bola y se envolvió en el mismo guante para dejarla reposar por 1 hora. Luego, se laminaron las masas en una máquina laminadora LSB516 (Doyon, Canadá) hasta un espesor de 2 mm. Posteriormente, se cortaron las masas laminadas con un molde circular de 38 mm de diámetro, obteniéndose así, chips con **geometría infinita**. Los chips masaron mínimo 2,25 g y máximo 2,45 g. Finalmente, se frieron en aceite a 170°C, hasta alcanzar un 2% de humedad (base húmeda).

Análisis químicos y físicos: Una vez realizados los procesos básicos, se realizó el análisis químico y físico. Del resultado de cada batch de carga, 4 chips se usaron para determinar el contenido de aceite de las muestras y 6 para hacer análisis de color y textura. Cabe mencionar que primero se tomaron fotografías y después se hicieron análisis de textura, ya que durante dicho análisis (o este último), el chip se rompe.

Contenido de aceite: El contenido de aceite se determinó con soxhlet (**extracción sólido-líquido**). Los 4 chips se molieron usando un molinillo de café y se colocaron en papel filtro. Luego, se colocó el papel filtro dentro de un extractor, el cual se une en la parte superior por un condensador y en la inferior, con un balón que contiene éter de petróleo (agente separador). El balón se dejó en contacto con agua caliente por 4 horas, con el objetivo que, al evaporarse el éter, subiera hasta el condensador y, al condensarse, cayera al extractor en que se encuentra la muestra. Una vez lleno el extractor, sifonó y el ciclo se reinició. Con el proceso anterior, se extrajo el aceite de los sólidos y se masaron ambos por separado para determinar cuánto aceite fue absorbido.

Textura: El análisis de textura se realizó utilizando la máquina TA.XT2 Texture Analyzer, usando un test de apoyo en tres puntos. El objetivo fue medir la fuerza máxima requerida para romper el chip. Dicha fuerza se muestra en la figura 2, en la cual el valor reportado corresponde al promedio de 3 mediciones con su respectiva desviación estándar. De esta forma, fue posible representar la fuerza que deberían haber realizado los dientes para masticar y triturar el chip.

Color: El color se analizó con Adobe photoshop CS2. Para hacer el análisis correspondiente, 6 chips de cada muestra se ubicaron al centro de una caja cuadrada de paredes negras, que contenía 4 tubos fluorescentes que iluminaron las muestras homogéneamente, con una proyección de 45°. Una vez obtenida la fotografía, se analizaron con el programa antes indicado, con modo Color Lab. Para cada chip de cada muestra, se seleccionó un área representativa y se obtuvieron los análisis de luminosidad (L^*), cromaticidad verde-rojo (a^*) y cromaticidad azul-amarillo (b^*). Este análisis se realizó con el objetivo de determinar si se generaban diferencias de color entre los distintos chips. Es decir, verificar si era posible identificar si las distintas cantidades de aceite absorbidos por los chips producían variaciones de color.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se detallan los resultados, a excepción de la muestra con 20% de inulina. Esta masa no pudo ser laminada por la pegajosidad inmanejable que presentó.

Contenido de aceite: La Figura 1 muestra el contenido de aceite final de cada muestra. Se observa reducción al sustituir en un 5 y 10% el contenido de almidón nativo de trigo por inulina.

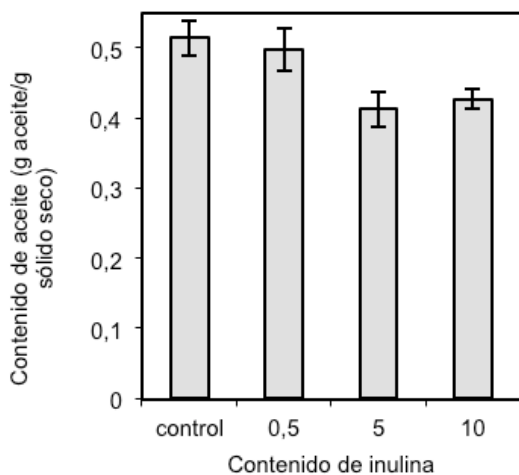


Figura 1: Contenido de aceite para el control y muestras con distintos porcentajes de inulina.

Los experimentales de los chips de matriz de almidón y gluten muestran que al reemplazar un 5% de almidón nativo por inulina, se presenta la menor absorción de aceite durante la fritura. Se ha estudiado la reducción en el contenido de aceite en rosquillas fritas al incorporar goma curdlan (0-1%), comprobando que la incorporación de esta goma, entre 0,7 y 1%, tiene menor efecto en la reducción de aceite que al incorporar un 0,5% [4]. Lo anterior concuerda con los resultados aquí descritos, lo que implicaría que posiblemente el efecto en la formación de estructura, al incorporar inulina, no genera mayores beneficios en cuanto a la reducción en la absorción de aceite al agregar más de 5% de fibra soluble.

Textura: La fuerza máxima para romper el chip se muestra en la Tabla 2 presentada a continuación.

Tabla 2: Análisis de textura de muestras control y muestras con distintos porcentajes de inulina.

Muestras	Fuerza, N	± s.d.
1A - Control sin inulina	10,942	1,109
1B - Control sin inulina	10,140	1,778
2A - 0,5% inulina	11,950	2,475
2B - 0,5% inulina	13,509	1,787
3A - 5% inulina	13,459	1,085
3B - 5% inulina	13,933	1,601
4A - 10% inulina	20,973	1,925
4B - 10% inulina	21,360	1,753

La incorporación de fibra soluble en un 0,5 y 5% no produjo diferencias significativas en la textura. Sin embargo, las muestras con 10% de inulina necesitaron el doble de fuerza que las muestras de control para romperlas, lo que refleja una directa proporción entre la cantidad de inulina agregada y la dureza que presenta el chip. Por lo tanto, los resultados podrían corroborar que la incorporación de inulina promueve la formación de estructura, ya que se requería mayor fuerza para romper los chips que contienen un mayor porcentaje de inulina.

Color: La Tabla 3 contiene las respectivas conversiones a la expresión $L^*a^*b^*$ de las fotografías digitales tomadas a los chips. A continuación, la Figura 2 muestra dichas fotografías.

Tabla 3: Análisis de color de muestras control y muestras con distintos porcentajes de inulina.

Muestras	\bar{L}^*	\bar{a}^*	\bar{b}^*
1A - Control sin inulina	74,735 ±0,825	10,215±0,611	45,973±1,761
1B - Control sin inulina	77,488±2,181	10,427±1,386	45,473±1,902
2A - 0,5% inulina	80,054±1,188	6,971±1,311	45,853±1,831
2B - 0,5% inulina	80,347±1,661	7,109±1,345	45,064±0,679
3A - 5% inulina	77,192±1,066	12,373±0,659	44,480±1,859
3B - 5% inulina	77,393±1,036	11,925±1,385	43,296±1,780
4A - 10% inulina	77,461±2,757	11,561±2,128	45,675±1,609
4B - 10% inulina	76,151±4,171	12,585±3,125	46,849±3,724

Muestra 1A: Control



Muestra 1B: Control



Muestra 2A: 0,5% inulina



Muestra 2B: 0,5% inulina



Muestra 3A: 5% inulina



Muestra 3B: 5% inulina



Muestra 4A: 10% inulina



Muestra 4B: 10% inulina



Figura 2: Imágenes digitales de muestras control y muestras con distintos porcentajes de inulina.

Según lo expuesto anteriormente en la Tabla 3, la incorporación de inulina en 0,5; 5 o 10% no afectan el color de los chips, ya que las coordenadas de color son similares en las distintas muestras realizadas.

CONCLUSIONES

Las muestras con 5 y 10% de inulina mostraron una reducción favorable del contenido de aceite (disminuyeron en un 14,7 y 13,2%, respectivamente). Dichos resultados podrían corroborar la premisa que, al incorporar la inulina en los chips se promueve la formación de estructura, atrapando los gránulos de almidón dentro de una matriz y formando una barrera efectiva a la absorción de aceite. El remplazo de un 0,5, 5 y 10% de almidón por inulina, no afectó la formulación de la masa y la laminación de ésta. No ocurrió de igual forma con la de 20%, la cual no fue posible laminar dada la condición pegajosa que desarrolló la masa tras el tiempo de reposo. Con el objetivo de desarrollar un estudio más cauto de la relación que podría existir entre incorporar fibras solubles y reducir la cantidad de aceite que absorben las matrices formuladas en base a almidón y gluten, es posible tener en consideración estudios a realizarse que incorporen otras gomas, tales como guar o xantana, que ya han sido utilizadas en la literatura.

PRINCIPIO CIENTÍFICO UTILIZADO

La investigación realizada tenía como objetivo comprender cómo se modifica el fenómeno de la transferencia de aceite hacia el interior de chips de almidón y gluten fritos, al incorporar distintos porcentajes de inulina. Por lo mismo, se buscó comprender si al incorporar inulina se modificaría la disponibilidad de almidón para absorber aceite. Los resultados obtenidos tras la investigación podrían corroborar la premisa que, al incorporar la inulina en los chips se promueve la formación de estructura, atrapando los gránulos de almidón dentro de una matriz y formando una barrera efectiva a la absorción de aceite, ya que al incorporar inulina entre un 0,5 y un 10% se redujo el contenido de aceite de los respectivos chips.

GLOSARIO

Almidón: Polisacárido compuesto por amilosa y amilopectina [10].

Extracción Sólido-Líquido: Operación unitaria que extrae solutos de una matriz sólida utilizando un solvente líquido.

Geometría Infinita: Geometría con área superficial significativamente mayor que su área lateral [11].

Gluten: Proteína presente en la prolamina del trigo, centeno, cebada y avena [9].

Lignina: Matriz formada por unidades de fenilpropano por condensación [1].

Polisacáridos No Almidónicos: Cientos de unidades de monosacáridos unidas entre sí [1].

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen el financiamiento del proyecto FONDECYT N°1100857.

REFERENCIAS

1. MATOS-CHAMORRO, A., CHAMBILLA, E. Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. *Revista de investigación en ciencia y tecnología de alimentos*, 1, pp. 4-17, 2010.
2. TUDORICÁ, C.M., KURI, V., BRENNAN, C.S. Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50, pp. 347-355, 2001.
3. BRENNAN, C.S., SAMYUE, E. Evaluation of starch degradation and textural characteristics of dietary fiber enriched biscuits. *International Journal of food properties*, 7, pp. 647-657, 2004.
4. FUNAMI, T., FUNAMI, M., TAWADA, T., NAKAO, Y. Decreasing oil uptake of doughnuts during deep-fat frying using curdlan. *Journal of food science*, 64, pp. 883-888, 1999.
5. ALBERT, A., PÉREZ-MUNUERA, I., QUILES, A., FISZMAN, S.M., HERNANDO, I. Adhesion in fried batteres nuggets: performance of different hydrocolloids as preduct using three cooking procedures. *Food hydrocolloids*, 23, pp. 1443-1448, 2009.
- AKDENIZ, N., SAHIN, S., SUMNU, G. Functionality of batters containing different gums for deep-fat frying of carrot slices. *Journal of Food Engineering*, 75, pp. 522-526, 2006.
6. BAJAJ, I., SINGHAL, R. Gellan gum for reducing oil uptake in sev, a legume based product during deep-fat frying. *Food chemistry*, 104, pp. 1472-1477, 2007.

7. GAZMURI, A.M., BOUCHON, P. Analysis of wheat gluten and starch matrices during deep-fat frying. Food chemistry, 115, pp. 999-1005, 2009.
8. MADRIGAL, L., SANGRONIS, E. La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. Archivos latinoamericanos de nutrición, 57, pp. 387-396, 2007.
9. CICLITIRA, P., ELLIS, H.J., LUNDIN, K. Gluten-free diet-what is toxic? Best practice & research clinical gastroenterology, 19, pp. 359-371, 2005.
10. LIU, H., XIE, F., YU, L., CHEN, L., LI, L. Thermal processing of starch-based polymers. Progress in polymer science, 34, pp. 1348-1368, 2009.
11. TURHAN, M., ERDOGDU, F. Error associated with assuming a finite regular geometry as an infinite one for modeling of transient heat and mass transfer processes. Journal of food engineering, 59, pp. 291-296, 2003.

EQUIPO DE INVESTIGADORES

- 1 Trinidad Schlotterbeck
- 2 Verónica Dueik
- 3 Profesora Loreto Valenzuela
- 4 Profesor Pedro Bouchon



1



2



3



4



Microbial Fuel Cells para el desarrollo de sistemas de biorremediación y biosensores de zonas contaminadas con arsénico

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

Javiera Anguita¹, Alumna de sexto año

Ignacio Vargas², Profesor Asistente

¹DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOPROCESOS

²DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL

INTRODUCCIÓN

En el norte de Chile existen lugares con altas concentraciones de arsénico. Un ejemplo es el río Lluta, en la región de Arica y Parinacota, donde el arsénico proviene, principalmente, de fuentes geotermales, afectando la productividad agrícola de la cuenca y la salud de sus habitantes. Para que las concentraciones se encuentren dentro del límite aceptado por la Organización Mundial de la Salud (WHO), $50 \mu\text{g L}^{-1}$ en agua [1], es necesario monitorear y controlar las fuentes naturales de arsénico y su reactividad con los sedimentos cercanos a las fuentes geotermales.

El arsénico es un metaloide que se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, con predominancia en ambientes acuosos de arsenito [As(III)] y arseniato [As(V)]. Destaca por su toxicidad en humanos y otras formas de vida, pudiendo provocar cáncer e incluso la muerte, siendo más tóxico el

arsenito que el arseniato debido a la estabilidad de sus reacciones. Sin embargo, existen microorganismos capaces de tolerar altas concentraciones, llegando incluso a utilizarlo en su metabolismo para la obtención de energía, mediante reacciones redox.

Microbial Fuel Cells (MFC) emerge como una nueva alternativa para estudiar microorganismos extremófilos y sus interacciones con los ciclos geoquímicos de elementos o contaminantes de interés, en particular aquellos que participan en la química del arsénico. Una MFC es un reactor electroquímico-biológico que actúa como una batería, transformando energía química, presente en desechos orgánicos, en energía eléctrica. Los microorganismos capaces de catalizar estas reacciones son denominados “electroquímicamente activos” [2]. Actualmente esta técnica puede ser aplicada para la producción de energía, el desarrollo de biosensores [3] o, incluso, la biorremediación de aguas contaminadas al cambiar, in situ, la especiación de un contaminante [4].

METODOLOGÍA

Se utilizaron sedimentos de la parte alta del río Lluta, en la región de Arica y Parinacota, sector cercano al volcán Tacora. Estos sedimentos poseen pH ácido y altas concentraciones de arsénico, hierro y materia orgánica. Análisis previos realizados sobre estos sedimentos revelan la presencia de microorganismos capaces de oxidar As(III), mecanismo que puede ocurrir intra o extracelularmente [5]. Para determinar la naturaleza de esta oxidación se utilizó un dispositivo MFC (kit MudWatt™ - MFC, Keego Technologies®) utilizando 0,3 L de sedimentos extraídos desde el sitio de estudio (Figura 1). Los electrodos utilizados como ánodo y cátodo en el reactor MFC son de esponja de carbón, un material poroso y conductor que favorece el crecimiento de biopelículas microbianas y permite la conducción de electrones.

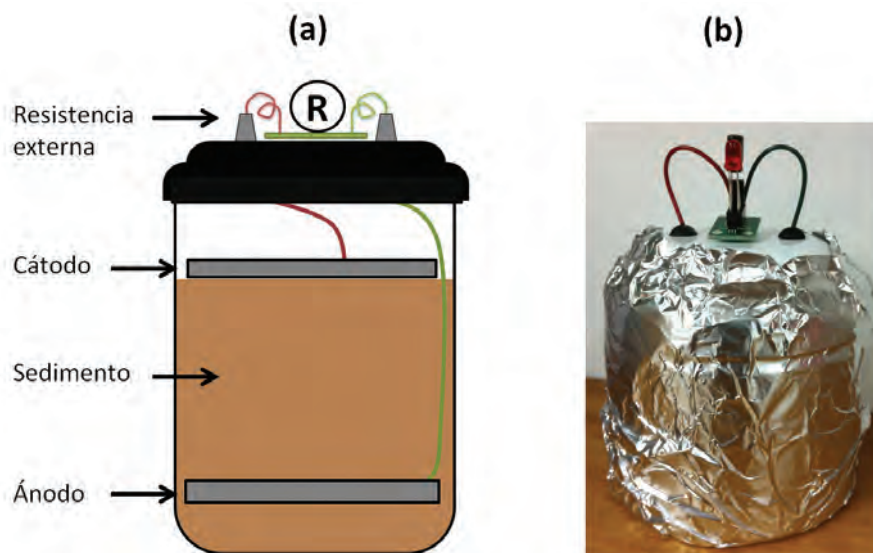


Figura 1: Microbial Fuel Cell utilizando sedimentos: a) esquema de MFC destacando el ánodo y el cátodo, b) fotografía de MFC cubierto con papel metálico.

Para caracterizar una MFC se utilizan principalmente 2 técnicas: curvas de polarización y curvas de potencia. Mediante ambas técnicas se puede: (i) determinar si el sedimento posee microorganismos electroquímicamente activos y (ii) caracterizar la MFC determinando las condiciones óptimas de funcionamiento (máxima potencia generada) y su resistencia interna. Ambos test se realizan simultáneamente conectando una resistencia externa y realizando un barrido desde resistencias externas bajas hacia resistencias externas altas [6], midiendo el voltaje generado y calculando la corriente a través de la ley de Ohm, Ecuación (1). Las curvas se realizaron en un intervalo de resistencias externas desde 1.000 Ω hasta 200.000 Ω , utilizando saltos de 1.000 Ω entre [1.000, 50.000], saltos de 5.000 Ω entre [50.000, 100.000] y saltos de 20.000 Ω entre [100.000, 200.000]. El voltaje fue registrado utilizando un datalogger modelo ADC-22 (Pico Technology Limited). Este test fue realizado ocho semanas después de la construcción de la MFC para permitir que los microorganismos se adaptaran a los electrodos.

$$\text{Intensidad de corriente (Ampere)} = \frac{\text{Voltaje (Volt)}}{\text{Resistencia (Ohm)}} \quad (1)$$

Para testear la hipótesis que microorganismos **electrotróficos** (capaces de tomar electrones como fuente de energía) utilizan la oxidación de arsénico como mecanismo extracelular de transporte de electrones desde la célula al cátodo, éste fue extraído y analizado (Figura 2). Se desarrollaron dos test para observar el crecimiento de microorganismos sobre el cátodo y cuantificar su efecto catalizador en la transferencia de electrones: (i) un test electroquímico (voltametría de barrido lineal) y (ii) microscopía epifluorescente.



Figura 2: Cátodo de Microbial Fuel Cells.

La voltametría de barrido lineal (LSV: acrónimo de su nombre en inglés) es utilizada para detectar posibles reacciones que ocurren a un voltaje determinado, realizando un barrido de voltaje y midiendo la corriente. Para realizar este test se utilizó una MFC cúbica (ver Figura 3), un electrodo de referencia de Ag/AgCl ($E^\circ = 0,22 \text{ V}$), un contraelectrodo de platino y el cátodo extraído de la MFC como electrodo de trabajo [7] y un potenciostato para controlar los electrodos. Se realizaron 3 pruebas, utilizando un barrido de voltaje desde $0,2 \text{ V}$ a $-0,8 \text{ V}$, utilizando intervalos de $0,02 \text{ V}$: (i) cátodo nuevo (sin bacterias), utilizando un medio de PBS [8] 50 mM y 2 g/L de acetato, (ii) **biocátodo** (cátodo extraído de MFC con sedimentos) un medio de PBS 50 mM y 2 g/L de acetato, (iii) biocátodo (cátodo extraído de MFC con sedimentos) un medio de PBS 50 mM , 2 g/L de acetato y $0,3 \text{ mg/L}$ de arseniato, As(V) .

Para la microscopía epifluorescente se utilizó el **fluoróforo** naranja de acridina al 1%, el que se une a las cadenas de ADN o ARN, dando muestra de la existencia de microorganismos en el electrodo. El fluoróforo se dejó actuar por 10 minutos para, luego, lavar con agua y observar al microscopio epifluorescente.

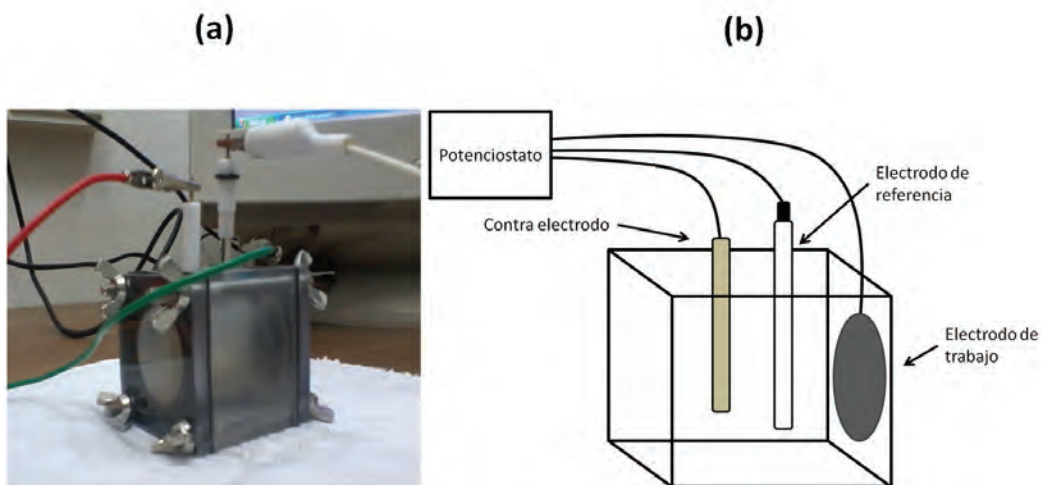


Figura 3: Celda electroquímica utilizada en las mediciones de voltametría lineal de barrido (LSV): a) Fotografía montaje utilizado en el laboratorio; b) Esquema de celda electroquímica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las curvas de polarización y potencia de la MFC, utilizando sedimentos, indican que la máxima potencia que puede generar la MFC es $0,22 \text{ mW/m}^2$ y que posee una resistencia interna de 15.000Ω (Figura 4). La potencia máxima es menor a los 18 mW/m^2 reportados para sedimentos con arsénico provenientes de Mono Lake, California [9]. Esto se puede deber a la alta resistencia interna del reactor, por lo tanto, si se logra reducir la resistencia interna de los sedimentos o aislar los microorganismos y utilizarlos en sedimentos con menor resistencia interna, la energía producida por unidad de área podría ser mayor. Además, esta capacidad de generar corriente eléctrica, aunque no sea de manera competitiva, posiciona a las MFCs como una herramienta para el estudio in situ de las reacciones redox que están ocurriendo en estos sedimentos.

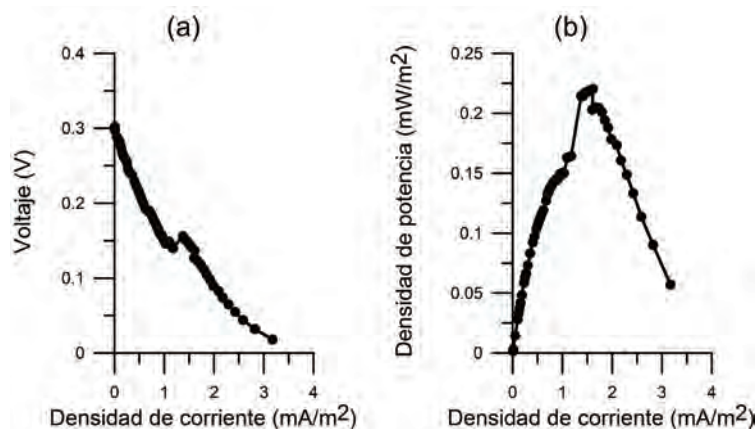


Figura 4: Curvas de polarización (a) y potencia (b).

Los resultados de la voltametría lineal de barrido (Figura 5) muestran mejoras en el rendimiento del cátodo a través de un aumento en el valor absoluto de la corriente, al cambiar el electrodo nuevo (abiótico) por el cátodo extraído de la MFC con sedimentos, probablemente debido a la acción microbiana. Sin embargo, al adicionar As(V) se observa una disminución del valor absoluto de la corriente medida, que sugiere la existencia de otros aceptores de electrones más eficientes energéticamente (poseen un mayor potencial de reducción). Un aceptor más eficiente energéticamente es el Fe(III) , el que se encontraba en los sedimentos y puede estar en el cátodo debido a que éste no fue lavado antes de realizar el test para no eliminar los microorganismos que pudiesen estar en la superficie, pero al adicionar As(V) , éste es utilizado en las reacciones catódicas.

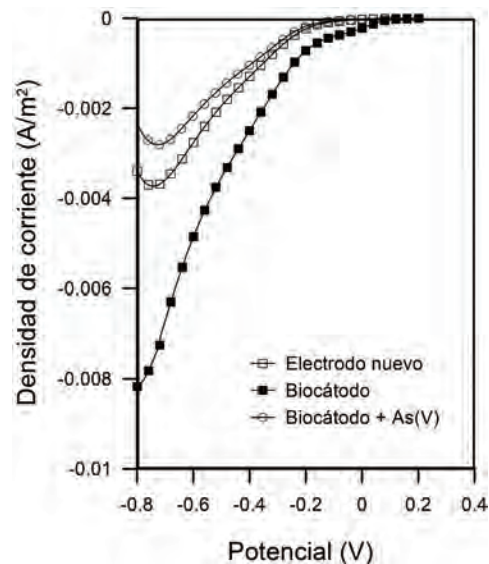


Figura 5: LSV del biocátodo comparado con un control abiótico (electrodo nuevo) en un medio ajustado a pH 5.

Al observar el cátodo en el microscopio epifluorescente se identificaron puntos luminiscentes asociados a la presencia de microorganismos creciendo sobre las fibras del electrodo (Figura 6). La observación de estos microorganismos y los resultados de LSV sugieren la ocurrencia de una catálisis biológica para la transferencia de electrones, probablemente a través de reacciones de oxidación y reducción de arsénico o hierro. Esta hipótesis debe ser comprobada con análisis más específicos que permitan saber si estos microorganismos poseen la capacidad de oxidar arsénico, para recircularlo en el cátodo.

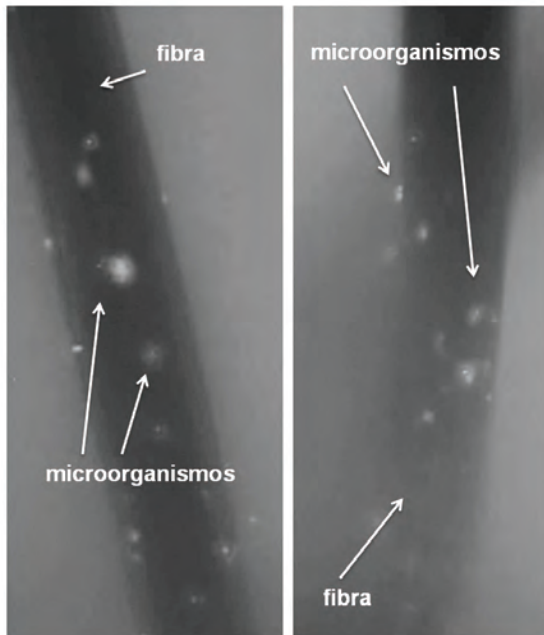


Figura 6: Cátodo observado mediante microscopía epifluorescente. Se pueden apreciar microorganismos (puntos luminiscentes) sobre las fibras del cátodo.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de la curva de polarización y curva de potencia de la MFC, utilizando sedimentos, muestran que estos poseen la capacidad de actuar como una pila con una alta resistencia interna 15.000Ω y un potencial máximo de $0,22 \text{ mW/m}^2$. Presumiblemente, esto se deba a bacterias exoelectrogénicas que son capaces de ceder electrones al ánodo y, a su vez, a bacterias electrotróficas que sean capaces de captar estos electrones en el cátodo. Además, las variaciones en la corriente, producto de la voltametría lineal de barrido, sugieren que los microorganismos están catalizando reacciones y que el arsénico puede estar envuelto en éstas, lo que concuerda con análisis previos que confirman la presencia del gen arsenito oxidasa en estos sedimentos.

La existencia de microorganismos en el cátodo, que se puede observar mediante la tinción con el fluoróforo que se une a ADN o ARN, confirma la presencia de microorganismos creciendo sobre las fibras del electrodo. Estos resultados refuerzan la hipótesis de una catálisis biológica de las reacciones de óxido-reducción necesarias para generar el potencial medido.

El entender las reacciones que están ocurriendo y quiénes las están catalizando permite preguntarse cómo es posible utilizar estos microorganismos para solucionar las problemáticas de zonas contaminadas con arsénico mediante biorremediación, disminuyendo su grado de movilidad y/o toxicidad, además de utilizar las MFC como biosensores, los que permitirán monitorear la concentración del contaminante mediante la señal eléctrica que está produciendo [3].

PRINCIPIO CIENTÍFICO UTILIZADO

Microbial Fuel Cell es un reactor electroquímico-biológico que transforma energía química en energía eléctrica utilizando microorganismos como catalizadores. La energía química se encuentra en los enlaces de un compuesto, como la materia orgánica, la que es oxidada cediendo electrones al ánodo. Estos electrones fluyen por un cable conductor generando la corriente eléctrica, los que finalmente llegan hasta el cátodo, donde son utilizados para la reducción de un compuesto como As(V) (ver Figura 7a) [2].

Los microorganismos que catalizan las reacciones en una MFC se denominan electroquímicamente activos (EAB) pues poseen la particularidad de exportar electrones, recibiendo el nombre de **exoelectrogénicos**, de aceptar electrones desde el exterior, recibiendo el nombre de **electrotróficos**. La transferencia de electrones, desde el electrodo hacia el microorganismo, puede realizarse mediante tres mecanismos: contacto directo, nanocables y transportadores [10].

Los transportadores son moléculas capaces de transportar los electrones desde el electrodo hacia el microorganismo, el arsénico puede ser un transportador catódico el que se reduce en el cátodo y se oxida por acción del microorganismo que lo utiliza como fuente de energía (ver Figura 7b).

Oxidación biológica en el ánodo: Materia Orgánica \rightarrow CO₂ + e⁻ + H⁺

Reducción química en el cátodo: As(V) + e⁻ \rightarrow As(III)

Recirculación de arsénico por oxidación biológica: As(III) \rightarrow As(V) + e⁻

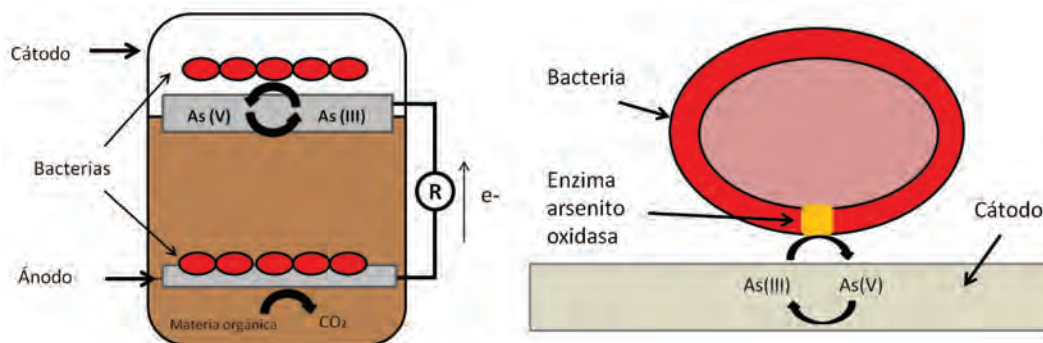


Figura 7: a) Esquema de una MFC que utiliza materia orgánica como dador de electrones en el ánodo, arsénico como aceptor de electrones en el cátodo y recirculación biológica de arsénico. b) Esquema de la reacción propuesta de oxidación biológica de As(III) y reducción química de As(V).

GLOSARIO

Biocátodo: Electrodo en el que, mediante catálisis biológica, se produce una reacción de reducción.

Electrotrófico: Capacidad de algunos microorganismos para captar electrones desde el extracelular.

Exoelectrogénico: Capacidad de algunos microorganismos para ceder parte de los electrones al medio extracelular.

Fluoróforo: Molécula que posee la capacidad fluorescer, debido a que absorbe radiación a una cierta longitud de onda y emite radiación a una longitud de onda menor.

Microbial Fuel Cell: Celda de combustible que utiliza microorganismos como catalizadores de las reacciones de óxido-reducción.

Microscopía de Epifluorescencia: Técnica que utiliza un microscopio óptico, en el que la luz incide en la muestra y, parte de esta luz, es absorbida por el fluoróforo para luego emitir radiación y generar la fluorescencia.

Redox: Reacciones de oxidación y reducción.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto FONDECYT 11110112/2011. Agradecimientos a Eduardo Leiva, alumno de doctorado del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (bajo la supervisión del profesor Pablo Pastén), por entregar información geoquímica del lugar, de gran importancia para la elaboración de este trabajo, y a Max Felis, alumno de pregrado de Ingeniería Civil mención Biotecnología, por su colaboración en la tinción del ADN y ARN.

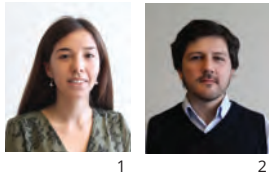
REFERENCIAS

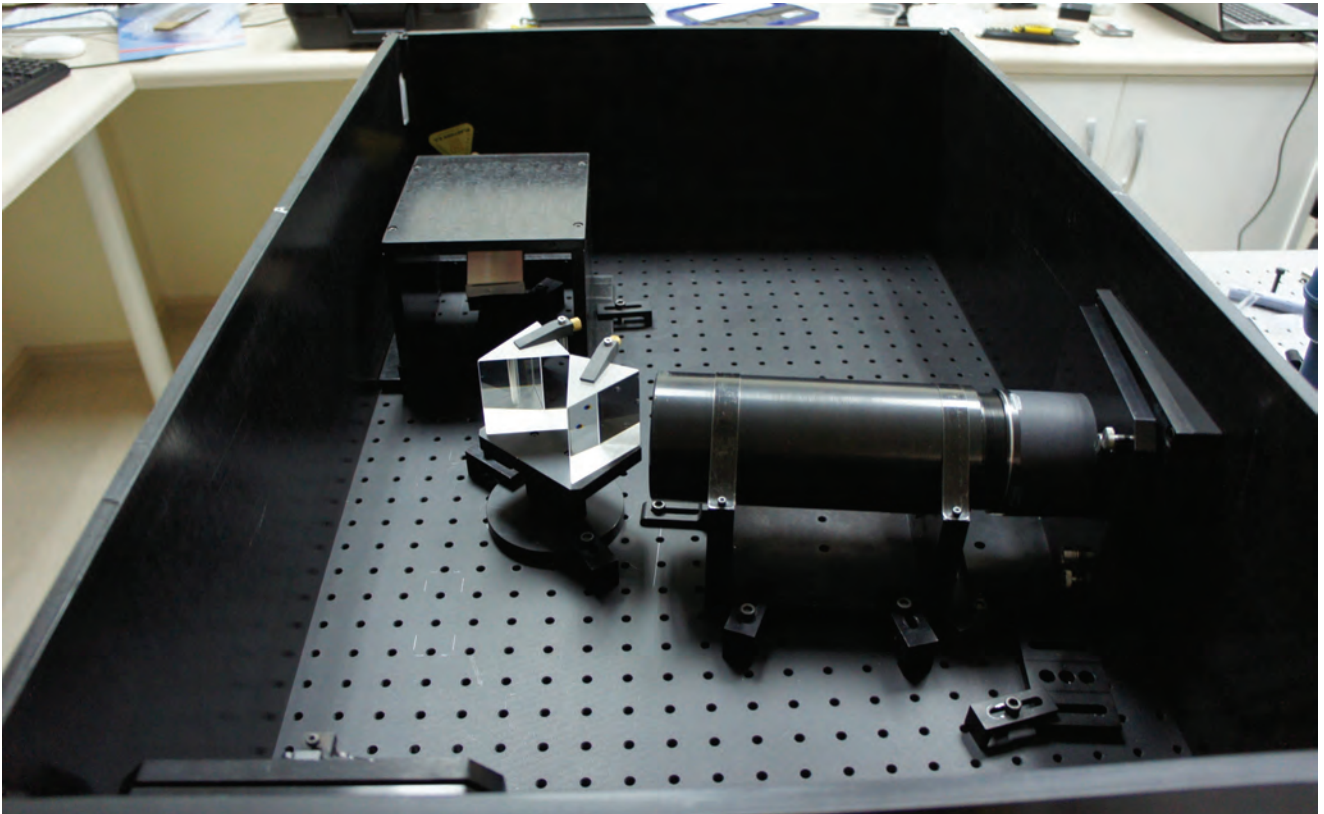
1. OMS, Environmental Health Criteria 224: Arsenic and arsenic compounds. Organización Mundial de la Salud, 1993.
2. LOGAN, B.E., REGAN, J. M. Microbial Fuel Cells Challenges and Applications. Environmental Science & Technology, 40(17): pp. 5172-5180, 2006.
3. NAMOUR, P., JAFFREZIC-RENAULT, N. Sensors for measuring biodegradable and total organic matter in water. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 29(8): pp. 848-857, 2010.
4. ZHANG, Y., ANGELIDAKI, I. Bioelectrode-based approach for enhancing nitrate and nitrite removal and electricity generation from eutrophic lakes. Water Research, 2012(0).
5. Lloyd, J.R., Orenland, R.S. Microbial transformations of arsenic in the environment: From soda lakes to aquifers. Elements, pp. 85-90, 2006.
6. LOGAN, B.E., ET AL. Microbial fuel cells: Methodology and technology. Environmental Science & Technology, 40(17): pp. 5181-5192, 2006.
7. PISCIOTTA, J.M., ET AL. Enrichment of Microbial Electrolysis Cell Biocathodes from Sediment Microbial Fuel Cell Bioanodes. Applied and environmental microbiology, 78(15): pp. 5212-5219, 2012.
8. LOGAN, B., ET AL. Graphite fiber brush anodes for increased power production in air-cathode microbial fuel cells. Environmental Science & Technology, 41(9): pp. 3341-3346, 2007.
9. MILLER, L., OREMLAND, R. Electricity generation by anaerobic bacteria and anoxic sediments from hypersaline soda lakes. Extremophiles, 12(6): pp. 837-848, 2008.
10. LOGAN, B.E. Exoelectrogenic bacteria that power microbial fuel cells. Nature Reviews Microbiology, 7(5): pp. 375-381, 2009.

EQUIPO DE INVESTIGADORES

1 Javiera Anguita

2 Profesor Ignacio Vargas





Observaciones astronómicas usando PUCHEROS, el primer espectrógrafo construido en Chile

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

Johanna Coronado¹, Alumna de quinto año

Leonardo Vanzi², Profesor Asociado

Krzysztof Helminiak³, Postdoctorando

¹DEPARTAMENTO DE ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA

²DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y CENTRO DE ASTRO-INGENIERÍA

³DEPARTAMENTO DE ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA

INTRODUCCIÓN

Los **espectrógrafos** son instrumentos que entregan una gran cantidad de información en astronomía pues, al observar un espectro, se puede medir y obtener las líneas características de un elemento químico en particular y de esta forma, por ejemplo, inferir qué elemento está presente en una determinada estrella o galaxia o, también, como es el caso de este trabajo de investigación, medir las velocidades radiales a las que se mueven las estrellas a partir de los espectros observados.

PUCHEROS es un espectrógrafo echelle de alta resolución para el espectro visible, desarrollado en el Centro de Astro-Ingeniería UC [1], siendo el primer instrumento astronómico construido completamente en Chile. Presenta un gran desafío al ser diseñado para trabajar con un telescopio relativamente pequeño, el ESO-50 cm, ubicado en el Observatorio Docente UC Santa Martina. Además, abre las puertas a desarrollar investigación científica a nivel de pregrado y postgrado e, incluso, brinda la oportu-

tunidad de complementar observaciones realizadas con telescopios de mayor tamaño.

Los componentes ópticos y el detector CCD (Charge-Coupled Device) fueron adquiridos en EE.UU., pero la mayoría de los componentes mecánicos fueron diseñados y construidos en el Departamento de Ingeniería Mecánica y Metalurgia UC [2]. La señal de entrada de PUCHEROS es alimentada por una fibra óptica, lo que permite instalarlo en un entorno estable y controlado, alejado del telescopio, mejorando la precisión en las mediciones. El rango espectral va desde 4.000 a 7.000 Angstroms alcanzando una resolución $\lambda/\Delta\lambda$ de 20.000. La luz de la estrella ingresa al instrumento a través de una interfaz telescopio-fibra óptica. En ella un espejo metálico con un diafragma circular, permite el ingreso de la luz al instrumento y la adquisición de una imagen de la porción de cielo observada.

El espectrografo constituye una herramienta muy útil y eficiente en el estudio y caracterización de estrellas variables brillantes que no requieren ser observadas con telescopios de mayor tamaño. Esto permite usar telescopios pequeños como instrumento efectivo de investigación. En tal contexto se desarrolla este proyecto de investigación cuyo objetivo es la caracterización del desempeño del instrumento y la observación de dos sistemas binarios nunca antes caracterizados, a partir de los cuales se logró obtener modelos y parámetros físicos importantes, como la masa y el radio de las estrellas.

METODOLOGÍA

Para desarrollar este trabajo se llevaron a cabo observaciones en el Observatorio Docente UC durante el primer semestre de 2012 y, también, se utilizaron datos tomados previamente en el primer y segundo semestre de 2011. Para obtener una buena estimación de la **eficiencia** se observó un espectro con tiempo de exposición de 600 segundos de Eta Hydrae, una estrella estándar espectrofotométrica, y se realizaron observaciones de dos estrellas **binarias eclipsantes**, HD 76196 y HD 120778. A partir de las observaciones de los espectros fue posible calcular las velocidades radiales y obtener modelos físicos que permiten obtener uno de los parámetros más relevantes de una estrella: la masa, que determina su evolución, vida y muerte, así como, también, el radio y las temperaturas para ambas estrellas que componen el sistema.

Las observaciones del espectro de una estrella estándar espectrofotométrica, cuya densidad de flujo luminoso es conocido a partir de las mediciones obtenidas por Hamuy et al. [4], nos permiten estimar la eficiencia del espectrógrafo. Este cálculo es muy útil porque da a conocer qué tan bueno es el desempeño del espectrógrafo, lo que permite ir optimizando las observaciones.

Para calcular la eficiencia del espectrógrafo se convirtieron las magnitudes obtenidas de Ref. [3] a flujo, en unidades que sean comparables al flujo luminoso que se obtienen de los espectros observados con PUCHEROS, tomando en cuenta el área recolectora de luz del telescopio y el tiempo de exposición de la observación. Teniendo ambas cantidades expresadas en las mismas unidades, se realiza una comparación, dividiendo el flujo teórico, que se espera obtener de la fuente, por el que efectivamente se mide. Con las mediciones obtenidas, se elaboró el Gráfico 1, que muestra la eficiencia para el mejor, para el promedio y para el peor de los casos.

Para obtener los modelos de los sistemas binarios se calcularon las velocidades radiales, usando TODCOR [4]. TODCOR es un algoritmo que permite hacer una correlación cruzada para obtener el corrimiento Doppler de las dos estrellas del sistema binario y, a partir de esto, estimar las velocidades radiales. Luego, usando el software llamado PHOEBE (PHysics Of Eclipsing BinariEs) se obtuvieron los modelos físicos. PHOEBE es una implementación del código de Wilson-Devinney [5] y permite ajustar un modelo a partir de velocidades radiales y curvas de luz simultáneamente.

Las binarias eclipsantes son objetos de estudio interesantes pues, a partir de los eclipses y las curvas de luz, se puede tener información adicional (ángulo de inclinación, período de los eclipses), la que se complementa con la información que se obtiene a partir de las velocidades radiales y, así, permite tener un modelo físico completo. Las curvas de luz se obtienen a partir de datos de fotometría y dan información de los eclipses, lo que permite, en conjunto con las velocidades radiales, encontrar los parámetros físicos y orbitales de los sistemas. En este caso, sólo fue necesario medir los espectros empleando PUCHEROS, ya que los datos de fotometría están disponibles en el catálogo de ASAS [6], que es público.

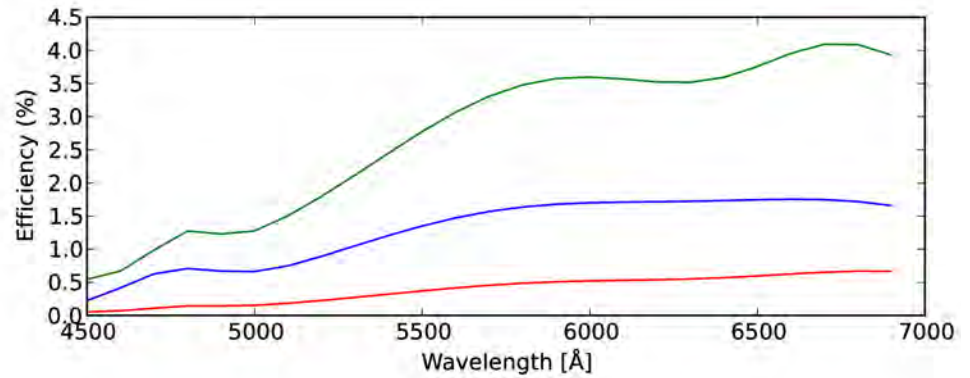


Figura 1: Eficiencia de PUCHEROS. Cada línea representa la medición de la eficiencia para diferentes noches. La línea verde representa la mejor eficiencia medida, mientras que la línea roja corresponde a la más baja. La línea azul corresponde al valor promedio de todas las mediciones de la eficiencia del instrumento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados más relevantes de este trabajo se encuentran expresados en las figuras 1, 2 y 3. En la Figura 1 se puede ver, en verde, la mayor eficiencia obtenida para todas las mediciones, que alcanza aproximadamente el 3,5%. En azul se muestra la eficiencia promedio obtenida, de aproximadamente un 1,6%; y en rojo, la peor medición, que alcanza aproximadamente un 0,5%. Una mayor eficiencia se podría obtener si se mejora el sistema de **guiding** del telescopio que, introduce una fuente de error al hacer las observaciones, pues parte de la luz se sale de la fibra en algún momento durante la observación y se pierde.

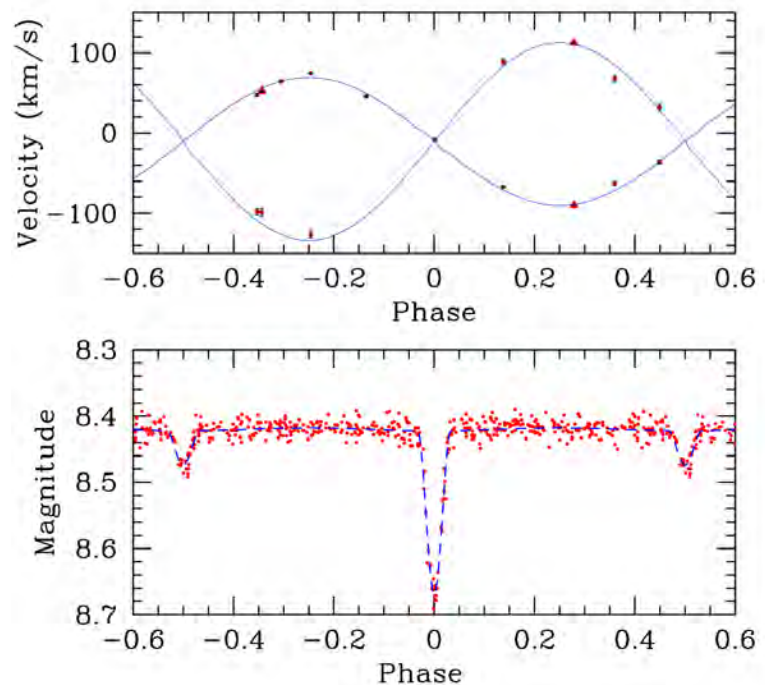


Figura 2: Modelo obtenido para estrella HD 120778. El panel superior corresponde a la velocidad radial, en función de la fase para los dos componentes del sistema binario. El panel inferior muestra la curva de luz, con la disminución característica en la magnitud, en función de la fase.

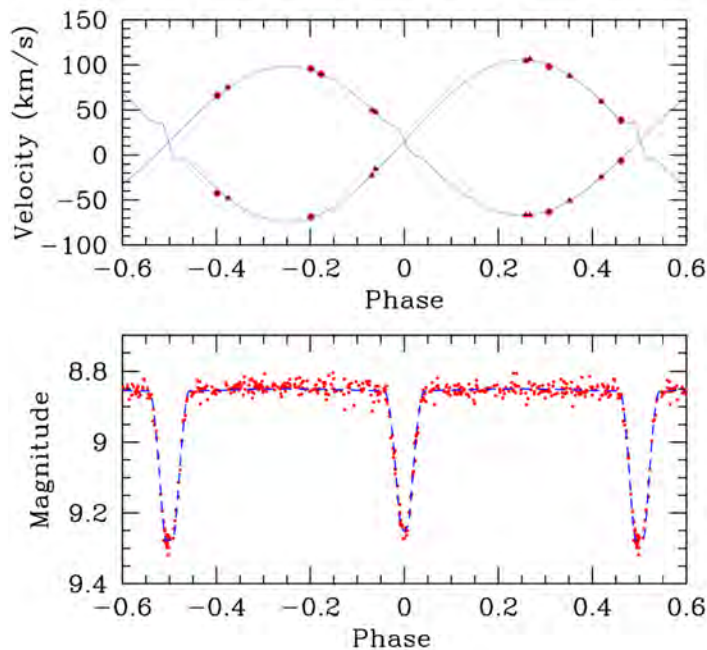


Figura 3: Modelo obtenido para estrella HD 76196. El panel superior corresponde a la velocidad radial, en función de la fase para los dos componentes del sistema binario. El panel inferior muestra la curva de luz, con la disminución característica en la magnitud, en función de la fase.

En la Figura 2 se puede ver el modelo obtenido para HD 120778. El panel superior muestra el modelo obtenido a partir de las velocidades radiales. La curva azul muestra el modelo sintético obtenido con PHOEBE, el que se ajusta bien a los datos. Los círculos muestran mediciones de PUCHEROS y los triángulos, mediciones obtenidas con otro instrumento (CORALIE en el telescopio Euler de 1,2 m ubicado en observatorio La Silla). El panel inferior muestra las mediciones para la curva de luz y el modelo en azul obtenido con PHOEBE. Los parámetros estimados más importantes fueron la masa y el radio para el sistema: 1,34 masas solares con un radio de 1,59 radios solares para la estrella primaria, y 0,86 masas solares y un radio de 0,92 radios solares, para la estrella secundaria.

En la Figura 3 se observa el modelo obtenido para HD 76196. El panel superior, en azul, muestra el modelo sintético calculado con PHOEBE para las velocidades radiales. Los círculos muestran mediciones de PUCHEROS y los triángulos, mediciones obtenidas con otros 2 instrumentos (CORALIE y UCLES). La Figura inferior muestra el modelo, en azul, obtenido con PHOEBE para la curva de luz. Se obtuvo una masa de 1,68 masas solares y un radio de 3,43 radios solares, para la estrella primaria, y una masa de 1,54 masas solares y un radio de 2,48 radios solares, para la estrella secundaria.

Cabe destacar que, a pesar que el cálculo de la eficiencia mostró que se pueden hacer mejoras para obtener espectros con mejor señal, el análisis y la obtención de los modelos de las binarias eclipsantes demuestran que el desempeño del instrumento es bastante bueno, en comparación con instrumentos ubicados en telescopios más grandes pues, al analizar las Figuras 2 y 3, se observa que las mediciones en velocidades radiales, independiente del instrumento usado, generan un buen modelo.

CONCLUSIONES

El presente trabajo da cuenta de resultados científicos obtenidos con PUCHEROS, el primer instrumento astronómico construido completamente en Chile. Como parte de este trabajo se midió el desempeño del espectrógrafo y se pudo comprobar, por primera vez, su potencial en la realización de una investigación científica. Como resultado principal, se obtuvo una eficiencia promedio de un 1,6%, la que queda limitada por la pérdida de luz que tiene el sistema, debida principalmente a que el sitio donde se realizaron las observaciones está ubicado cerca de una gran ciudad. También se pudo comparar los resultados obtenidos con PUCHEROS con las mediciones de otros instrumentos y telescopios de mayor tamaño, comprobando que PUCHEROS tiene un muy buen desempeño, permitiendo estimar velocidades radiales con gran precisión y acorde a los valores obtenidos con otros espectrógrafos. El trabajo realizado a partir de estas velocidades ha permitido medir parámetros físicos de dos sistemas de estrellas binarias nunca antes caracterizados, tales como la masa y el radio.

Los resultados obtenidos a partir de este trabajo son parte de una memoria de tesis de pregrado en Astronomía presentada en agosto de 2012.

PRINCIPIO CIENTÍFICO UTILIZADO

En este trabajo se utilizó el siguiente principio fundamental, obtenido de Hamuy et al. [2] para convertir de magnitud a flujo:

$$m_v = -2,5 \log_{10} [f_v] - 48,590$$

Donde m_v corresponde a la magnitud y f_v es el flujo monocromático en $\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Hz}^{-1}$. A partir de esta ecuación se obtiene f_v , que está en notación de frecuencia, pero es necesario en notación de longitud de onda f_λ . Ahora, con el flujo expresado en $\text{ergs cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Angstroms}^{-1}$ se puede obtener el número de fotones a partir de la siguiente relación:

$$N = \frac{f_\lambda \Delta S \Delta t}{h\nu}$$

Donde ΔS es el área recolectora del telescopio expresada en cm^2 , Δt es el tiempo de exposición de las observaciones y $h\nu$ es la energía de un fotón, donde h es la constante de Planck cuyo valor es $6,62 \times 10^{-27} \text{ ergs s}^{-1}$.

GLOSARIO

Binaria Eclipsante: Corresponde a una clase especial de estrellas variables. Son estrellas que presentan variaciones en su brillo aparente, cuya variación se puede detectar en un intervalo de tiempo durante las observaciones. Una estrella, periódicamente, eclipsa a la otra y, durante este tiempo, el brillo total del sistema decrece. La variación en el brillo se debe a un efecto geométrico y no a un cambio físico en las estrellas. La estrella más masiva se denomina como la estrella primaria y, la menos masiva, como la estrella secundaria.

Eficiencia: La eficiencia total del sistema, incluyendo telescopio y espectrógrafo, se define como la relación entre el número de fotones que ingresan por el espejo principal y los que son detectados por la CCD (Charge-coupled Device).

Espectrógrafo: Es un instrumento que, por medio de un objeto dispersor (como un prisma, o una grilla de difracción), dispersa la luz proveniente de un objeto en las longitudes de onda que lo componen. De esta forma se obtiene lo que se conoce como un espectro.

Guiding: Sirve para mantener centrado en el detector el objeto de interés astronómico. En general es controlado por un computador. En el caso de PUCHEROS, el guiage debe hacerse de forma manual.

PUCHEROS: Pontificia Universidad Católica High Echelle Resolution Optical Spectrograph.

AGRADECIMIENTOS

PUCHEROS ha sido financiado por el proyecto FONDECYT número 1095187. El observatorio UC Santa Martina es operado por el Departamento de Astronomía y Astrofísica UC y el Centro de Astro-Ingeniería UC. Se agradece el apoyo y la colaboración del personal técnico y científico del Observatorio UC, José Miguel Fernández y Maurizio Baffico, y del Departamento de Mecánica y Metalurgia UC, Prof. Diego Celentano, Prof. Magdalena Walczak, Sr. Luis Valdés y Sr. José González. El programa de Instrumentación Astronómica del Centro de Astro-Ingeniería recibe apoyo del proyecto CONICYT Anillo ACT-86.

REFERENCIAS

1. VANZI, L., ET AL. PUCHEROS: a cost-effective solution for high resolution spectroscopy with small telescopes. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 424(4): pp. 2770-2777, 2012.
2. CHACÓN, J., VANZI, L., ÁVILA, G. Design of Echelle Spectrograph for small telescopes with commercially available components. *SPIE Digital Library* [en línea]. 20 de julio de 2010. [fecha de consulta: 26 de octubre 2012]. Disponible en: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=750861>
3. HAMUY, M., ET AL. Southern Spectrophotometric Standards. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 104: pp. 533-552, 1992.
4. ZUCKER, S., MAZEH, T. Study of Spectroscopic Binaries with TODCOR. I. A new two-dimensional correlation algorithm to derive the radial velocities of the two components. *The Astrophysical Journal*, 420: pp. 806-810, 1994.
5. PRŠA, A. PHOEBE Scientific Reference. V 0.30. Villanova University College of Arts and Sciences, pp. 173, 2011.
6. CATÁLOGO ASAS. ASAS [en línea]. Disponible en: <http://www.astrouw.edu.pl/asas/?page=catalogues>.

EQUIPO DE INVESTIGADORES

- 1 Johanna Coronado
- 2 Profesor Leonardo Vanzi
- 3 Krzysztof Helminiak



1



2



3



Vinculación entre volcanismo y deformación tectónica en Los Andes del sur

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

Diego Saide¹, Alumno de quinto año

Rocío Núñez¹, Alumno de cuarto año

Diego Carrasco¹, Alumno de quinto año

Gloria Arancibia², Profesora Asociada

José Cembrano², Profesor Asociado

Pamela Pérez², Alumna de Doctorado

Isabel Santibáñez², Alumna de Doctorado

¹DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINERÍA

²DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL Y GEOTÉCNICA

INTRODUCCIÓN

El volcanismo y la deformación tectónica son procesos geológicos fundamentales que han contribuido a la formación de Los Andes. Estos procesos ocurren a escalas de tiempo muy variables, desde unos pocos minutos (como ocurre con erupciones volcánicas, terremotos y aluviones) a millones de años (tales como la formación de cordilleras), por lo que entender su naturaleza es un gran desafío para el hombre. En muchos casos no hay suficientes antecedentes históricos sobre el comportamiento de los volcanes y su relación con las **fallas** geológicas. No obstante, estos procesos pueden tener un impacto muy significativo e influir, tanto en las personas, como en el medio ambiente (erupciones volcánicas, terremotos, energía geotérmica). En un país como Chile, ubicado en el llamado “Cinturón de Fuego del Pacífico”, estudiar estos procesos resulta crucial para mejorar su entendimiento y conocer la historia geológica del entorno.

Para estudiar la interacción entre tectónica y volcanismo, se visitó la zona donde se ubican los volcanes Lonquimay y Callaqui (ubicados en el límite entre las regiones de Bio-bío y de la Araucanía). Además de la evidencia geológica e histórica de volcanismo, existen registros de deformación tectónica marcados por el **sistema de falla** Liquiñe-Ofqui (SFLO). El SFLO, es un sistema de falla intra-**arco** de **rumbo dextral**, que ha estado activo, al menos, durante los últimos 25 millones de años (Ma). Se extiende por, aproximadamente, 1.200 km entre los 38° y 47°S, a través de numerosos segmentos discretos, y representa el sistema de falla activo más extenso de Chile [1,2]. El SFLO se ha formado, principalmente, por el efecto que produce la **subducción** de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana (ver Figura 1).

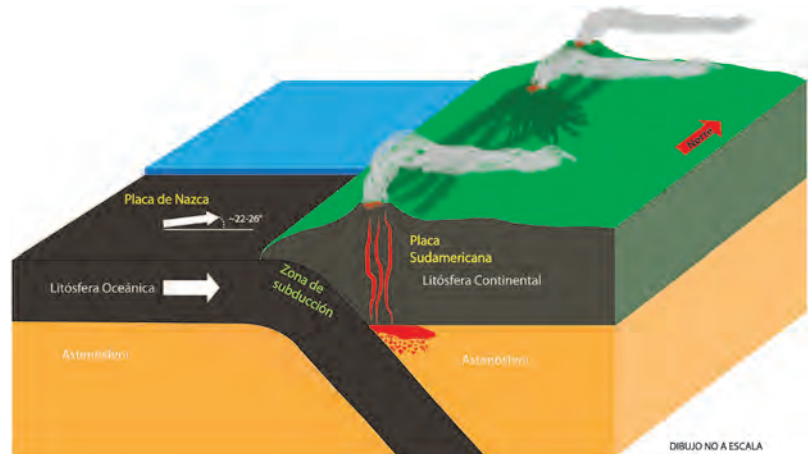


Figura 1: Esquema representativo del margen de subducción chileno. Se observa cómo la Placa de Nazca (que es parte de la Litósfera Oceánica) subduce a la Placa Sudamericana en una dirección no totalmente perpendicular al margen Sudamericano, sino que oblicuamente respecto de la fosa oceánica. La componente norte de la subducción tiende a empujar la Placa Sudamericana en dicha dirección, fracturándola a lo largo del arco volcánico y haciendo que el bloque occidental se deslice hacia el norte relativo al segmento oriental.

El sector visitado se encuentra, entonces, en el extremo norte del SFLO. Durante el trabajo en terreno, se pudieron analizar y constatar elementos de las últimas erupciones de los volcanes, así como evidencias de movimientos **tectónicos**.

METODOLOGÍA

Se realizó un reconocimiento geológico-estructural general de los volcanes y las fallas geológicas presentes, registrando la geometría, cinemática y edad relativa de las estructuras tectónicas y volcánicas encontradas. En algunos casos, las fallas mapeadas se presentan de manera tal que medirles su orientación espacial (**rumbo y manteo**) y su sentido de movimiento fue sencillo, ya que eran observables a simple vista y podían medirse con una brújula. Otras veces, fue necesario analizar la presencia de otros **indicadores cinemáticos** en las fallas mismas, elementos tales como **estrías** o brechas de falla, producto de la fricción que ocurre en ambos bloques limitados por las fallas (Figura 2). Estos elementos indican tanto la dirección de movimiento como su sentido relativo.



Figura 2: Ejemplos de indicadores cinemáticos en superficies de falla estriadas encontrados en terreno: Relleno mineral (izquierda) en un color blanco perlado, relleno de brecha de falla (derecha), con color naranja oscuro. Ambos son evidencia de la fricción ocurrida entre dos bloques limitados por una falla.

El análisis de los planos de falla y su cinemática se realiza teniendo en cuenta que existen cuatro tipos básicos, mostrados en la Figura 3. Cualquier plano de falla puede ser representado en un esquema de **mecanismo focal**, que representa dicho plano, y el campo de esfuerzos asociados. La zona coloreada representa el diedro de tensión, mientras que la blanca representa el de compresión. Los mecanismos focales son excelentes representaciones de los planos de falla, ya que son explicados ampliamente en una figura simple que puede ser, además, ubicada junto a otras en un mapa para representar datos de una zona muy extensa, como es el caso del sector estudiado.

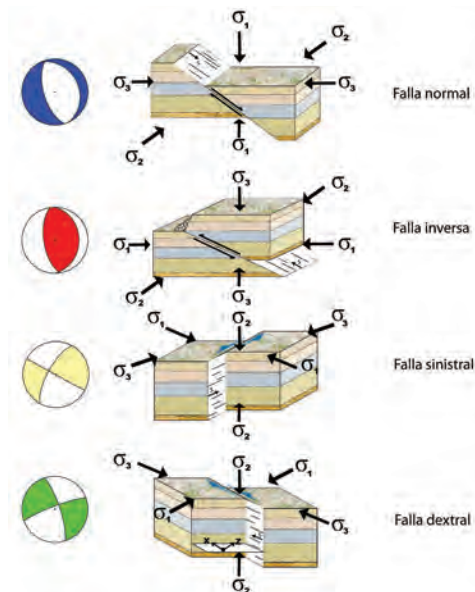


Figura 3: Tipos principales de fallas y mecanismos focales representativos. La zona coloreada representa el diedro de tensión, en cuyo centro está σ_2 , mientras que la blanca representa el de compresión, en cuyo centro yace σ_1 , mientras que la blanca representa el de compresión, en cuyo centro yace σ_3 . Los mecanismos focales son representaciones estereográficas de dos posibles planos nodales (planos de falla) y el campo de esfuerzos asociado a él. Estos 4 tipos de falla representan miembros extremos puesto que, en la práctica, es común encontrarse con combinaciones de estos, lo que produce mecanismos focales mixtos.

Se visitaron 8 sitios en terreno que, junto a los datos del proyecto FONDECYT 1060187 (The Fundamental Control of Intra-Arc Tectonics in the Nature of Volcanism at Convergent Margins: Selected Case Studies From the Central and Southern Andes), fueron organizados por ubicación y compatibilidad cinemática. Así, se trabajó finalmente con un total de 109 datos de estructuras medidas, agrupadas en 9 sitios diferentes. Con ayuda del software FAULTIKIN WIN [3] se obtuvo información sobre la naturaleza de la deformación y el sentido de movimiento para cada falla, en cada zona analizada. Se consideró, para este estudio, que los ejes principales de esfuerzo ($\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$) son coaxiales con los ejes principales de deformación finita ($X > Y > Z$). Esto implica, por ejemplo, que eventuales **fracturas** rellenas de magma (**diques**) se abren de acuerdo a la dirección y magnitud de los esfuerzos que se ejerza en forma paralela a σ_1 y ortogonal a σ_3 . Posteriormente, se analizó la naturaleza de la relación entre las observaciones geológicas efectuadas en los distintos sitios estudiados y entre estos y las estructuras volcánicas presentes en la zona (por ejemplo, volcanes, **centros eruptivos menores** y diques, entre otros).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El reconocimiento y mapeo de las estructuras volcánicas puso en evidencia algunos alineamientos muy bien definidos, tales como el alineamiento del cráter principal del volcán Lonquimay y sus centros eruptivos menores asociados (cráter Navidad y cordón fisural Oriental), que corre paralelo al valle del Lolco [4]. Otro alineamiento importante es el que presenta el volcán Callaqui, con sus numerosos centros eruptivos menores, orientados en una dirección noreste.

El mapeo de los nueve sitios principales de fallas evidencia los deslizamientos tectónicos ocurridos en las mismas. En la Figura 4 se muestra la geología simplificada de la zona, junto a los mecanismos focales representativos de esfuerzos en los sitios analizados. Se puede observar que predominan las fallas dextrales orientadas norte-sur (esto significa que el bloque oeste de la falla se desplaza hacia el norte tomando como referencia fija el bloque este de la falla). Esto es consistente con datos encontrados anteriormente por otros autores [5,6]. También se observan fallas normales de orientación noreste, lo que es cinemáticamente compatible con fallas dextrales de rumbo norte-sur. Así, en su extremo norte, el SFLO comienza a desviarse, gradualmente, desde un rumbo norte-sur a uno este-noreste. Esto produce

que las unidades de roca acomoden el campo general de esfuerzos al que están sometidos mediante extensión, fallas normales y abertura de grietas con orientación paralela a estas últimas.

La Figura 4, que presenta también las edades de las distintas litologías del sector, sugiere que la edad del movimiento del SFLO en esta zona estaría comprendida entre el Neógeno y el presente, debido a que existen litologías desde, al menos, esa edad que no han sido influenciadas por estas fallas, por lo tanto, esas zonas deben ser más antiguas que las litologías más antiguas no alteradas.

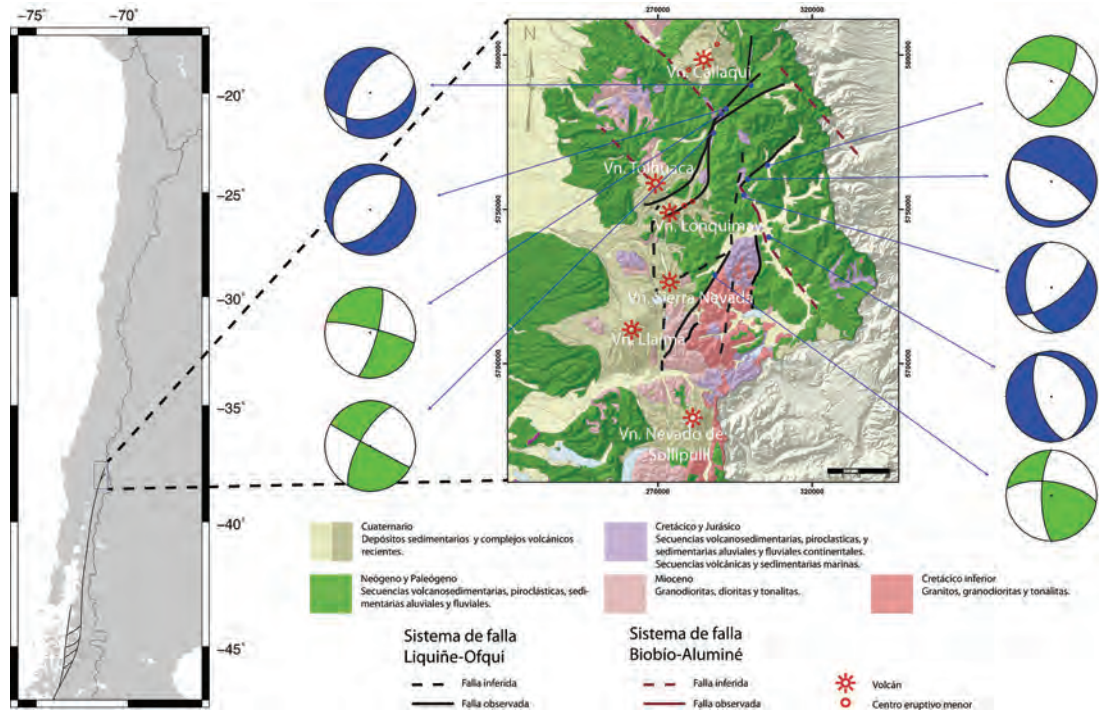


Figura 4: Mapa geológico esquemático y mecanismos focales obtenidos a partir de fallas observadas en los sitios estudiados. Predominan las fallas dextrales orientadas norte-sur y fallas normales orientadas noreste, pertenecientes al extremo norte del sistema de falla Liquiñe-Ofqui (SFO). Se observa que el SFO se desvía, gradualmente, en su extremo norte transformando su dirección (o rumbo) norte-sur a uno este-noreste.

Es importante destacar que a unos 50 km al norte se encuentra el volcán Callaqui, el cual tiene una elongación noreste. Este volcán presenta conos adventicios (centros eruptivos menores) orientados tanto en dirección noreste como noroeste, lo cual no puede ser explicado directamente mediante los procesos de deformación propuestos anteriormente. En este caso, una posible explicación es que los centros eruptivos noroeste estén conectados con diques alimentadores subyacentes de dirección noreste, que transportan magma hacia la superficie. Estos diques no emergen completamente más que en zonas de baja altura con respecto al volcán y, es por esto, que sólo llegan a la superficie a lo largo de un valle glaciar labrado en el mismo, formando así estos centros eruptivos menores. Por lo tanto, se observa que, si bien hay una concordancia global con los datos estudiados, a escalas locales los fenómenos pueden diferir y presentar anomalías explicadas por fallas preexistentes y las características particulares del terreno.

CONCLUSIONES

La cinemática de la deformación de rumbo se ha mantenido constante desde hace, al menos, 25 Ma, ya que las evidencias de deformación datadas se presentan en rocas y terrenos desde esa edad hasta algunas mucho más recientes. De este modo, esta cinemática de deformación debe tener, al menos, la edad de las rocas más antiguas y terrenos analizados no alterados.

Los alineamientos noreste de volcanes y centros eruptivos son compatibles con el régimen cinemático de la zona, lo que está respaldado por el análisis de esfuerzos a partir de fallas. La formación de estos centros volcánicos de distinto tamaño proviene de la abertura de fracturas por las cuales migran los magmas hacia la superficie construyendo edificios volcánicos. Para unos esfuerzos como los descritos anteriormente (compresivos noreste y extensionales noroeste) se producen estas aberturas de acuerdo a lo planteado.

El alineamiento de conos difiere a escalas locales. Los conos adventicios de un volcán pueden, en algunos casos, presentar anomalías respecto a las alineaciones globales de gran escala. Esto, debido a fallas preexistentes a través de las cuales el magma también puede ascender a la superficie. Ese es el caso, por ejemplo, del alineamiento de los conos adventicios al volcán Callaqui.

PRINCIPIO CIENTÍFICO UTILIZADO

Una estría está contenida en un plano de falla. Un plano auxiliar perpendicular al plano de falla que contiene la estría contendrá, también, al eje de acortamiento mayor y de alargamiento mayor asociados a los esfuerzos principales σ_1 y σ_3 , respectivamente. Por lo tanto, las fallas, sus estrías y su sentido de movimiento permiten obtener las direcciones principales de esfuerzo mediante un método de inversión.

Es importante, también, la relación entre los esfuerzos principales y la deformación que estos inducen. Por ejemplo, al aplicarse un esfuerzo compresivo σ_1 , se produce un esfuerzo ortogonal extensional σ_3 , que induce una fractura paralela a σ_1 y que se abre en dirección de σ_3 .

GLOSARIO

Arco Volcánico: Cadena de volcanes de centenas de kilómetros de largo, por decenas de kilómetros de ancho, ubicada a unos 200 km tierra adentro desde la fosa. Se produce cuando la litósfera oceánica subduce por debajo de un bloque continental. La presión y altas temperaturas producen la deshidratación progresiva de la corteza oceánica lo que, a su vez, agrega fluidos acuosos al manto sobreyacente, gatillando la fusión parcial de las rocas (magma). El magma eventualmente ascenderá hasta alcanzar la corteza continental y erupcionará en superficie formando volcanes alineados subparalelamente a la fosa.

Centro Eruptivo Menor: Cráteres secundarios de un volcán que se abren durante una erupción -dejando salir lava y piroclastos-, formándose un cono.

Dique: Estructura tabular constituida por una roca ígnea producto del enfriamiento de magma dentro de una fractura abierta.

Estratovolcán: Tipo de volcán más común en Chile. Se caracteriza por estar formado por secuencias intercaladas de coladas de lava y flujos piroclásticos, con un conducto eruptivo central. Una de las características de estos volcanes es su carácter poligenético, es decir, se edifican a través de numerosas erupciones. Corresponden a los grandes volcanes, generalmente cónicos o tronco-cónicos y que alcanzan alturas de hasta 2.500 m sobre la base.

Estría: Surcos lineares formados por el movimiento de los bloques en el plano de la falla, que evidencian la dirección de dicho movimiento.

Falla: Superficie de fractura a lo largo de la cual cuerpos de roca se han movido relativamente uno del otro. Ocurren en la corteza terrestre en respuesta a los esfuerzos a los que es sometida. Pueden alcanzar cientos de kilómetros de largo.

Falla de Rumbo: Falla que posee un desplazamiento paralelo al rumbo de la falla. Las fallas de rumbo se clasifican según el sentido de movimiento de los bloques -referenciado a la posición de un observador situado sobre un bloque- como sinistral (cuando el bloque opuesto al que ocupa el observador se mueve a la izquierda) y dextral (cuando el bloque se mueve a la derecha).

Fractura: Término general para cualquier ruptura en una masa rocosa, tanto si causa o no desplazamiento.

Indicador Cinemático: Diversas estructuras y microestructuras presentes en las superficies de la falla, que se forman por el movimiento relativo de un bloque respecto del otro. Incluyen fracturas de extensión, venillas en echelon, cizallas de Riedel, escalones libres y escalones con minerales secundarios en la zona de sombra.

Lineación: Cualquier característica visible en una roca que ocurre en forma repetida o penetrativa. Puede deberse a un alineamiento de minerales o agregados minerales alargados, intersección de foliaciones y paralelismo de ejes de pliegues, entre otros.

Lineamiento (Alineamiento): Serie de elementos geológicos que se encuentran organizados espacialmente según una orientación preferencial. Puede ser una falla, las crestas de un cordón montañoso o una quebrada, entre otros.

Mecanismo Focal: Representación gráfica del mecanismo de movimiento en una falla geológica o en el foco de un sismo.

Rumbo y Manteo: Variables que determinan la orientación espacial de un plano. El rumbo es el ángulo respecto al norte geográfico de la intersección del plano geológico con el plano horizontal. El manteo corresponde al ángulo de inclinación de un plano en la dirección de máxima pendiente. Este ángulo se mide en el plano vertical, que es perpendicular a la dirección de rumbo.

Sistema de Falla: Numerosos segmentos de fallas individuales organizados según un patrón geométrico regular.

Zona de Subducción: Zona de contacto entre dos placas tectónicas en que una placa se introduce bajo otra, generando esfuerzos producto de que, en este deslizamiento, las placas se pegan cargando a la placa superior como un resorte. Los momentos de descarga de esta energía son los terremotos y, el acomodo de esta deformación, produce fallas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los Proyectos FONDAP-CEGA 15090013 (“Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes”), FONDECYT 1060187 (“The Fundamental Control of Intra-Arc Tectonics in The Nature of Volcanism at Convergent Margins: Selected Case Studies From The Central And Southern Andes.”) y FONDECYT 1100464 (“Nature and Significance of Fault Initiation and Propagation at Strike-Slip Fault Tips: A Case Study From The Atacama Fault System, Central Andes.”). El software FaultKin Win fue gentilmente facilitado por el Prof. Rick Allmendinger, de la Universidad de Cornell, EEUU.

REFERENCIAS

1. ARANCIBIA, G., CEMBRANO, J., LAVENU, A. Transpresión dextral y partición de la deformación en la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui, Aysén, Chile (44-45°S). Revista Geológica de Chile, Vol. 26, 1, 1999.
2. CEMBRANO, J., LARA, L. The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: A review. Tectonophysics 471, pp. 96–113, 2009.
3. MARRETT, R., ALLMENDINGER, R. W. Kinematic analysis of fault-slip data. Journal of Structural Geology, v., 12, pp. 973-986, 1990.
4. MORENO, H., GARDEWEG, M. La erupción reciente del Complejo Volcánico Lonquimay (Diciembre, 1988), Andes del Sur. Revista Geológica de Chile 16 (1), pp. 93-117, 1989.
5. MELNICK, D., FOLGUERA, A., RAMOS, V. Structural control on arc volcanism: The Cavihue-Copahue complex, Central to Patagonian Andes transition (38°S). Journal of South American Earth Science 22, pp. 66-88, 2006.
6. ROSENAU, M.R. Tectonics of the Southern Andean Intra-arc Zone (38°-42°S), PhD Thesis, Freie Universität Berlin, 2004. http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FUDISS_thesis_000000001381

EQUIPO DE INVESTIGADORES

- 1 Diego Saide
- 2 Rocío Núñez
- 3 Diego Carrasco
- 4 Profesora Gloria Arancibia
- 5 Profesor José Cembrano
- 6 Pamela Pérez
- 7 Isabel Santibáñez



1



2



3



4



5



6



7



Estudio acerca del logro de competencias y percepción de aprendizaje por parte de los alumnos. Experiencia de un curso de Físicoquímica

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

Javier Cueto¹, Alumno de quinto año

Sebastián Arentsen¹, Alumno de quinto año

Tamara Rabi¹, Titulada

Loreto Valenzuela¹, Profesora Asistente

Ximena Hidalgo², Asesora Docente

¹DEPARTAMENTO INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOPROCESOS

²DIRECCIÓN DE PREGRADO

INTRODUCCIÓN

En el marco de la implementación de un currículo basado en competencias en la Escuela de Ingeniería, el diseño de cursos debe ser consistente con el perfil propuesto a sus alumnos [1]. La comisión de acreditación ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) precisa el concepto de competencias según la siguiente definición: “Las competencias describen lo que los estudiantes deben saber y ser capaces de hacer al momento de la graduación. Éstas se relacionan con las habilidades, conocimientos y conductas que adquieren los estudiantes a medida que progresan a través del programa” [2]. Establecer un conjunto de competencias bien definidas permite a los docentes diseñar, correcta y efectivamente, sus cursos y definir las metodologías coherentes para el logro de éstas [3].

Así, la concepción de enseñanza deberá considerar que el alumno se involucre en su proceso de aprendizaje, por lo que las metodologías deben adquirir un carácter activo. El aprendizaje activo se define como cualquier método de enseñanza que comprometa a los estudiantes en el proceso de aprendizaje [4]. En este sentido, cobra relevancia que el mismo alumno evalúe y reflexione entorno a cómo progresa en cuanto a la adquisición de las competencias definidas para el curso. El incorporar instrumentos que apunten a recabar esta información permite entender, en gran parte, el comportamiento de los alumnos y sus percepciones, ya que el sentirse “competente” en un cierto ámbito de aprendizaje, se asocia a las actividades en las cuales participan, al nivel de esfuerzo utilizado, grado de persistencia, rendimiento e interés [5].

Dentro del contexto del uso de metodologías activas, esta investigación busca conocer cómo su implementación afecta la percepción de los alumnos acerca del logro de competencias, su desempeño real, las diferencias que se perciben entre distintos grupos de alumnos y el efecto de factores como la asistencia.

METODOLOGÍA

Identificación de las características del curso

La investigación se realizó durante el primer semestre de 2012, en el curso Físicoquímica dictado por la profesora Loreto Valenzuela. El curso contaba con 59 alumnos, correspondientes a 22 mujeres y 37 hombres. El año de ingreso de los distintos alumnos los sitúa entre 2º y 7º año de universidad. Este ramo se dicta una vez al año para los alumnos de Ingeniería Civil de las especialidades Química (31%), Bioprocesos (13%), Ambiental (4%) y Biotecnología (33%)¹. El ramo es de gran importancia dentro de la malla curricular de los alumnos pues corresponde a uno de los primeros de su especialidad. Antes de realizar este curso, los alumnos deben aprobar ramos que cubren los temas de química general y termodinámica. Ambos ramos forman parte de la malla de Ingeniería de plan común, es decir, que deben tomar todos los alumnos de la Escuela de Ingeniería.

En el desarrollo del curso se consideraron metodologías tales como clases expositivas de carácter activo, además de actividades fuera de la sala de clases como tareas, ejercicios, ayudantías, búsquedas bibliográficas, visitas a terreno y laboratorio computacional. Para la ejecución de las clases, se contó con el apoyo audiovisual de transparencias en PowerPoint, las que se encontraban disponibles para los alumnos a través de la página web del curso. Durante la clase, los alumnos realizaron actividades y ejercicios en distintas modalidades, ya sea individual como grupalmente, los que fueron resueltos en el pizarrón por los mismos alumnos o la profesora. En la mayoría de las clases se realizaron mini-encuestas, donde los alumnos respondieron preguntas, tanto sobre la metodología, como de su comprensión de los temas vistos. Con este tipo de preguntas se busca conocer las actividades que motivan a los alumnos, así como detectar y resolver sus dudas, de manera continua, durante el semestre. Además de la clase, el curso contaba con ayudantías, donde se realizaban ejercicios de mayor dificultad, tipo interrogación. Estos ejercicios eran resueltos, en primera instancia, por los alumnos, para luego ser revisados en conjunto con los ayudantes del curso. Todas las actividades realizadas por los alumnos, tanto dentro como fuera de la sala de clases, tenían por objetivo alcanzar una o varias de las competencias del curso.

Administración y análisis de Encuestas de Logro de Aprendizajes (ELA) a lo largo del semestre

En base a las competencias revisadas para cada interrogación, se prepararon encuestas de logro de aprendizaje (ELA). Inmediatamente antes de cada interrogación, los alumnos autoevaluaban su nivel de logro de las competencias que se evaluarían en dicha interrogación. Cabe destacar que los alumnos conocían las competencias de la prueba, a lo menos, con una semana de anticipación y la ELA se tomaba minutos antes de la misma. Además, se aplicó una ELA de diagnóstico asociada a las competencias que debieron haber sido logradas en los cursos pre-requisito de éste.

La escala usada en cada ítem de las ELAs fue de 4 niveles (distinguido, competente, en desarrollo y no logrado). Esta escala fue transformada en una de notas 1-7, lo que permite comparar los resultados de las ELAs con los de las interrogaciones.

¹ Porcentajes referidos a los alumnos cursando en dicho semestre, según encuesta realizada en la primera clase del curso. El resto de los alumnos (19%) corresponde a indecisos.

Medición de logro de competencias en evaluaciones del curso

El logro de las competencias del curso fue medido a través de la aplicación de 4 evaluaciones formales: 3 interrogaciones y un examen final. En cada una de ellas, cada competencia estaba asociada a una o más preguntas de la evaluación. Cada una de las partes de cada interrogación se evaluó con una escala discreta de 5 niveles: distinguido, competente, intermedio, en desarrollo y no logrado, correspondiente a 100%, 75%, 50%, 25% y 0% del puntaje total de cada pregunta. Para el cálculo de la nota, se transformó el puntaje obtenido a escala 1-7, considerando el punto base. Luego de obtener los resultados de logro de competencias de cada alumno, en escala 1-7, estos se compararon con las ELAs entregadas por los alumnos con anterioridad a la evaluación.

Análisis del logro de competencias en distintos grupos del curso

En base a la medición de logro de competencias, se categorizó los porcentajes de logro para determinar si los alumnos lograron, o no, el dominio de la competencia específica según el criterio mostrado en la Tabla 1. Se consideró que, si los alumnos obtienen entre un 50% y 75% del puntaje, no es posible conocer si la competencia fue lograda o no, ya que no se podría diferenciar entre errores numéricos o conceptuales. En la Tabla 1 se especifica el criterio utilizado.

Tabla 1: Criterio de Logro de competencias en términos de porcentaje de evaluación en interrogaciones.

Status	Criterio
Competencia Lograda	$\geq 75\%$ del puntaje total
Competencia no Lograda	$\leq 50\%$ del puntaje total
Logro de Competencia Incierto	50-75% del puntaje total

Para hacer un análisis más detallado del logro de competencia, se analizaron estos resultados considerando los siguientes grupos de alumnos: (1) eximidos, (2) no eximidos y (3) reprobados, de manera de identificar las competencias críticas y diferencias entre cada grupo.

Registro de asistencia a clases

Se realizó un seguimiento de la asistencia a clases de los alumnos -no obligatoria- para relacionarla con su rendimiento en las evaluaciones. De un total de 29 clases, se calculó el porcentaje de asistencia de cada alumno, la que se relacionó con su nota promedio de interrogaciones calculada como un 20%, 40% y 40%, en las interrogaciones 1, 2 y 3, respectivamente. La asistencia a clases se contrastó con el logro de competencias por evaluación y el rendimiento de cada alumno en cada evaluación.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados de esta investigación están organizados en función de las siguientes preguntas de investigación relacionadas con el logro de competencias tras el uso de metodologías activas.

¿Cuál es la percepción que tienen los alumnos de su nivel de logro de las competencias del curso?

A partir de la comparación entre las ELAs y los resultados en las evaluaciones del curso, se pudo demostrar que los alumnos tienden a sobrestimar su nivel de logro por competencia (FIGURA 1). Para cada prueba se realizó un análisis estadístico a través de un intervalo de confianza al 95% a la diferencia entre la nota de la interrogación y la nota esperada calculada en función del ELA (corrigiendo la escala a 1-7, como se explicó en la metodología). En el caso de la interrogación 1, el análisis arrojó un valor esperado de -0,5, con una desviación estándar de 0,164, entregando un intervalo de (-0,828; -0,172), demostrando que los alumnos sobreestimaron su nivel de logro. Para la interrogación 2 se obtuvo un valor esperado de -0,974, desviación estándar de 1,055 e intervalo de (-1,229; -0,664), lo que demuestra que los alumnos tendieron a sobrestimar aún más su desempeño y conocimientos, lo que se explica debido a que la dificultad de esta evaluación fue mucho mayor, en palabras de la profesora. Finalmente, para la tercera prueba, se tiene un valor esperado de -0,147, desviación estándar 1,065 e intervalo de

(-0,434; 0,141). Se aprecia que, en este caso, los alumnos tendieron a equilibrar sus expectativas con su desempeño real.

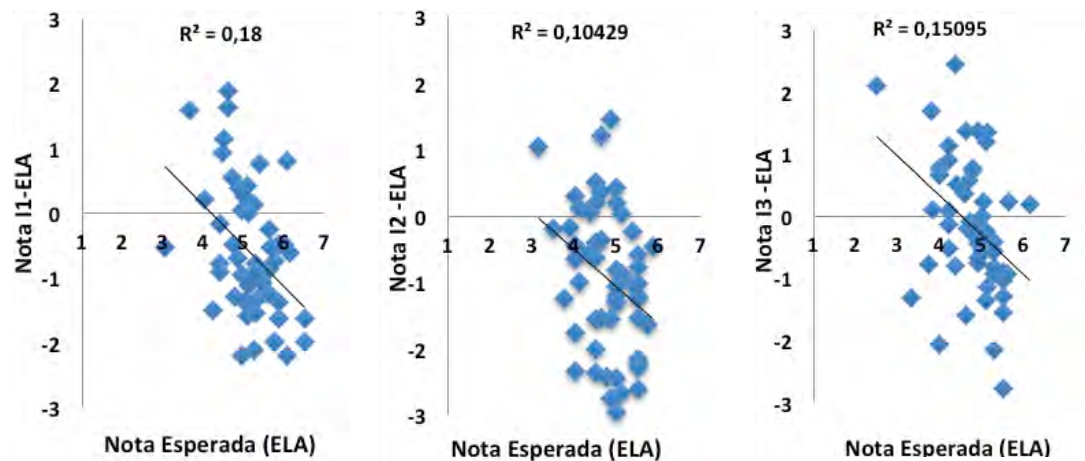


Figura 1: Correlación entre nivel de logro obtenido en la competencia según ELA vs logro según evaluación.

En la Tabla 2 se aprecia el análisis para cada una de las competencias del curso, el cual se hizo mediante el análisis de intervalo de confianza al 95%, lo cual expresa con claridad las competencias que los alumnos sobreestimaron o subestimaron a partir de la diferencia entre la nota lograda en cada evaluación y la nota esperada (ELA).

Se aprecia que 3 de 11 competencias fueron subestimadas, 5 de 11 sobrestimadas y 3 inciertas, lo que refuerza el hecho que los alumnos tienden a sobrestimar su desempeño y logro de competencias.

Tabla 2: Resultado Análisis de percepción de logro para cada competencia del curso.

Competencia	Estimación por parte de los alumnos	media, valor p
1 [I1]	Subestimada	$\bar{x} = 0,1741, p < 0,001$
2 [I1]	Subestimada	$\bar{x} = 0,127, p = 0,013$
3 [I1]	Sobrestimada	$\bar{x} = -0,1563, p = 0,005$
4 [I1]	Sobrestimada	$\bar{x} = -0,2693, p < 0,001$
5 [I1]	Sobrestimada	$\bar{x} = -0,125, p = 0,001$
4 [I2]	Sobrestimada	$\bar{x} = -0,1994, p < 0,001$
6 [I2]	Sobrestimada	$\bar{x} = -0,1786, p < 0,001$
7 [I2]	Incierto	$\bar{x} = -0,0558, p = 0,217$
8 [I2]	Sobrestimada	$\bar{x} = -0,1875, p < 0,001$
8 [I3]	Sobrestimada	$\bar{x} = -0,2917, p < 0,001$
9 [I3]	Subestimada	$\bar{x} = 0,1173, p < 0,001$
10 [I3]	Incierto	$\bar{x} = -0,037, p = 0,48$
11 [I3]	Incierto	$\bar{x} = 0,0544, p = 0,134$

¿Existen diferencias significativas en el logro de competencias entre los alumnos que se eximieron, aprobaron y reprobaban el curso? ¿Qué competencias resultan críticas para el desempeño de los alumnos?

A partir del análisis del rendimiento de los alumnos en las tres interrogaciones del curso se calcula el logro de cada competencia. En la Tabla 3 se aprecia que los alumnos eximidos (12 alumnos) obtuvieron un logro significativo en 61% de las competencias del curso, en promedio, mientras que no lograron 24,2% de las competencias, en promedio. Este resultado permite establecer que la eximición cumplió su propósito, ya que los alumnos en este grupo obtuvieron un importante dominio de las competencias del curso.

Tabla 3: Análisis de logro de competencias de alumnos eximidos.

Categoría	Promedio (ds)	Máximo	Mínimo
% Competencias Logradas	61,4% (ds: 15.1)	81,8%	36,4%
%Competencias No Logradas	24,2% (ds: 8.1)	36,4%	9,1%
% Incertidumbre respecto al logro de competencias	14,4% (ds: 15.2)	45,5%	0,0%

ds: desviación estándar.

Para los alumnos no eximidos (45 en total, sin embargo se posee información completa de 39, ya que no todos rindieron las 3 interrogaciones) se observa que ellos logran, en promedio, 33,8% de las competencias, mientras que no logran el 50,1% de las competencias del curso, en promedio (Tabla 4). En el caso de los alumnos que reprobaron el ramo (10 en total, se posee información completa de 4), sólo lograron un 38,9% de las 11 competencias del curso, en promedio.

Tabla 4: Análisis de logro de competencias de alumnos no eximidos.

Categoría	Promedio (ds)	Máximo	Mínimo
% Competencias Logradas	33,8% (ds: 18,5)	72,7%	9,1%
%Competencias No Logradas	50,1% (ds: 14,5)	81,8%	27,3%
% Incertidumbre respecto al logro de competencias	16,1% (ds: 9,6)	27,27%	0%

Tabla 5: Análisis de logro de competencias de alumnos reprobados.

Categoría	Promedio (ds)	Máximo	Mínimo
% Competencias Logradas	38,9% (ds: 9,0)	46,6%	36,4%
%Competencias No Logradas	54,3% (ds: 7,4)	36,4%	9,1%
% Incertidumbre respecto al logro de competencias	6,8% (ds: 4,5)	45,5%	0%

Respecto a las competencias que obtuvieron el menor porcentaje de logro, en las tablas 6 y 7 se presentan los resultados para los grupos de alumnos eximidos y no eximidos respectivamente. Se puede observar que la competencia 4 se repite en ambos grupos del curso, lo que se debe a la dificultad teórica que presenta, al ser un contenido abstracto.

Tabla 6: Competencias críticas, grupo de alumnos eximidos.

Competencia	Porcentaje de Logro
Competencia 10 (Aplicar conceptos fundamentales acerca del equilibrio de fase en superficies).	55,4%
Competencia 4 (Operar con los conceptos de energía libre, potencial químico y fugacidad).	56 %
Competencia 3 (Aplicar la primera y segunda ley de la termodinámica a componentes puros en sistemas abiertos y cerrados).	60,4%

Tabla 7: Competencias críticas, grupo de alumnos no eximidos.

Competencia	Porcentaje de Logro
Competencia 8 (Construir, describir e interpretar diagramas de fases para mezclas en equilibrio).	29 %
Competencia 4 (Operar con los conceptos de energía libre, potencial químico y fugacidad).	35,3%
Competencia 6 (Reconocer, interpretar y aplicar las leyes fundamentales de la termodinámica que gobiernan el equilibrio de fase de un sistema: Ley de Dalton, Henry y Raoult).	41,3%

¿Cuál es el impacto de la asistencia a clases en el logro de competencias del curso y rendimiento de los alumnos?

La asistencia a clases tendió a disminuir luego de la primera evaluación (I1), probablemente por el buen rendimiento promedio en dicha evaluación, como por la coexistencia de evaluaciones en otros cursos que los alumnos tomaron dicho semestre. Es importante destacar que tres alumnos abandonaron el curso antes de finalizar el semestre, por lo que su asistencia fue 0% a partir de dicho momento. Sin embargo, existe otro grupo de alumnos que disminuyó su asistencia, siendo esta baja progresiva a medida que avanzó el semestre.

En la primera interrogación, no se observó una correlación entre la asistencia a clases y el logro de competencias medidas en ella (Figura 2a). Esta evaluación medía un 40% de competencias correspondientes a termodinámica, curso pre-requisito a fisicoquímica, lo que podría explicar que la asistencia a este curso no tuviera un impacto, sino los conocimientos y competencias desarrollados previamente por parte de los alumnos.

En las evaluaciones siguientes, sí se observó una correlación positiva entre la asistencia a clases y el logro de cada una de las competencias del curso, así como con el rendimiento global en estas evaluaciones (Figura 2b, c, d).

Así, es posible concluir que el uso de metodologías de enseñanza activa, en horario de clases, por parte de profesora y alumnos, permite que los alumnos logren desarrollar, en mayor medida, las competencias del curso.

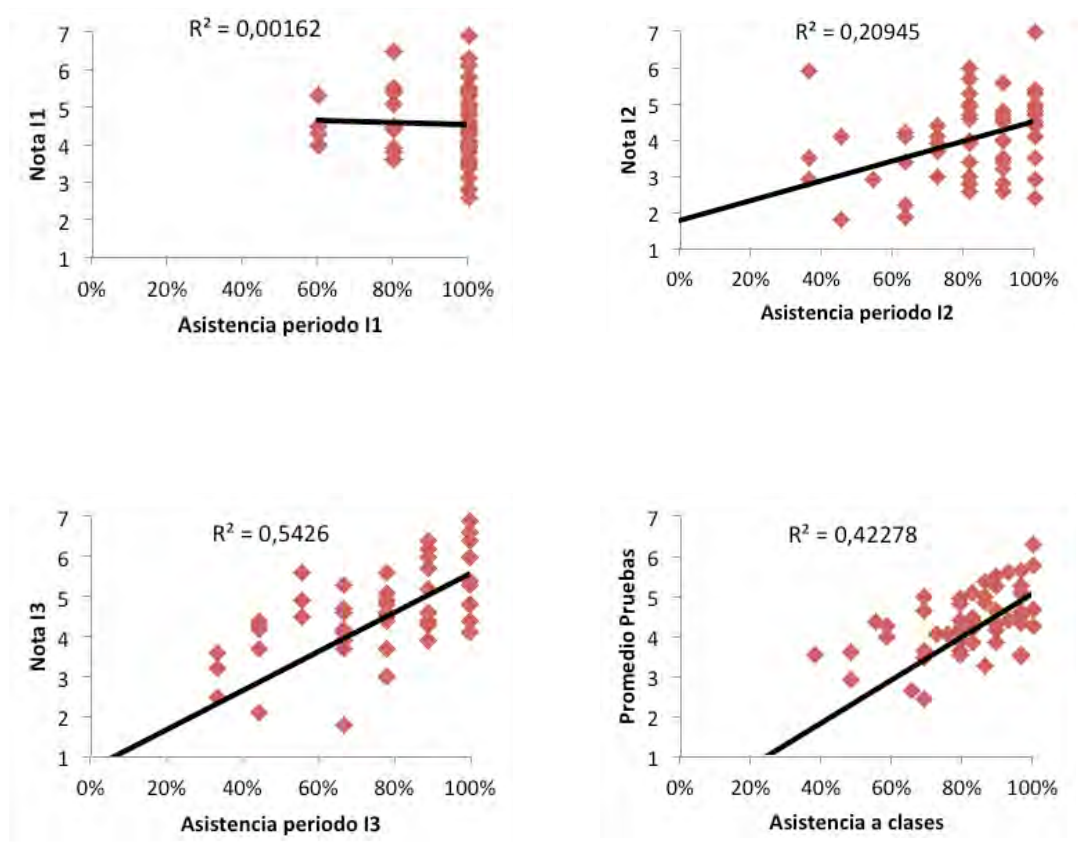


Figura 2: Asistencia a clases para interrogaciones 1 (a), 2 (b), 3 (c) y promedio (d), respectivamente.

En un análisis más detallado de la asistencia de los alumnos y su rendimiento, se puede observar que ningún alumno con asistencia del 100% tiene nota bajo 4,0, siendo la nota mínima un 4,3. Además, la mejor nota del curso pertenece, justamente, al grupo de alumnos con 100% de asistencia. Alumnos con notas insuficientes se concentran en rangos de asistencia bajo el 80%. De hecho, el promedio de notas finales de los alumnos con asistencia sobre 80% fue de un 4,7 (ds: 0,7), en tanto el de los alumnos por debajo de dicha asistencia, alcanzó sólo un 3,9 (ds: 0,7). Asimismo, los alumnos con asistencia menor al 50% tienen como nota final de las tres interrogaciones, una menor a 4,0, siendo la nota máxima un 3,6. El detalle de este análisis se presenta en la Figura 3.

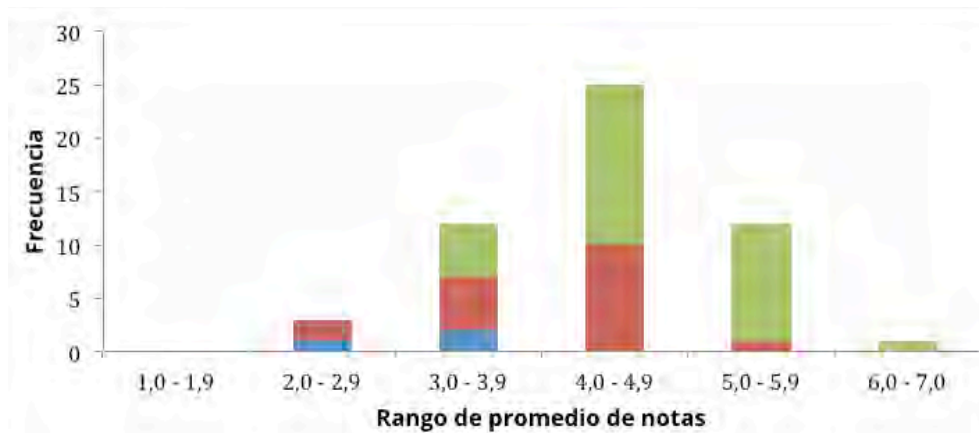


Figura 3: Relación asistencia/ Nota promedio final. Asistencia a clases: azul (0% a 49%), rojo (50% a 79%), verde (80% a 100%).

A pesar de lo significativo del resultado anterior, no es posible concluir una relación causa-efecto entre estos fenómenos. En principio, se pueden elaborar tres hipótesis que deben ser evaluadas en el futuro. Por una parte, se podría concluir que los alumnos desarrollan las competencias durante las clases. Por otro lado, es posible que los alumnos que van a clases, además, estudian más por su cuenta, logrando mejor rendimiento. Y finalmente, podría ocurrir que, tanto la asistencia a clases como el rendimiento, responden a un tercer factor común, relacionado con las estrategias de estudio de los alumnos.

CONCLUSIONES

A partir de la investigación realizada, en relación a la propia percepción de los alumnos en cuanto al logro de las competencias del curso, se concluye que ellos tienden a sobrevalorar su desempeño y logro de competencias en las interrogaciones del curso, comprobándose una diferencia significativa entre los alumnos eximidos y no eximidos. Por otra parte, la asistencia a clases se correlaciona con el logro de competencias, pero no se aprecia una relación causa-efecto que pueda ser explicada a partir de esta investigación. Se propone una revisión del diseño de los cursos en relación al tipo de metodologías a incorporar, de manera que promuevan el protagonismo de los alumnos en su propio proceso de aprendizaje. Si bien, no es posible identificar variables únicas que determinen aspectos tan complejos como el logro de aprendizaje, sí ha sido posible obtener correlaciones importantes al respecto. Destaca el avance en el logro de aprendizaje, lo que estaría relacionado con la metodología activa implementada a lo largo del curso, existiendo una clara diferencia entre los distintos grupos de alumnos del curso, según su rendimiento. Por otro lado, se ha logrado relacionar temas tan importantes como la asistencia a clases con un buen desempeño a lo largo del curso. La importancia de continuar con estas investigaciones radica en promover actividades metodológicas que favorezcan aprendizajes más profundos, motivantes y duraderos, lo que repercute en el desarrollo de herramientas fundamentales en la formación profesional de los estudiantes. Para esto es fundamental analizar el impacto de estas metodologías en la motivación de los alumnos, lo que se planea realizar en una futura investigación en base a estudios cualitativos y diseño del curso en base a diversas metodologías activas, ya que no fue medido apropiadamente en esta versión del curso, para ser incorporado en este estudio.

PRINCIPIO CIENTÍFICO UTILIZADO

El principio fundamental estudiado en este artículo es la aplicación de metodologías de aprendizaje activo en el curso Físicoquímica de la carrera de Ingeniería. El aprendizaje activo se define como cualquier método de enseñanza que involucra a los estudiantes en el proceso de aprendizaje. Este tipo de metodologías promueve que los estudiantes desarrollen aprendizajes significativos al procesar la información que reciben. Los cursos de esta carrera implementan un currículum basado en competencias, las que describen lo que los estudiantes deben ser capaces de saber y hacer al terminar un curso. Por lo tanto, las metodologías de aprendizaje activo definidas para desarrollar las competencias del curso, debieran favorecer aprendizajes más profundos y duraderos, con estudiantes más motivados e involucrados en su proceso de aprendizaje, manifestando mayor compromiso con el curso (reflejado en mayor asistencia y mejor rendimiento).

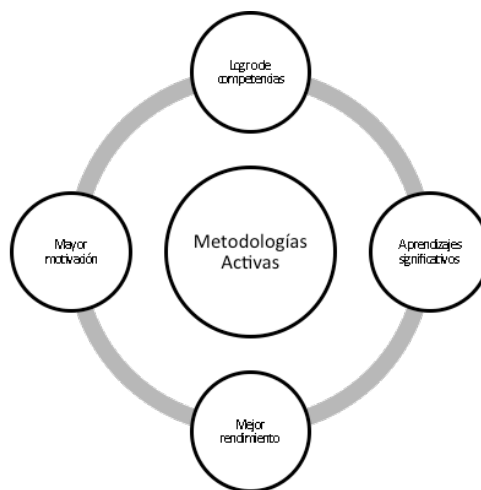


Figura 3: Factores relevantes del uso de metodologías activas.

AGRADECIMIENTOS

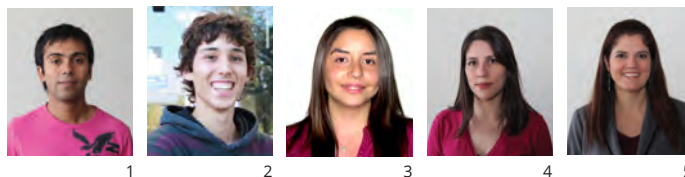
Los autores desean agradecer al profesor Claudio Gelmi, por su apoyo en el estudio y análisis estadístico del logro de competencias por parte de los alumnos, en especial para identificar diferencias significativas entre los grupos y analizar la percepción en el logro real y esperado. Asimismo, se agradece la colaboración de los alumnos del curso de Físicoquímica de 2012-1, quienes contestaron las encuestas y entregaron información relevante para esta investigación.

REFERENCIAS

1. FELDER, R. M., BRENT, R. Designing and Teaching Courses to Satisfy the ABET Engineering Criteria. *Journal of Engineering Education* , 92 (1), pp. 7-25, 2003.
2. REED-RHOADS, T. Presentation: A seminar offered at the Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería [diapositivas de PowerPoint]. ABET: Assessing Engineering Education . Santiago, Chile, 9 de enero de 2012.
3. FELDER, R. M., BRENT, R. Effective Teaching: A Workshop. Washington, EE.UU, 2007.
4. PRINCE, M. Does Active Learning Work? A Review of the Research . *Journal of Engineering Education* , 93 (3), pp. 223-231, 2004.
5. JONES, B. D., PARETTI, M. C., HEIN, S. F., KNOTT, T. W. An analysis of motivation constructs with first-year engineering students: Relationships among expectancies, values, achievement, and career plans. *Journal of Engineering Education*, 99(4), pp. 319-336, 2010.

EQUIPO DE INVESTIGADORES

- 1 Javier Cueto
- 2 Sebastián Arentsen
- 3 Tamara Rabi
- 4 Ximena Hidalgo
- 5 Profesora Loreto Valenzuela





Efectos de factores de riesgo locales en la vida de los componentes

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

Magdalena Muñoz¹, Alumna de sexto año

Felipe Sánchez¹, Alumno de sexto año

Rodrigo Pascual¹, Profesor Asociado

¹DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINERÍA

RESUMEN

Las condiciones en las que se encuentran los equipos mineros difieren dependiendo de la mina en la que estén operando. Sin embargo, las condiciones físicas, ambientales o de operación no son consideradas en el plan de mantenimiento de los equipos y se desconoce el riesgo de falla que agregan estas condiciones en la vida de los componentes. En este trabajo se estudia el comportamiento de falla de ciertos componentes, en distintas faenas mineras del país, para determinar si es que las condiciones de algunas de ellas son efectivamente más riesgosas para los equipos. El estudio de caso considera componentes de camiones y, las condiciones estudiadas, fueron el modelo de camión, la altura a la que se encuentra la faena donde operan y si el camión sube, o no, cargado. El primer paso para estudiar el comportamiento de falla fue determinar un caso base entre los distintos casos que se tenía para el estudio. Se eligió la faena Pelambres y el modelo de camión Komatsu 930E-4 como caso base. Luego, se realizó un análisis de Weibull para ajustar la distribución de fallas y, finalmente, a partir de esos parámetros, se llevó a cabo un estudio de **confiabilidad** a través del Modelo de Cox. De este modo, se pudo relacionar todos los casos al caso base. Del análisis se concluye que operar a alturas sobre 4.000 metros sobre el nivel del mar

(msnm) aumenta significativamente el riesgo de falla, mientras que el efecto contrario se produce al operar en faenas donde los camiones suben cargados. La metodología que se describe en el artículo se muestra eficaz para la evaluación de riesgos locales en la gestión de los equipos y permite un uso de alto impacto de la data disponible. Actualmente, ni las empresas dedicadas al mantenimiento de equipos, ni las empresas mineras, le han dado importancia al efecto de las condiciones locales en la vida de los componentes, sin embargo, este estudio refleja que algunas condiciones físicas y operativas sí afectarían la duración de los componentes y que considerarlas dentro de los planes de mantención podría permitir que los tiempos entre intervenciones se determinen de manera más precisa.

INTRODUCCIÓN

Para lograr que los movimientos mineros sean constantes y evitar que se detengan las operaciones, cada empresa debe llevar a cabo una estrategia de mantenimiento que se adapte a sus necesidades. En general, el objetivo es evitar las fallas y, por lo tanto, es habitual llevar a cabo una estrategia preventiva. De acuerdo a esto y a los costos involucrados en el proceso, los responsables de las mantenciones de los equipos fijan un tiempo óptimo entre intervenciones, en función del nivel de confiabilidad que deseen asegurar, a partir de una curva de confiabilidad como la que se muestra en la Figura 1.

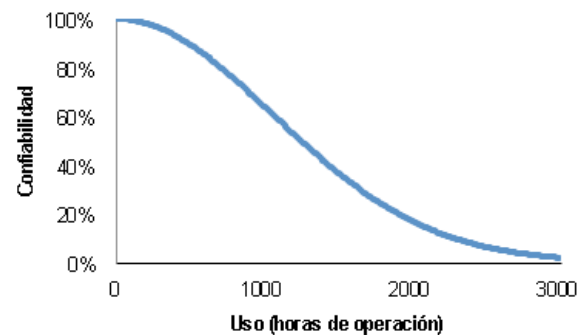


Figura 1: Time Between Overhaul (TBO) según nivel de confiabilidad.

Lo que indica la Figura 1 es que, después de una mantención o recambio de componentes (**overhaul** en tiempo 0) y a medida que aumentan las horas de operación, la confiabilidad o probabilidad de que el componente no haya fallado disminuye. Es decir, a medida que pasa el tiempo, el riesgo de falla aumenta. A modo de ejemplo, se puede ver que el **TBO** para una confiabilidad de 60% es de, aproximadamente, 1.000 horas de uso.

Debido a que el TBO de un componente se fija en base a la probabilidad de que éste no haya fallado (confiabilidad), después de un cierto tiempo de uso, junto con un análisis de costos asociado a las mantenciones preventivas y correctivas, claramente no todos alcanzan a llegar al tiempo óptimo (económico y técnico) de mantención y fallan antes. Estas fallas pueden deberse a múltiples factores, pero empresas fabricantes de camiones y expertas en mantenimiento se han percatado que, en distintas faenas, algunos componentes fallan antes que en otras, sospechando así, que ciertas condiciones físicas y operativas de las distintas minas podrían generar mayor o menor desgaste de los equipos, como se ilustra en la Figura 2.

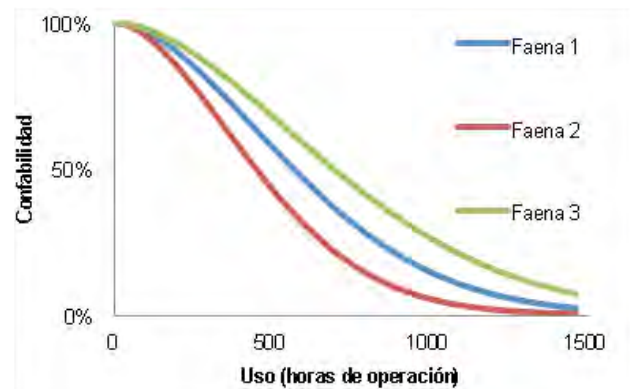


Figura 2: Confiabilidad según faena de operación.

Esto implica que la metodología de fijar un TBO para cada componente, sin considerar la faena en la que se utilizará, no es eficiente debido al costo de tener componentes que fallan antes de llegar a su mantención (en el caso de faenas donde las condiciones generan mayor desgaste), o bien, costos innecesarios de intervención al no aprovechar completamente su vida útil (en el caso de faenas donde las condiciones son favorables y la vida útil aumenta). El objetivo de este artículo es dar a conocer las diferencias que existen entre los tiempos de falla de los componentes en las distintas faenas, según las condiciones específicas bajo las que operan. De esta manera, se espera contar con un sustento válido para extrapolar esta situación a otras faenas de similares condiciones.

METODOLOGÍA

El estudio se centró en el análisis de dos componentes específicos. Los datos utilizados fueron proporcionados por la Unidad de Confiabilidad de Komatsu Chile y corresponden a historiales de mantención y registros de **horómetros** operativos de algunas de las faenas más importantes del país, siendo éstas:

- Andina
- Collahuasi
- Escondida (MEL)
- Gaby
- Pelambres
- Radomiro Tomic (RT)

Las condiciones evaluadas fueron:

- Modelo de Camión
 - 930E-3
 - 930E-4
- Altura
 - Bajo 3.000 msnm
 - Entre 3.000 y 4.000 msnm
 - Sobre 4.000 msnm
- Camión sube cargado
 - Sí sube cargado
 - No sube cargado

El primer paso para el desarrollo de este estudio correspondió al análisis de la distribución de los datos correspondientes a cada componente, de manera de determinar un caso base sobre el cual trabajar.

A continuación se realizó un análisis de Weibull de dicho caso base, esto debido a que se ha demostrado que muchos procesos de falla se ajustan de muy buena manera a esta distribución [1]. Además de que sus parámetros $\eta > 0$ y $\beta > 0$ facilitan la construcción de la curva de confiabilidad, ellos representan la vida característica del elemento estudiado y el parámetro de forma de la distribución, respectivamente. Este análisis se realizó utilizando la herramienta Excel y consiste en graficar los datos, usando escala logarítmica en los ejes y, luego, ajustar los datos graficados a una regresión lineal a partir de la cual se obtienen los parámetros de la distribución Weibull. Para llevar esto a cabo se utilizaron las edades de recambio de componentes por motivos imprevistos y se mantuvieron censuradas las mantenciones preventivas y los componentes en operación [1].

Con los parámetros de Weibull, de la etapa anterior, se llevó a cabo el estudio de riesgo proporcional PHM o Proportional Hazard Model (Modelo Proporcional de Riesgo) [2,3]. El objetivo de este análisis estadístico es determinar, a partir del caso base, la magnitud del riesgo que le agrega cada faena, y sus respectivas condiciones, a la vida de los componentes. A partir de los tiempos entre fallas del caso base, se determinó una tasa de riesgo base $\lambda_0(t)$ que depende del tiempo de uso del componente y de los parámetros de Weibull, tal como se presenta en la siguiente ecuación:

$$(1) \quad \lambda_0(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \left[\frac{\text{fallas}}{\text{unidad de tiempo}} \right]$$

Luego, para determinar la tasa de riesgo de falla $\lambda(t)$ de cada componente, en cada faena, se ponderó la tasa de riesgo base por una función que incorpora los efectos de cada uno de los factores que podrían, eventualmente, aumentar el riesgo de falla (modelo de camión y altura, entre otros). Se destaca que, en este caso, se consideró una parametrización exponencial, además que los factores de riesgo z_i no dependen del tiempo ($z_i = 1$ si la faena presenta el factor de riesgo i , $z_i = 0$ si no lo hace). Luego, la tasa de riesgo de falla está dada por la siguiente expresión:

$$\lambda(t, z) = \lambda_0(t) e^{\sum_{i=1}^n \beta_i z_i} \left[\frac{\text{fallas}}{\text{unidad de tiempo}} \right] \quad (2)$$

Donde $\lambda_0(t)$ es la tasa de riesgo base y las z_i son las covariables (n factores de riesgo). Se destaca, además, que al seleccionar el caso base, el parámetro β de éste se usa también para todos los otros casos, de modo que efectivamente todos tengan el mismo comportamiento de falla, es decir, en la ecuación anterior $\beta_i = \beta \forall i$. Esto es un supuesto básico para realizar el PHM.

De este modo, se determinó qué factores afectan en mayor magnitud al desgaste de los equipos y, al mismo tiempo, se cuantificó esta influencia. Es decir, se estableció el peso o relevancia relativa de un factor físico o ambiental con respecto al resto.

Como resultado del PHM se construyó la curva de confiabilidad que presenta al caso base y los demás casos como ponderación de éste último. La confiabilidad queda representada por:

$$R(t) = e^{-\alpha \int \lambda_0(t) dt} = e^{-\alpha \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3)$$

Donde α corresponde al coeficiente de riesgo que le agrega cada uno de los factores al caso base ($\alpha \geq 0$, y para el caso base $\alpha = 1$); $\alpha \geq 0$, y para el caso base ($\alpha \geq 0$, y para el caso base $\alpha = 1$) y $\frac{t}{\eta}$ es la razón entre el tiempo de uso y la vida característica del componente.

En la sección “Principio Científico” se entrega una explicación más detallada de todo este procedimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados Componente 1

Análisis de datos

De un universo de 247 observaciones, entre mantenciones imprevistas y programadas, se obtuvo la siguiente distribución de datos mostrada en las Figuras 3 y 4.

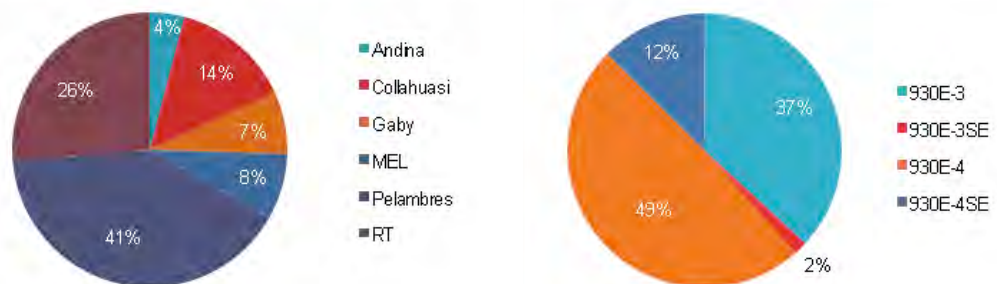


Figura 3: Componente 1, distribución de datos por faena. Figura 4: Componente 1, distribución de datos por modelo de camión.

Dado que la faena Pelambres y el modelo 930E-4 representan la mayor porción de datos, se utilizaron estas condiciones como caso base.

Caso Base – Análisis de Weibull

Los resultados obtenidos del análisis de Weibull del caso base son presentados en la Figura 5, donde se aprecian ambos comportamientos de falla del componente.

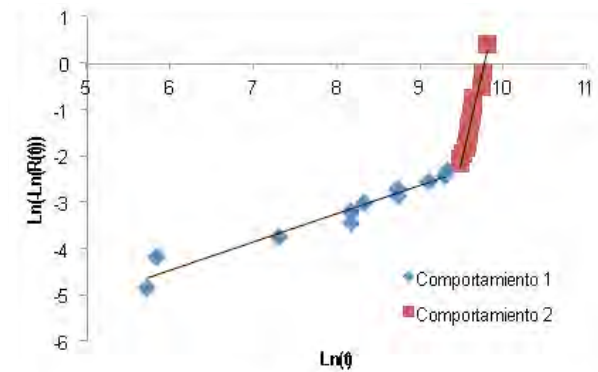


Figura 5: Componente 1, ajuste de Weibull.

Cuyos parámetros son:

$$\beta_1 = 0,60 \text{ y } \eta_1 = 608.194$$

$$\beta_2 = 7,64 \text{ y } \eta_2 = 17.216$$

El Modelo de Regresión de Cox determina el riesgo proporcional asociado a las condiciones incluidas en este estudio. El análisis se realizó utilizando el software R [4].

Confiabilidad PHM

Se utilizó un nivel de significancia del 5%. Las variables finales son todas representativas, de acuerdo al nivel de significancia del estudio. Además, tanto el Test de Razón de Verosimilitud, como el Test de Wald y el Test de Puntajes, indican que el análisis es representativo.

Finalmente, todas las condiciones generan un comportamiento distinto al del caso base. Los coeficientes de riesgo en relación al caso base de cada una de las condiciones, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Componente 1, coeficientes de riesgo por condición.

Condiciones	Coficiente de Riesgo
Modelo 930E-3	0,50
Altura sobre 4000 msnm.	1,65
Sí sube cargado	0,65

Utilizando los coeficientes de riesgo obtenidos se generan las curvas de confiabilidad para cada una de las condiciones, tal como se presenta en la Figura 6.

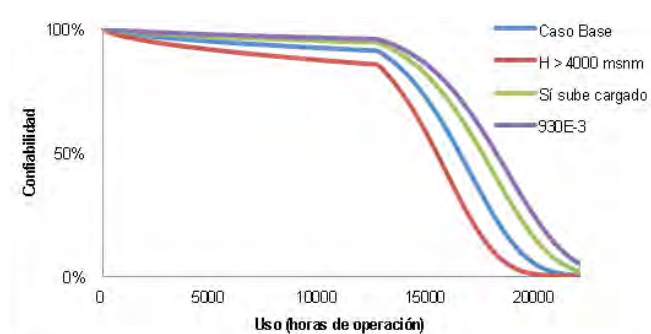


Figura 6: Componente 1, confiabilidad según condición.

A partir de estos resultados se pueden calcular los tiempos medios entre fallas (MTTF), según la siguiente expresión [1]:

$$MTTF = \gamma + \eta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (4)$$

Donde $\gamma \in \mathbb{R}$ corresponde a la vida asegurada (periodo de tiempo en el que la probabilidad de falla es muy baja o nula), cuyo valor se consideró igual a cero para todos los casos. El parámetro β es el mismo del caso base (correspondiente al segundo tramo, en este caso) y η se obtiene a partir de la curva de confiabilidad de cada condición de operación a través de la fórmula (3).

Los resultados aproximados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Componente 1, tiempos medios de falla por condición.

Condiciones	MTTF (horas de operación)
Caso Base	16.000
Modelo 930E-3	18.000
Altura sobre 4.000 msnm.	15.000
Sí sube cargado	17.000

Resultados Componente 2 Análisis de datos

De un universo de 240 observaciones, entre mantenencias imprevistas y programadas, se obtuvo la distribución de datos que se ilustra en las Figuras 7 y 8 siguientes:

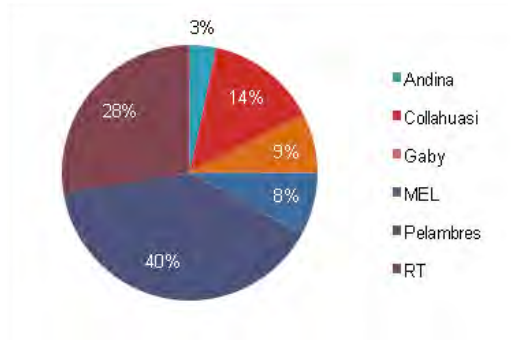


Figura 7: Componente 2, distribución de datos por faena.

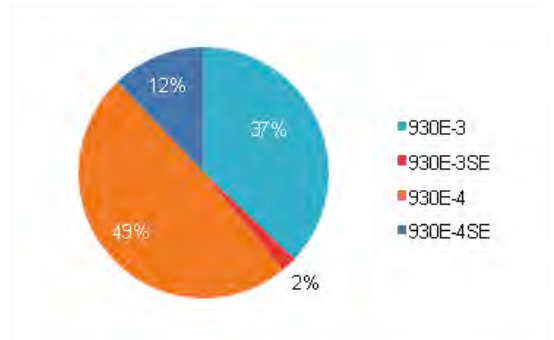


Figura 8: Componente 2, distribución de datos por modelo de camión.

Dado que la faena Pelambres y el modelo 930E-4 representan la mayor porción de datos, se utilizaron estas condiciones como caso base.

Caso Base – Análisis de Weibull

Los resultados obtenidos del análisis de Weibull del caso base son presentados en la Figura 9.

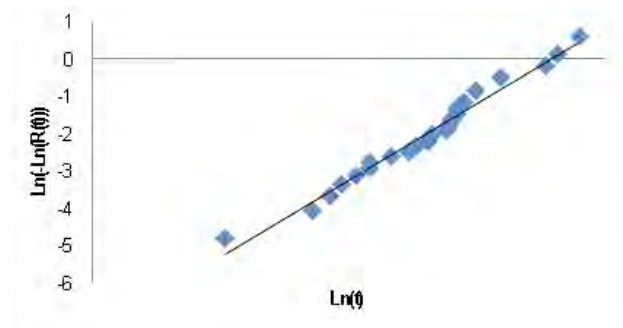


Figura 9: Componente 2, ajuste de Weibull.

Cuyos parámetros son: $\beta = 1,65$ y $\eta = 35.570$ hrs.

Dado que el análisis de Weibull no presenta anomalías, por medio del software R se llevó a cabo el Modelo de Regresión de Cox para determinar el riesgo proporcional asociado a las condiciones incluidas en este estudio [4].

Confiabilidad PHM

Se utilizó un nivel de significancia del 5%. Las variables finales son todas representativas, de acuerdo al nivel de significancia del estudio. Además, tanto el Test de Razón de Verosimilitud, como el Test de Wald y el Test de Puntajes, indican que el análisis es representativo.

Finalmente, todas las condiciones generan un comportamiento distinto al del caso base. Los coeficientes de riesgo, en relación al caso base de cada una de las condiciones, se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Componente 2, coeficientes de riesgo por condición.

Condiciones	Coefficiente de Riesgo
Modelo 930E-3	0,55
Altura sobre 4.000 msnm	1,65
Sí sube cargado	0,75

Utilizando los coeficientes de riesgo obtenidos se generan las curvas de confiabilidad para cada una de las condiciones, tal como se presenta en la Figura 10.

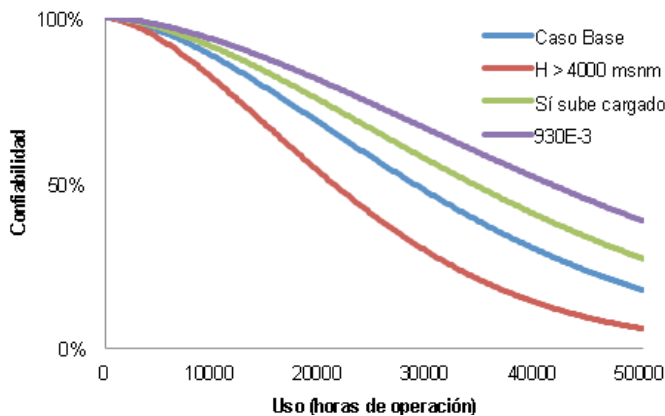


Figura 10: Componente 2, confiabilidad según condición.

Al igual que en la sección anterior, a partir de estos resultados se pueden calcular los tiempos medios entre fallas (MTTF), según la siguiente expresión [1]:

$$(4) \quad MTTF = \gamma + \eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Donde γ corresponde a la vida asegurada (periodo de tiempo en el que la probabilidad de falla es muy baja o nula), cuyo valor se consideró igual a cero para todos los casos. El parámetro β es el mismo del caso base y η se obtiene a partir de la curva de confiabilidad de cada condición de operación a través de la fórmula (3).

Los resultados aproximados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Componente 2, tiempos medios de falla por condición.

Condiciones	MTTF (horas de operación)
Caso Base	32.000
Modelo 930E-3	52.000
Altura sobre 4.000 msnm	26.000
Sí sube cargado	42.000

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se concluye que ciertas condiciones de las faenas efectivamente influyen en el comportamiento de falla de los componentes estudiados. Específicamente, la altura sobre 4.000 msnm acelera el decrecimiento de la confiabilidad, a medida que aumenta el tiempo de servicio de estos componentes. Además que la utilización del modelo 930E-3 y el hecho que los camiones suban cargados tienen el efecto contrario sobre la vida de estos componentes, disminuyendo su riesgo de falla.

El conocer cuantitativamente estos efectos puede traer diversos beneficios. En primer lugar, se pueden ajustar los TBO óptimos de cada componente dependiendo de las condiciones de la faena en donde se utilicen, generando beneficios económicos y logísticos, entre otros. Y en segundo lugar, dado que los coeficientes de riesgo están asociados a condiciones físicas y operacionales, y no a una faena específica, estos pueden extrapolarse a distintas faenas según las condiciones de las mismas.

A modo de ejemplo, se muestra a continuación las diferencias que se generan al aplicar estos resultados sobre el Componente 2, considerando que la faena en la que operarán los equipos esté sobre los 4.000 msnm.

En la Figura 11 se ilustran las curvas de costos globales, con y sin considerar los efectos de la altura sobre la vida del componente.

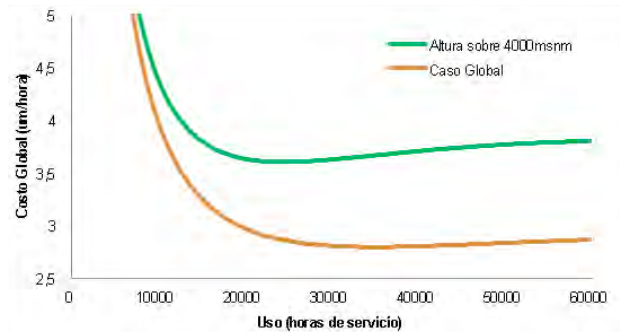


Figura 11: Costos globales, con y sin considerar los efectos de la altura [1].

Si para definir el TBO del componente se utiliza como criterio la minimización de los costos globales, el tiempo entre intervenciones que se debería fijar, considerando el efecto de la altura, se diferencia bastante del que se utilizaría tradicionalmente, siendo esta diferencia de, aproximadamente, un 30%.

Por otro lado, esta brecha entre los TBO se ve reflejada, por supuesto, en los costos globales de mantenimiento. Específicamente, el considerar el efecto de la altura podría traducirse en un ahorro de hasta un 5%, para este caso.

Esto implica que considerar las condiciones físicas y operativas de una mina dentro de los planes de mantenimiento de los equipos podría permitir que los tiempos entre intervenciones se determinen de manera más precisa. Es por esto que se recomienda analizar las condiciones más críticas de cada faena para establecer la magnitud del riesgo que cada una de ellas le agrega a los equipos y considerar estos riesgos en los planes de mantenimiento, para optimizar la vida útil de los componentes, dependiendo del lugar en que se encuentren.

PRINCIPIO CIENTÍFICO UTILIZADO

El ajuste de datos, mediante una distribución teórica conocida, permite analizar y explicar el comportamiento de una variable aleatoria por medio de parámetros y/o propiedades propias de dicha distribución, de modo que se puedan inferir conclusiones sobre su comportamiento.

En el caso del comportamiento de falla de sistemas mecánicos, se ha demostrado que la distribución de Weibull se ajusta de manera efectiva a las observaciones y, es por esto, que es normalmente utilizada en estudios de confiabilidad en que se quiere analizar y prevenir las fallas de distintos dispositivos.

La distribución de Weibull se representa por la función de distribución:

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad \forall t \geq 0 \quad (1)$$

Esta ecuación representa la probabilidad de falla antes del tiempo t , donde β representa el parámetro de forma de la distribución y η se define como la vida característica del elemento estudiado.

El ajuste de observaciones a la distribución de Weibull se lleva a cabo por medio de una linealización gráfica de los datos y tiene por objetivo determinar los parámetros β y η . Esto se hace usando en el eje de abscisas los tiempos entre falla $x = \ln(t)$, y, en las ordenadas, la confiabilidad $y = \ln(-\ln(R(t)))$. Donde $R(t) = 1 - F(t)$, y $F(t)$ es inicialmente estimado usando rangos medios.

Como resultado del ajuste, se obtiene la ecuación de la recta formada por los puntos $[x,y]$, y es por medio de ésta que se obtienen los parámetros β y η de la distribución. Si la ecuación se representa como $y = ax - b$, entonces $\beta = ay$ y $\eta = \exp(-b/a)$.

GLOSARIO

Confiabilidad: Probabilidad de que un componente seguirá realizando la función prevista tras cierto tiempo de uso.

Horómetro: Dispositivo que mide las horas en funcionamiento de los equipos y sus componentes, desde su última mantención.

MTTF: Mean Time To Failure, es el tiempo promedio en el que la probabilidad de que el componente falle es alta.

Overhaul: Intervención en la que se realiza mantenimiento o recambio de componentes.

TBO: Time Between Overhauls, corresponde al tiempo entre intervenciones.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a Guillermo del Castillo y Alejandro Martínez, de la Unidad de Confiabilidad de Komatsu Chile, cuyo apoyo y constante preocupación por el proyecto ayudó de manera importante a la realización del estudio. También se agradece a Rodrigo Mendoza, quien brindó apoyo y consejo durante todo el proceso.

REFERENCIAS

1. PASCUAL, R. Apuntes: El Arte de Mantener (draft), Pontificia Universidad Católica de Chile, 2012.
2. KUMAR, D. Proportional Hazard Model: a useful tool for the analysis of a mining system, Cap. 69, 1992.
3. KUMAR, D. Proportional Hazards Modelling of Repairable Systems, *Quality and Reliability International*, 11, pp. 361-369, 1995.
4. SIMPOSIO DE ESTADÍSTICA (15°, 2005, Bogotá, Colombia). Análisis de Supervivencia Básico Utilizando el Lenguaje R. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, 2005.

EQUIPO DE INVESTIGADORES

- 1 Magdalena Muñoz
- 2 Felipe Sánchez
- 3 Profesor Rodrigo Pascual



1



2



3



“Mapocho Pedaleable”: modelos estadísticos y de transporte de sedimentos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

José Luis Domínguez¹, Alumno de quinto año

Cristián Escauriaza¹, Profesor Asistente

Maricarmen Guerra¹, Ingeniero de Proyectos

¹DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL

INTRODUCCIÓN

El río Mapocho es uno de los tres cauces más importantes en la cuenca del río Maipo [1] y tiene una gran relevancia histórica para el país, ya que la ciudad de Santiago fue fundada a sus orillas para el aprovechamiento de sus aguas. Lamentablemente, hasta hace pocos años, el río mantenía altos niveles de contaminación y, a pesar del tratamiento de la mayor parte de sus aguas, todavía conserva este estigma por parte de la población [2].

Con el proyecto “Mapocho Pedaleable” [3] se pretende superar este problema, proponiendo la construcción de una ciclovía en el cauce del río, que acerque a los ciudadanos a un río limpio y más integrado a la ciudad.

Actualmente, la zona en la que se ubicaría la ciclovía es una zona de alta congestión, por lo que resultaría una solución apropiada para este problema, además de promover la vida sana y el deporte.

La importancia de este proyecto radica en que se estaría aprovechando un espacio que la mayor parte del año no se utiliza, el mismo lecho del río, como se ve en la Figura 1. Si ésta se hace de un material suficientemente resistente, sólo se requerirá mover los sedimentos arrastrados por el río después de las crecidas importantes, las que este estudio pretende calcular. Además, la ciclovía no altera mayormente la capacidad de transporte de caudal del río, puesto que es una intervención menor y el talud seccionador ya está construido en gran parte del río, remanente de la construcción de la Costanera Norte.

Concretamente, la ciclovía recorrerá 7 km desde el parque Bicentenario a la estación Mapocho, como se muestra en la Figura 2. Su diseño considera que la ciclovía podría inundarse en condiciones de tormenta, cuando el caudal del río se incrementa de forma considerable. En estas condiciones, el análisis del flujo y de las zonas de inundación durante las crecidas adquiere gran relevancia para el diseño de la ciclovía y su posterior operación.



Figura 1: Esquema de la ciclovía y altura máxima del río sin inundarla [3].



Figura 2: Tramo del río en que se construirá la ciclovía en el cauce del río Mapocho con indicadas zonas de probable depositación de sedimentos de acuerdo al modelo. Sobre imagen de © Google 2012 [4].

METODOLOGÍA

La investigación se divide en tres partes fundamentales: (1) el análisis hidrológico de los caudales; (2) la modelación hidráulica del flujo; y (3) el análisis del transporte de sedimentos. La metodología utilizada para cada uno de ellos se describe en los párrafos siguientes.

El análisis hidrológico de caudales se realizó a partir de datos recopilados de estaciones fluviométricas, donde las series de tiempo se ajustaron a distribuciones de probabilidad de excedencia de caudales, con el objetivo de determinar la magnitud de las crecidas relacionadas a la probabilidad de ocurrencia.

En esta investigación, la modelación hidráulica se realizó utilizando el programa HEC-RAS creado por el USACE (United States Army Corps of Engineers). El modelo considera solamente flujo unidireccional, lo cual es suficiente en este tipo de análisis a gran escala y que entrega, como resultado, la profundidad de escurrimiento y la velocidad promedio en cada sección del río.

Los aspectos importantes considerados en el modelo fueron: a) las secciones perpendiculares al cauce en dirección aproximada oriente-poniente (en total 157 secciones ubicadas cada 50 mts), obtenidas de los planos arquitectónicos con lo que se obtuvo la geometría del cauce; b) la pendiente que permitió evaluar la energía que el río va ganando a medida que avanza, de 1,1% en promedio; c) el puente a la altura de la rotonda Pérez-Zujovic, el cual es el único que obstruye el flujo natural del cauce con pilares; d) la rugosidad, utilizando el método de Cowan [7], ya que la pérdida de energía del flujo es mayor si la rugosidad es alta y viceversa; y e) el aumento de caudal producido por el Canal San Carlos, dado que con un mayor caudal, el flujo posee más capacidad de transporte de sedimentos.

Con respecto al análisis de transporte de sedimentos, la metodología consistió en que, a partir de la curva granulométrica [9] se obtiene la descripción del suelo aguas abajo del tramo propuesto para la ciclovia. Con esto, y los resultados de la modelación, se puede proceder a calcular, sección a sección, la capacidad de transporte del río. Esto se hace utilizando distintos parámetros que entrega el modelo, ya sea la energía, la altura de agua, la rugosidad, la velocidad y el caudal. Combinados estos factores se utiliza el método de Wilcock y Crowe para lechos de granulometría extendida [8], para determinar el transporte.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Análisis hidrológico de caudales

Debido a la información incompleta de las estaciones fluviométricas, se estimaron los caudales máximos instantáneos anuales utilizando la metodología estadística propuesta por la Dirección General de Aguas (DGA) [5].

Luego de obtener los caudales máximos instantáneos para cada estación, se procedió a ajustar las distribuciones de probabilidad (Figura 3). En este caso, como son valores extremos, se utilizó las distribuciones generalmente propuestas para este tipo de datos: Valores Extremos Tipo I, o Gumbel, y Tipo II [6].

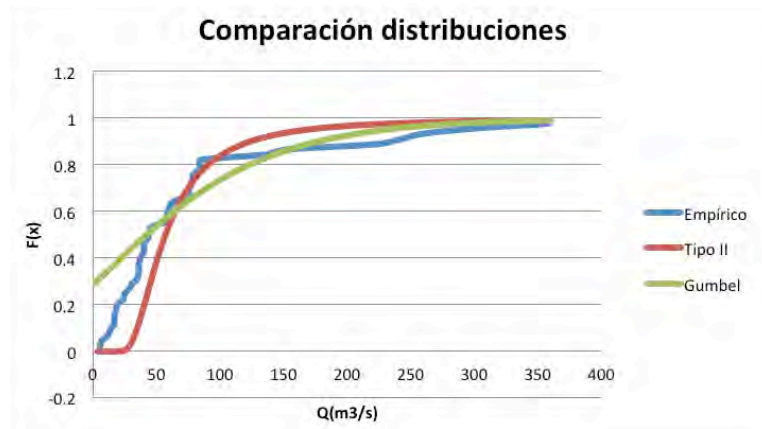


Figura 3: Comparación de distribuciones de probabilidad acumuladas, ajustadas a la serie de caudales máximos instantáneos.

A partir de este ajuste se calculó el valor del caudal en una crecida para un Periodo de Retorno (T) mayor a los años del registro de datos. Por otra parte, también se han considerado, para completar el estudio hidrológico, los valores de caudal máximo instantáneo propuesto en el Plan Maestro de Aguas Lluvias de la ciudad de Santiago [1]. Finalmente, dado que el Plan Maestro indica valores de caudales más altos, se decidió usar estos valores para mantener un modelo conservador. Se decidió utilizar, en el modelo, los valores de las crecidas de período de retorno 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, puesto que son valores comúnmente usados y representativos.

Modelación hidráulica

De la modelación hidráulica se obtuvo por resultado las características del río en cada sección analizada. Es decir, contando con parámetros relevantes del río a gran escala, como la velocidad, altura de agua, rugosidad y pérdida de energía, se pudo graficar la información para así tener una mejor idea del comportamiento de éste.

El análisis se realizó para cada valor de crecida mencionado anteriormente. En la mayor parte de los resultados se muestran las crecidas de período de retorno de 2 y 100 años debido a que son los casos más extremos, pudiendo observar así diferencias con mejor claridad.

¹ Porcentajes referidos a los alumnos cursando en dicho semestre, según encuesta realizada en la primera clase del curso. El resto de los alumnos (19%) corresponde a indecisos.

Para ilustrar esto se muestra una comparación de los resultados para dos crecidas de distinto período de retorno en torno al puente de la rotonda Pérez-Zucovic (Figura 4). Como es de esperar, la altura de agua (en azul) en la crecida de 2 años de período de retorno es menor que en la de 100. Es importante notar también que, para la crecida de 100 años, el agua no sobrepasa los márgenes, indicando que el diseño de éste es para una crecida de una magnitud aún mayor.

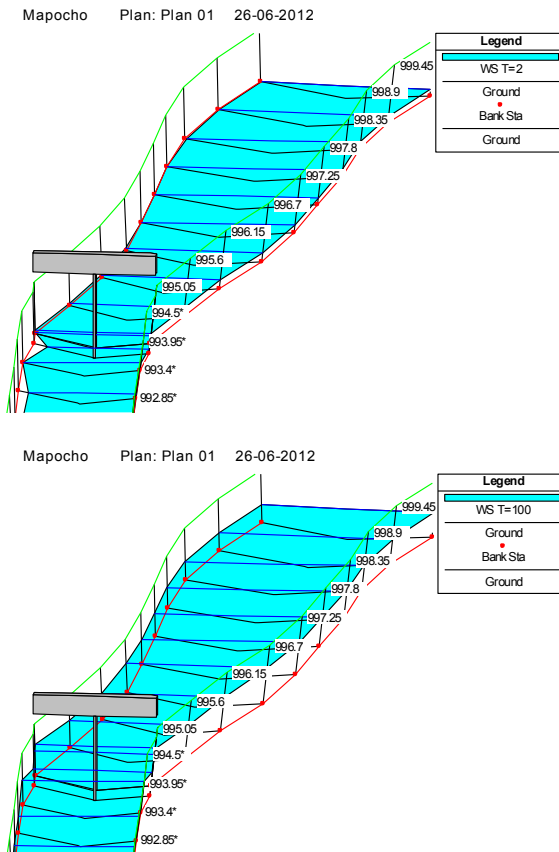


Figura 4: Modelación HEC-RAS para T = 2 y T = 100 años en puente rotonda Pérez-Zujovic. En azul está la superficie del agua (WS), en negro, la sección del canal (Ground).

Si se usara el muro que quedó de la construcción de la Costanera Norte como división de la ciclovía, éste evitaría inundar la ciclovía con la crecida de dos años.

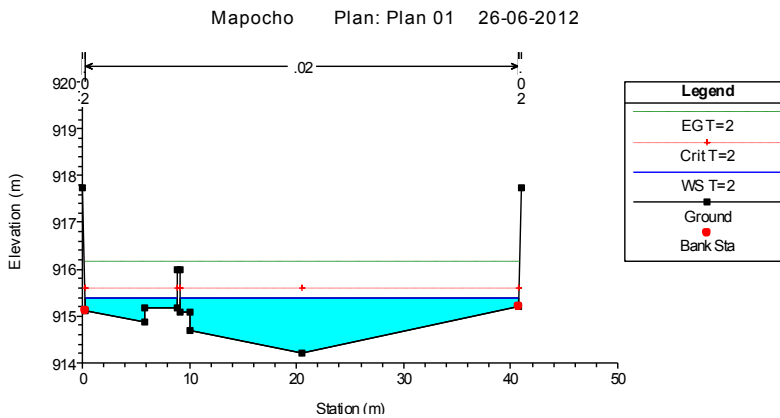


Figura 5: Modelación HEC-RAS para T = 2 años, sección cercana al puente Manuel Rodríguez. Se puede ver, claramente, el muro que actualmente divide las aguas, remanente de la construcción de la Costanera Norte. La altura en azul es el nivel de agua (WS), la roja es la altura crítica (Crit) y la verde es **altura de energía** (EG).

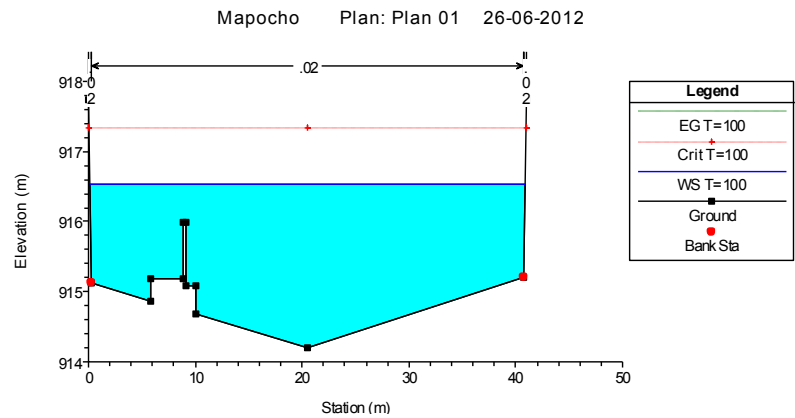


Figura 6: Modelación HEC-RAS para $T = 100$ años, en sección puente Manuel Rodríguez. La altura en azul es el nivel de agua (WS), la roja es la altura crítica (Crit) y la verde es la altura de energía (EG).

Cabe señalar que en todos los casos modelados, es decir, 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de período de retorno, el número de Froude antes del puente de la rotonda Pérez-Zujovic es menor a 1, lo que significa que se está en presencia de régimen subcrítico o régimen de río. Aguas abajo, sin embargo, por causa del cambio en el coeficiente de rugosidad de Manning, el número de Froude pasa a ser mayor a 1, es decir, se tiene régimen supercrítico o de torrente. La Figura 6 lo ilustra, mostrando que el eje hidráulico va sobre la altura crítica aguas arriba del puente y, aguas abajo, pasa a ser torrente. Análisis adicionales de este cambio de régimen y las consecuencias sobre el puente se abordarán en una investigación futura.

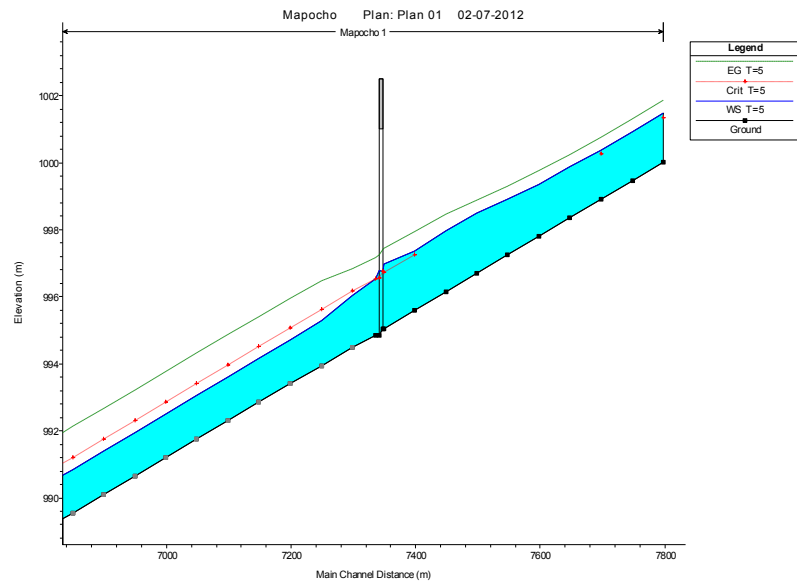


Figura 7: Modelación HEC-RAS para $T = 5$ años. Paso de río a torrente en el puente Pérez Zujovic. La altura en azul es el nivel de agua (WS), la roja es la altura crítica (Crit) y la verde es la altura de energía (EG).

Análisis del transporte de sedimentos

A partir de los resultados obtenidos en la modelación hidráulica anterior, es posible calcular la capacidad de arrastre de fondo de sedimentos, es decir, la cantidad y tamaño de piedras que puede arrastrar el río para las distintas crecidas.

Además se debe señalar que, en los sectores interiores de las curvas del río, también puede ocurrir sedimentación, la cual no es considerada por este análisis unidimensional, porque dicha sedimentación se produce debido a flujos secundarios controlados por la aceleración centrífuga local.

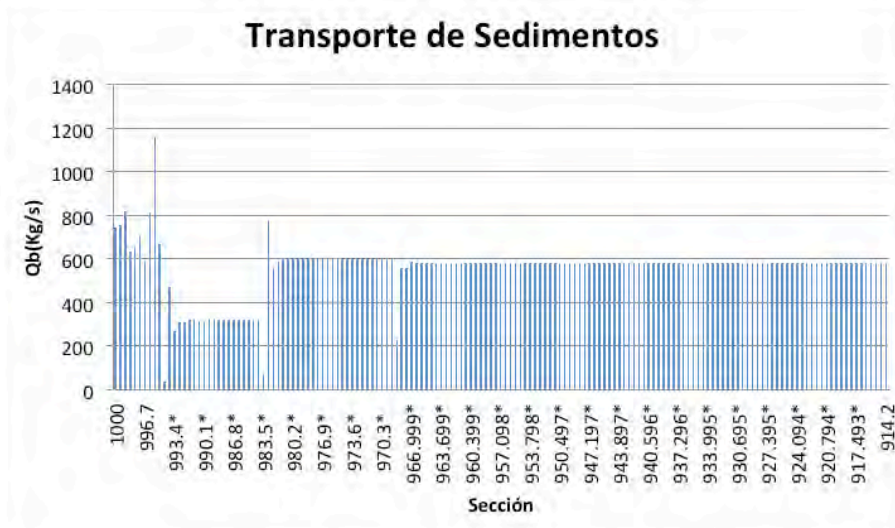


Figura 8: Transporte de sedimentos en kg/s para cada sección para T = 2.

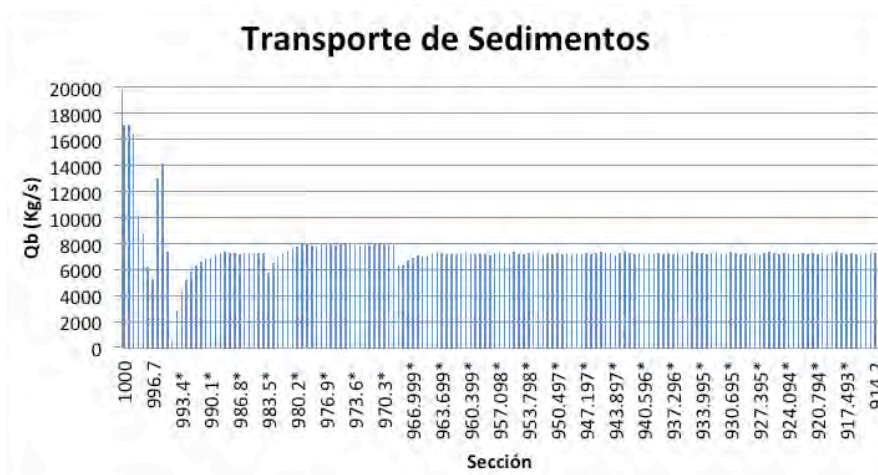


Figura 9: Transporte de Sedimentos en kg/s para cada sección para T = 100.

Se puede observar que hay dos zonas en las que cambia abruptamente el transporte de sedimentos (Figuras 8 y 9). Primero, en la sección 995, donde se ubica el puente de la rotonda Pérez Zujovic y se produce el cambio de rugosidad del lecho. Además, el lecho se va volviendo más angosto paulatinamente en ese tramo. El segundo punto de interés es en la sección 983.5, que es justamente la sección donde el canal San Carlos aporta caudal, produciendo un transporte mayor (Figura 2).

Se podría decir que la zona tentativa de mayor sedimentación sería entre el puente de la rotonda Pérez-Zujovic y la unión con el canal San Carlos, ya que es una zona donde es probable que los sedimentos se acumulen. Otra zona con probable acumulación de sedimentos es la sección 969.2, donde hay un cambio de forma importante en el río, pues se incorpora un muro en su interior. Finalmente se muestra en la Figura 2 un mapa global con las zonas probables de depositación de sedimentos.

Para conocer el tamaño de los sedimentos transportados, se realiza un promedio a lo largo de las secciones del río, para los períodos de retorno $T = 2$ y $T = 100$, y se obtiene por resultado el gráfico de la Figura 10.

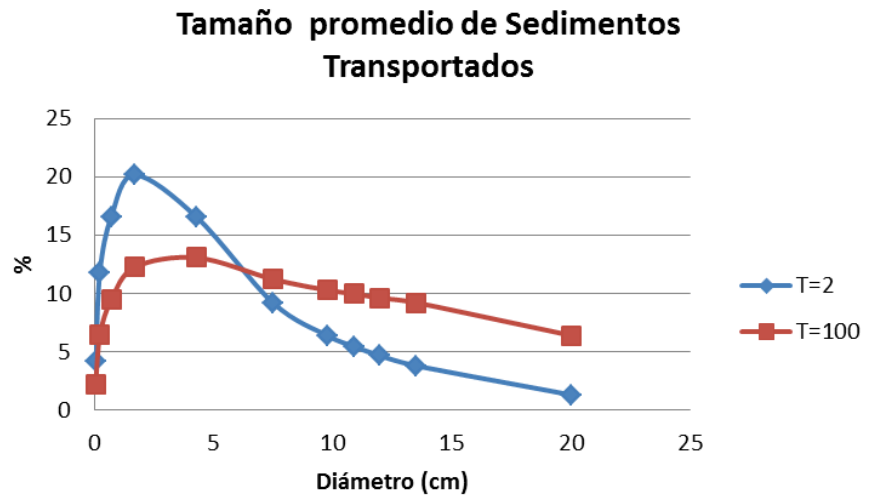


Figura 10: Tamaño promedio de sedimentos transportados para las crecidas de período de retorno 2 y 100.

Se puede observar que hay un mayor transporte de sedimentos para crecidas más grandes de, aproximadamente, 10 veces más. Además, los sedimentos transportados son de mayor tamaño en las crecidas mayores. El tamaño promedio (ponderado) para la crecida de 2 años es de 4,4 cm y, para la de 100 años, es de 7,5 cm, lo cual es aproximadamente un 70% más grande. Esto se debe a que un caudal mayor tiene más capacidad de arrastre para transportar grava de mayor tamaño que una crecida más pequeña.

CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó un estudio de crecidas en el río Mapocho para determinar los caudales que este río lleva en eventos de crecidas, con el fin de poder hacer un análisis acabado del impacto de una ciclovía en la zona canalizada del torrente. Después de esto, se modeló el río hidráulicamente en el programa HEC-RAS y se obtuvieron resultados asociados al comportamiento de éste para eventos de crecidas. Finalmente, se recurrió a un análisis del transporte de sedimentos utilizando el modelo de Wilcock y Crowe [8] para lechos con granulometría extendida, con lo cual se obtuvo una estimación de la capacidad de transporte de sedimentos, pudiéndose definir las zonas más propensas de la ciclovía a recibir depositación de estos.

Para el análisis de crecidas, se estudiaron los caudales máximos instantáneos anuales en las estaciones fluviométricas Mapocho, en Los Almendros, y Arrayán, en La Montosa. Se realizó un ajuste probabilístico a los datos utilizando las funciones de probabilidad Gumbel y Valores Extremos Tipo II. Estos resultados fueron comparados con los valores propuestos en el Plan Maestro de Aguas Lluvias de Santiago [1]. Finalmente, se decidió utilizar los caudales propuestos por el Plan Maestro de Aguas Lluvias, dado que son valores más conservadores.

Se construyó un modelo hidráulico del río Mapocho para el tramo en que se construirá la ciclovía, el cual sirve para obtener una aproximación general de las características del río como velocidad, pendiente de la línea de energía, altura de agua y radio hidráulico, entre otras. Este modelo puede ser usado para futuras investigaciones que evalúen cambios en el diseño de la ciclovía.

A partir del modelo, se determinó un cambio importante en el régimen del río al pasar el puente bajo la rotonda Pérez-Zujovic y cambiar la rugosidad. Pasa de ser subcrítico a supercrítico, lo cual es bastante relevante para caracterizar el comportamiento del río. Se definieron dos zonas con alta probabilidad de sedimentación para eventos de crecidas, las cuales se ubican entre el puente de la rotonda Pérez-Zujovic y la unión con el canal San Carlos y en el tramo en que la sección del río cambia. Se identificó, también, el tamaño y la cantidad de sedimentos que el río transporta, los cuales aumentan un 70% de tamaño y 10 veces en cantidad entre las crecidas de 2 y 100 años de período de retorno.

Estos resultados también pueden ser utilizados para una mejor comprensión del río que cruza la ciudad, para posteriores obras e intervenciones, esperando que intenten, siempre, mantener la dinámica natural del río.

PRINCIPIO CIENTÍFICO UTILIZADO

Distribución Gumbel o tipo I

La función densidad $f_x(x)$ y distribución acumulada $F_x(x)$ son:

$$f_x(x) = \exp(-a(x-u) - \exp(-a(x-u)))$$

$$F_x(x) = \exp(-\exp(-a(x-u)))$$

Donde:

$$a = \bar{x} - \sigma_x \frac{y_n}{S_n}$$

$$a = \frac{S_n}{\sigma_x}$$

Distribución de valores extremos tipo II:

La función densidad $f_x(x)$ y distribución acumulada $F_x(x)$ son respectivamente

$$f(y) = \frac{k}{u} \left(\frac{u}{y}\right)^{k+1} \exp\left(-\left(\frac{u}{y}\right)^k\right)$$

$$F(y) = \exp\left(-\left(\frac{u}{y}\right)^k\right)$$

Donde los momentos de la distribución son:

$$y = u \Gamma\left(1 - \frac{1}{k}\right)$$

$$\sigma_y^2 = u^2 \left(\Gamma\left(1 - \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 - \frac{1}{k}\right) \right)$$

Luego:
$$C_v^2 = \left(\frac{\Gamma\left(1 - \frac{2}{k}\right)}{\Gamma^2\left(1 - \frac{1}{k}\right)} \right) - 1$$

Método de Cowan para determinar la rugosidad del lecho:

Los valores utilizados para el cálculo de n son:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m$$

$$n_0 = \text{material del lecho: Grava gruesa} = 0,025$$

$$n_1 = \text{irregularidades: Moderadas} = 0,01$$

$$n_2 = \text{variaciones de la sección: Graduales} = 0,000$$

$$n_3 = \text{obstrucciones: Despreciables} = 0,000$$

$$n_4 = \text{vegetación: Poca} = 0,005$$

$$m = \text{curvas: pocas} = 1,00$$

$$n = (0,025 + 0,01 + 0 + 0 + 0,005) * 1 = 0,04$$

Ecuación de Wilcock y Crowe (2003) para lechos de granulometría extendida

Definiendo F_i como el porcentaje retenido para el diámetro d_i . El gasto sólido de fondo se expresa de forma adimensional como:

$$W_i = \frac{(SG - 1)g}{F_i u_*^3} q_{bi}$$

Donde q_{bi} es el gasto sólido de fondo para la fracción de diámetro d_i y la velocidad de fricción definida como $u_* = \sqrt{gRS}$.

(1) Se calcula el esfuerzo de corte de referencia τ_{rm} para el diámetro d_i que considera el efecto de escondimiento:

$$\tau_{rm} = \rho g (SG - 1) d_g (0,021 + 0,15 e^{-20F_s})$$

Donde F_s es la fracción de arenas < 2 mm, y $d_g = (d_{84} d_{16})^{(1/2)}$

(2) Se calcula el esfuerzo de corte de referencia para la fracción i .

$$\tau_{ri} = \tau_{rm} \left(\frac{d_i}{d_g} \right)^b$$

$$b = \frac{0,67}{1 + \exp\left(1,5 - \frac{d_i}{d_g}\right)}$$

(3) El esfuerzo de corte adimensional.

$$\phi = \frac{\tau}{\tau_{ri}}$$

Donde $\tau = \rho g R S$ es el esfuerzo de corte.

(4) El gasto sólido adimensional se calcula entonces como:

$$W_i = \begin{cases} 0,002\phi^{7.5} & \phi < 1,35 \\ 14 \left(1 - \frac{0,894}{\sqrt{\phi}}\right)^{4.5} & \phi \geq 1,35 \end{cases}$$

(5) El gasto sólido de fondo para la fracción i se obtiene a partir de la primera ecuación. Finalmente:

$$q_b = \sum_{i=1}^N q_{bi}$$

Este proceso se realiza para todas las 157 secciones del canal a partir considerando los resultados del modelo hidráulico.

GLOSARIO

Altura Crítica: Es la altura que corresponde al número de Froude igual a 1, es decir, la transición entre régimen de río a torrente y mínima energía específica del flujo.

Altura de Energía: La altura de energía es la cuantificación gráfica de la energía del río. Corresponde a la suma de la altura de agua y de velocidad promedio del agua del río. En otras palabras, si el río se encuentra con una pendiente adversa, la altura que alcanzaría antes de detenerse sería ésta (sin contar pérdidas de fricción).

Eje Hidráulico: Es el trazado de la línea de la superficie libre del agua a medida que fluye. En otras palabras, es la línea que muestra la altura de agua del río. El eje hidráulico es distinto para las crecidas de distinto período de retorno.

Número de Froude (F): Parámetro adimensional que relaciona la inercia del flujo con la gravedad, que permite identificar, entre otras cosas, si el tipo del flujo es de río (subcrítico) o torrente (supercrítico). Un régimen de río implica alturas de agua mayores y velocidades más bajas, al contrario, un régimen de torrente implica velocidades altas y alturas de agua bajas.

Período de Retorno (T): Tiempo (en años) que, en promedio, pasa entre dos eventos de crecida con una cierta magnitud. Una crecida de $T = 100$ implica que, en promedio, ese caudal se repite cada 100 años.

Río Vs Torrente: En la naturaleza, los cauces se pueden encontrar de estas dos formas. Con el mismo caudal, un río se puede presentar de las dos maneras dependiendo, principalmente, de la rugosidad y pendiente. El régimen de río equivale a un flujo más lento con una mayor altura de agua. Por otra parte, el torrente corresponde a un flujo de baja altura y alta velocidad. Es equivalente a régimen subcrítico vs régimen supercrítico.

AGRADECIMIENTOS

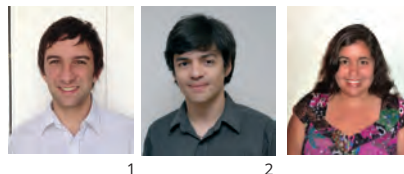
Los autores de este artículo agradecen a Tomás Echiburú y Osvaldo Larraín, autores originales de la idea y proyecto Mapocho Pedaleable.

REFERENCIAS

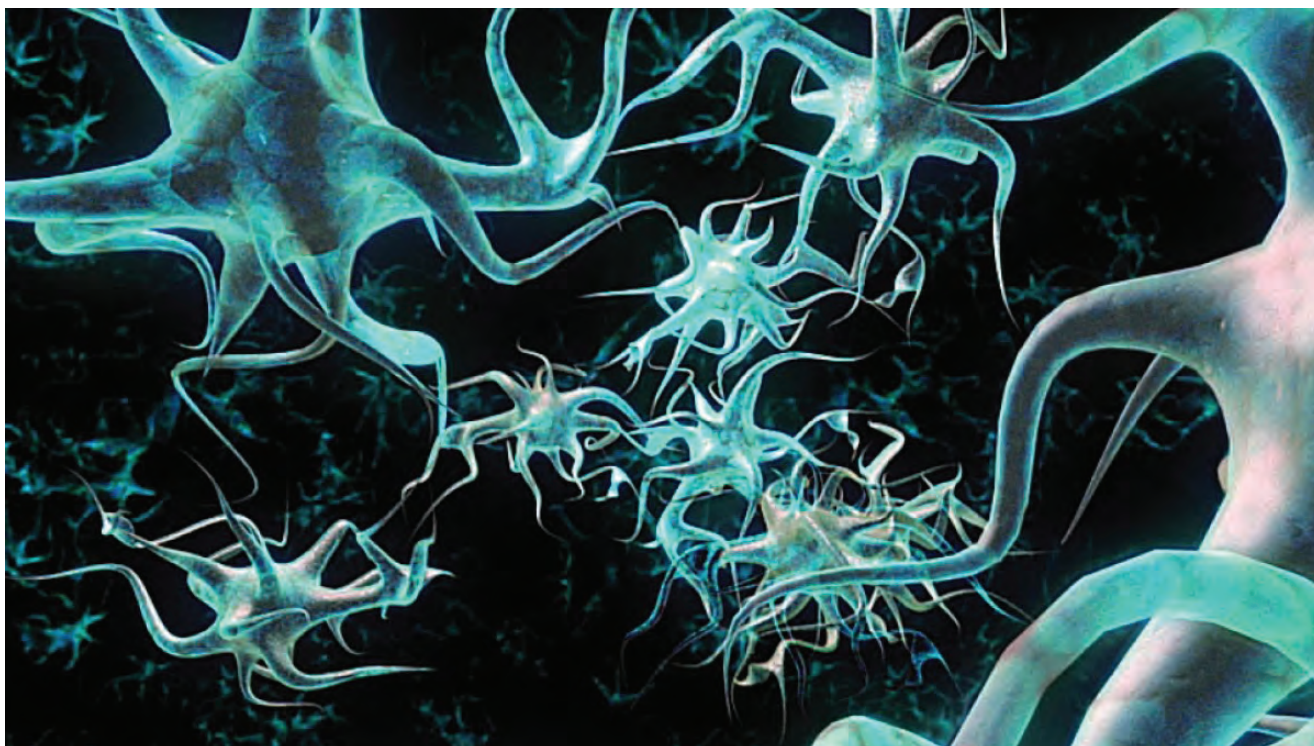
1. DIRECCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS, MOP. "Plan Maestro de evacuación y drenaje de Aguas Lluvias del Gran Santiago", 1999.
2. SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS. "Informe de Gestión del Sector Sanitario", 2010.
3. CAMACHO, I., INOSTROZA, D., MUÑOZ, J., VEGA, P. "Informe Final: Mapocho Pedaleable". Curso Evaluación Social de Proyectos. Departamento de Ingeniería de Transporte, Facultad de Ingeniería Universidad Católica, 2011.
4. Imágenes obtenidas desde © 2012 Google Earth, © 2012 Geo Eye, © 2012 Digital Maps.
5. DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, MOP. "Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluiométrica", 1995.
6. VARAS, E., BOIS, P. "Hidrología Probabilística". Ediciones Universidad Católica de Chile, 1998.
7. GONZÁLEZ, R. "Curso Taller de Obras Hidráulicas, Capítulo 1.4: Elementos de Hidráulica Fluvial". Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad Católica, 2011.
8. WILCOCK, P., CROWE, C. "Surface-based Transport Model for Mixed-Size Sediment". Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 129, No. 2, pp. 120-128, 2003.
9. DIRECCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS. Municipalidad de Padre Hurtado y Comisión Nacional del Medio Ambiente, "Proyecto Técnico: Extracción Industrial de áridos en Río Mapocho, Sector El Trebal, Comuna de Padre Hurtado, Región Metropolitana, Chile", 2009.

EQUIPO DE INVESTIGADORES

- 1 José Luis Domínguez
- 2 Profesor Cristián Escauriaza
- 3 Maricarmen Guerra



1 2 3



Inferencia de redes cerebrales funcionales implicadas en la atención

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

Rodrigo Lagos¹, Bioquímico

Cristóbal Möenne², Doctorado en Ciencias de la Computación

Diego Cosmelli³, Profesor Asociado

¹FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

²ESCUELA DE INGENIERIA, DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

³ESCUELA DE PSICOLOGÍA

RESUMEN

En esta investigación se obtuvieron registros electroencefalográficos para dos tareas de atención distintas: atención externa y atención interna. A partir de estos registros se obtuvieron las redes cerebrales funcionales entre electrodos. Se encontraron diferencias significativas en las propiedades topológicas de densidad de conectividad, coeficiente de agrupamiento y camino promedio. Esto sugiere que existe un mecanismo neuronal diferencial para ambas condiciones atencionales.

INTRODUCCIÓN

Una característica fundamental del sistema nervioso central es su capacidad de integrar las funciones de grupos de neuronas especializadas para, así, producir una experiencia total y coherente [1,2]. Para poder estudiar esta dinámica funcional en humanos, y su relación con distintos procesos cognitivos, es necesario usar técnicas no invasivas tales como el **electroencefalograma** (EEG) [1,3].

El EEG permite registrar los cambios de voltaje a nivel de cuero cabelludo producido por la sumatoria espacial y temporal de potenciales sinápticos excitatorios e inhibitorios [3-5]. A partir de estos registros, se puede estimar la red cerebral funcional subyacente, a nivel de cuero cabelludo, mediante el

cálculo de sincronía de fase entre pares de electrodos [1] y caracterizar esta red, mediante sus propiedades topológicas [6]. Las propiedades topológicas permiten dar cuenta de las relaciones estructurales entre los componentes de la red, a nivel local y global [6].

Por otra parte, la atención puede ser entendida como una serie de estrategias utilizadas por el individuo para controlar el flujo de información en el sistema nervioso central, ya que le permite seleccionar ciertos estímulos frente a otros [7]. Ésta puede ser clasificada, según su blanco, como externa o interna. La atención externa ocurre cuando el estímulo atendido proviene de los órganos sensoriales, mientras que la atención interna, cuando el estímulo atendido proviene de la memoria, del estado emocional o de estímulos propioceptivos [8]. A pesar de la importancia de la atención interna para el control de procesos cognitivos, ha sido poco estudiada en comparación con la atención externa [7,8].

Para afrontar esta problemática se pretende realizar un estudio comparativo entre una tarea de atención externa y una tarea de atención interna, inferir las redes cerebrales subyacentes y comparar las redes inferidas en base a sus propiedades topológicas. Se espera encontrar diferencias significativas entre ambos procesos atencionales a este nivel descriptivo.

METODOLOGÍA

Tareas atencionales

Para esta investigación se seleccionaron 18 participantes (8 de los cuales fueron mujeres, todos de edades entre 20 y 26 años y sin historial de enfermedades psiquiátricas). A ellos se les registró el EEG mientras ejecutaban las tareas atencionales. Éstas se llevaron a cabo mediante un paradigma “pista estímulo”. Este paradigma consiste en “advertir” al participante mediante una “pista” de que, en un breve período de tiempo, aparecerá en la pantalla, un estímulo relevante para efectuar una tarea. De esta forma, el participante tiene el tiempo necesario para prepararse.

El período de tiempo entre la “pista” y el estímulo es variable, para así evitar un efecto de aprendizaje.

Se realizaron 225 repeticiones de ambas tareas (ensayos), iniciados por los mismos participantes, quienes fueron instruidos para que, en la condición de atención interna, generaran una palabra que contuviera las dos consonantes presentadas en la pantalla, juntas y en el orden indicado. Por ejemplo, si las consonantes presentadas eran ‘r’ ‘b’ la palabra “Árbol” se consideraría respuesta correcta, en cambio “Rabino” se consideraría incorrecta. En la condición externa, los participantes fueron instruidos para ignorar las consonantes y que reconocieran el instante en que un estímulo visual tenue y breve se apareciera en la pantalla (cambio leve de contraste).

Registros electroencefalográficos

Los registros electroencefalográficos se realizaron con 64 electrodos, colocados sobre el cuero cabelludo de los participantes, mediante el equipo Biosemi Active Two, con sistema 10-20 extendido y una frecuencia de muestreo de 2048 Hz. Además, se registraron el electrocardiograma y el electroculograma, para facilitar el rechazo de artefactos producidos por la actividad eléctrica del corazón y los movimientos oculares. Los registros se sometieron a rechazo de artefactos y se remuestrearon a una frecuencia de 512 Hz. Sólo se analizaron los ensayos con respuestas correctas. 5 participantes se descartaron del análisis por no contar con suficientes ensayos por condición (sobre 20). El segmento del ensayo que se analizó corresponde a 1 segundo desde que se presenta el estímulo. Para que el análisis fuera balanceado, por participante, cuando existían más ensayos de una condición frente a la otra, se realizó un remuestreo aleatorio para dejar ambas condiciones con el mismo número de ensayos.

Filtrado

Un requisito fundamental para poder determinar, de forma correcta, la sincronía de fase entre señales electroencefalográficas es que sean filtradas en un rango relativamente estrecho de frecuencias [1,9]. Para ello se utilizó un filtro butterworth de orden 2 y de ancho ± 1.5 Hz en torno al peak alfa definido por participante [11]. El filtro se diseñó usando la función butter de MatLab® R2008, la cual creó un filtro pasabanda con los requisitos especificados. Para aplicar el filtro sobre las señales se usó la función filtfilt, la cual genera la señal filtrada usando los parámetros generados con la función butter; aplicándose dos veces en sentidos opuestos, para no cambiar la fase de la señal al filtrarse.

Cálculo de valores de sincronía de fase

La señal analítica se obtuvo mediante la función hilbert de MatLab® R2008a. A partir de ésta, mediante la función angle, se calculó la fase instantánea para cada electrodo. Finalmente, la sincronía de fase entre pares de electrodos se calculó usando una rutina de MatLab® R2008a programada para ello. Para más detalles ver “Principio Científico”.

Modelo nulo e inferencia de redes

Para seleccionar los valores de sincronía que eran significativos para cada ensayo, por participante, se construyó una distribución nula de valores de sincronía de fase por cada par de electrodos. Esta distribución consiste en los valores de sincronía calculados entre registros, que pertenecen a distintos ensayos, seleccionados al azar 100 veces. De esta forma, los valores de sincronía nulos serán independientes de la tarea. El valor de sincronía se consideró significativo si estaba fuera de la distribución nula. Cuando el valor de sincronía era significativo para un par de electrodos, dentro del ensayo, se le asignó un valor de 1, en caso contrario, 0. Al promediar estos valores, a través de los ensayos, se obtuvo el valor de conectividad estimado entre el par de electrodos, definiéndose una red pesada para cada participante por condición.

Propiedades topológicas

Las propiedades topológicas son una serie de medidas que permiten cuantificar las características estructurales globales y locales de una red. Las propiedades topológicas calculadas para las redes inferidas fueron: densidad de conectividad, coeficiente de agrupamiento y camino promedio. Éstas se calcularon usando funciones del Brain Connectivity Toolbox (<http://www.brain-connectivity-toolbox.net/>) programadas en MatLab® R2008a [11].

La densidad de conectividad es una relación entre la conectividad total de la red inferida en comparación con una red completamente conexa [11], dada por la Ecuación 1 para un red pesada.

$$(1) \quad d = \frac{\sum S_i}{n(n-1)}$$

Donde:

n : Número de nodos

S_i : Peso del nodo

El coeficiente de agrupamiento indica cuántos nodos forman grupos con sus vecinos cercanos [11,12]. De esta manera, puede dar cuenta del nivel de interacción local que se da entre los componentes contiguos de la red [11,12]. En el caso de una red pesada está dado por la Ecuación 2:

$$(5) \quad C_i = \frac{2}{k_i(k_i-1)} \sum_j^n \sum_k^n (W_{ij} W_{ik} W_{kj})^{1/3}$$

Donde:

k_i : Grado del nodo i

W_{ij} : Peso de la conexión entre el nodo i y el nodo j

El camino promedio, como su nombre lo indica, es la distancia promedio que separa al nodo del resto de nodos, es decir, por cuántos enlaces es necesario pasar para llegar de un nodo a cualquier otro [11,12]. Así, puede dar cuenta del nivel de integración global de los componentes a la red. Para una red pesada está dado por la Ecuación 3:

$$(3) \quad L = \frac{1}{n} \sum_i^n \sum_j^n \frac{d_{ij} W_{ij}^{-1}}{n-1}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestran las redes cerebrales funcionales promedio para ambas condiciones. Sin embargo, debido a su alta conectividad, se optó por mostrar sólo los enlaces con el 10% superior de peso. En la Figura 2 las propiedades topológicas calculadas para ambas condiciones, muestra que la densidad de conectividad, el coeficiente de agrupamiento y el camino promedio son mayores en la condición de atención interna.

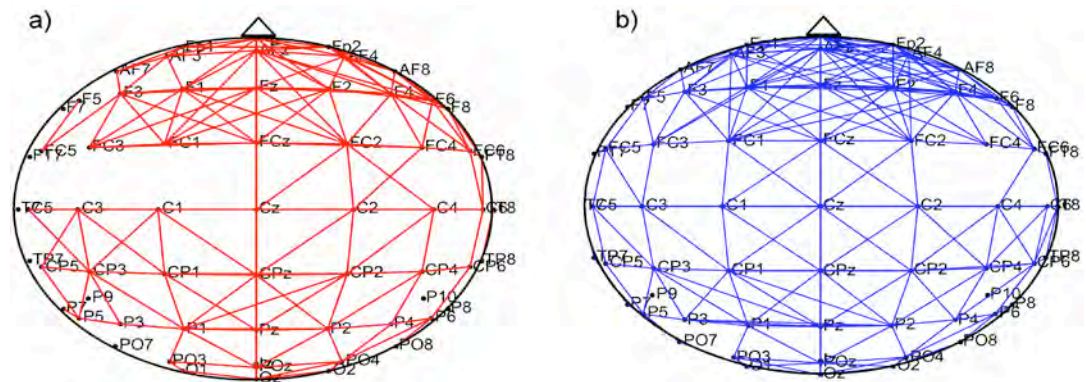


Figura 1: Redes cerebrales funcionales promedio para ambas tareas atencionales. Debido a la alta conectividad, no se pudieron representar las redes sobre el cuero cabelludo, por lo cual sólo se muestran los enlaces correspondientes al 10% superior para ambas condiciones: a) atención interna, b) atención externa.

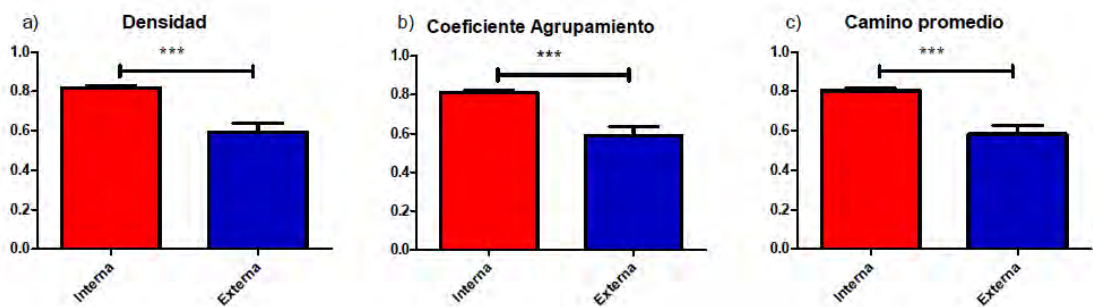


Figura 2: Propiedades topológicas: a) densidad de conectividad, b) coeficiente de agrupamiento, c) camino promedio. (***) $P < 0,0001$, prueba t pareada).

Como se observa en la Figura 2, las propiedades topológicas de las redes inferidas para ambas condiciones son distintas. Esto estaría sugiriendo la existencia de un mecanismo neuronal diferente entre ambos procesos atencionales. Sin embargo, una importante limitación que posee esta investigación, está dada por la técnica electroencefalográfica, ya que no permite conocer el origen de la señal, debido al bajo volumen de conducción del cráneo y el cuero cabelludo [3]. De esta forma no se puede afirmar con absoluta seguridad que los valores de sincronía de fase medidos para un par de electrodos en una condición correspondan al mismo fenómeno medido en la otra condición experimental. Este problema se puede solucionar mediante un análisis de fuente, para así identificar el origen de la señal, con lo que la comparación entre condiciones mejoraría [3].

CONCLUSIONES

A partir de los análisis realizados en esta investigación, se puede afirmar que, al comparar la atención externa con la atención interna, existen diferencias importantes en su dinámica funcional a nivel de cuero cabelludo, para el rango alfa definido por individuo. Esto, debido a que se detectaron diferencias significativas en las propiedades topológicas: densidad de conectividad, coeficiente de agrupamiento y camino promedio para las redes funcionales subyacentes a nivel de cuero cabelludo, estimadas en ambas condiciones experimentales. Estas diferencias observadas en las propiedades topológicas, permiten dar cuenta de un contraste, tanto a nivel local como global, entre ambas tareas atencionales. Esta evidencia sugiere que ambos procesos tendrían un sustrato biológico diferente. Sin embargo, dada las limitaciones de la técnica electroencefalográfica, para confirmar esto es necesario hacer un análisis de fuente, que permita determinar qué estructuras cerebrales participan en ambos procesos y poder realizar una comparación a nivel anatómico y/o fisiológico.

De esta forma, se plantea que el utilizar sincronía de fase para inferir la red cerebral funcional subyacente a nivel de cuero cabelludo y analizar sus propiedades topológicas podría permitir (complementado con otras técnicas no invasivas) caracterizar, diferenciar y estimar el sustrato biológico de diversos procesos cognitivos, mejorando el entendimiento de la dinámica funcional de los mismos.

PRINCIPIO CIENTÍFICO UTILIZADO

Se ha postulado que, si dos señales electrofisiológicas poseen alto valor de sincronía de fase, estarían relacionadas funcionalmente [1]. Para calcular el valor de sincronía de fase entre dos señales [1,9], primero es necesario expresar cada una de éstas en su forma analítica. (Ecuación 4, a continuación). La señal analítica describe a la señal como un vector que rota en el plano complejo. La forma analítica de las señales electroencefalográficas se calculó usando la función hilbert de MatLab® R2008a.

$$4) \quad w(t) = s(t) + jH[s(t)]$$

Donde:

j : Unidad imaginaria

$H[\]$ = Transformada de Hilbert

La transformada de Hilbert está definida como:

$$(5) \quad H[s(t)] = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{s(\tau)}{t - \tau} d\tau$$

Luego, a partir de la señal analítica se calcula la fase instantánea de la señal. Ecuación 6 que corresponde al ángulo del vector con respecto al eje real en función del tiempo. Para esto se ocupó la función angle de MatLab® R2008a.

$$(6) \quad \phi(t) = \tan^{-1} \frac{H[s(t)]}{s(t)}$$

Finalmente, a partir de las fases instantáneas de ambas señales, se calcula el valor de sincronía de fase (Ecuación 7).

$$7) \quad Sy_{1-2} = \left| \frac{1}{N} \sum_0^N \exp(j[\phi_1(t_i) - \phi_2(t_i)]) \right|$$

De esta forma, si la diferencia entre los valores de fase instantánea es constante durante el tiempo, el valor de sincronía será de 1, por contrario si no es constante, el valor de sincronía tenderá a cero.

GLOSARIO

Artefacto: Error en el registro del EEG (o cualquier otra técnica electrofisiológica) que se origina a partir de una fuente eléctrica no deseada, tal como los músculos o el corazón.

Electrocardiograma (ECG): Técnica electrofisiológica no invasiva. Consiste en colocar tres electrodos sobre el tórax. Permite medir la actividad eléctrica del corazón, de la cual se puede deducir su comportamiento. Se utilizó en esta investigación para descartar los artefactos producidos por actividad eléctrica del corazón.

Electroculograma (EOG): Técnica electrofisiológica no invasiva. Permite registrar la actividad eléctrica de los músculos oculares, con lo cual se pueden rastrear los movimientos oculares. Se utilizó en esta investigación para descartar los artefactos producidos por actividad de los movimientos oculares, en especial los pestañeos.

Electroencefalograma (EEG): Técnica electrofisiológica no invasiva. Consiste en colocar electrodos en el cuero cabelludo del participante, usando gel salino para aumentar la conductancia. Permite medir la diferencia de voltaje a nivel de cuero cabelludo causada por la actividad neuronal.

Grado de un Nodo: Número de enlaces que posee el nodo.

Peso de un Nodo: Sumatoria del peso de todos los enlaces que posee el nodo.

Potenciales Sinápticos: Las neuronas se comunican entre ellas mediante un mecanismo llamado sinapsis. Este mecanismo induce un cambio de potencial de membrana en la neurona que recibe la sinapsis (neurona postsináptica), lo que ocurre mediante el ingreso de un ión desde el medio extracelular al intracelular.

Redes Pesadas: Una red es una representación de un sistema mediante sus componentes (nodos) y sus interacciones (enlaces). Cuando un enlace especifica la intensidad de la interacción se está en presencia de una red pesada. En caso contrario, es una red sin peso.

AGRADECIMIENTOS

A Dr. Vladimir López y Dr. Eugenio Rodríguez, por estar siempre disponibles para recibir consultas y compartir ideas.

A Constanza Baquedano, por el apoyo científico y moral.

A Proyecto FONDECYT N° 1090612, por financiar esta investigación.

REFERENCIAS

- VARELA F, LACHAUX J.P, RODRÍGUEZ E., MARTINERIE J. The brainweb: phase synchronization and large-scale integration. *Nature Reviews Neuroscience* 2(4), pp.229-39, 2001.
- TONONI G., EDELMAN G.M. Consciousness and complexity. *Science* 282(5395), pp.1846-51, 1998.
- PIZZAGALLI D.A. Electroencephalography and High-Density Electrophysiological Source Localization. En: Cacioppo J.T, Tassinari L.G., Berntson G.G. *Handbook of Psychophysiology*, Cambridge, Cambridge university press, pp 54-84, 2007.
- LOPES DA SILVA, F. Neural mechanisms underlying brain waves: from neural membranes to networks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 79(2), pp.81-93, 1991.
- KIRSCHSTEIN T., KÖHLING R. What is the source of the EEG?, *Clinical EEG and neuroscience official journal*, 40(3) pp. 146-9, 2009.
- BULLMORE E., SPORNS O. Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems. *Nature Reviews Neuroscience*. 10(3), pp. 186-98, 2009.
- McDOWD J.M. An overview of attention: behavior and brain. *Journal of neurologic physical therapy JNPT*. 31(3), pp. 98-103, 2007.
- CHUN M.M., GOLOMB J.D., TURK-BROWNE N.B. A taxonomy of external and internal attention. *Annual Review of Psychology*.62(1), pp. 73-101, 2011.
- CHÁVEZ M., BESSERVE M., ADAM C, MARTINERIE J. Towards a proper estimation of phase synchronization from time series. *Journal of Neuroscience Methods*. 154(1-2), pp. 149-60, 2006.
- KLIMESCH W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Res Brain Res Rev*. 29(2-3), pp. 169-95, 1999.
- RUBINOV M., SPORNS O. Complex network measures of brain connectivity: uses and interpretations. *Neuroimage*. 52(3), pp.1059-69, 2010.
- BARRAT A., BARTHÉLEMY M., PASTOR-SATORRAS R., VESPIGNANI A. The architecture of complex weighted networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101(11), pp. 3747-52, 2004.

EQUIPO DE INVESTIGADORES

- Rodrigo Lagos
- Cristóbal Möenne
- Profesor Diego Cosmelli





Ingeniería Propone

Investigaciones estudiantiles al servicio de la comunidad

Por Magdalena Calcagni

El 2011 fue un año caracterizado por la participación ciudadana. Manifestaciones por distintas causas sacudieron el país y fue imposible mantenerse al margen de las discusiones propuestas por el movimiento estudiantil. La Facultad de Ingeniería no se mantuvo al margen. El Centro de Alumnos de Ingeniería (CAi) desarrolló un proyecto donde los alumnos y profesores de la Escuela pudieron plasmar los temas que los inquietaban a nivel Escuela, Universidad y País. El proceso concluyó en la publicación de un libro que recogió una reflexión de cada una de las temáticas que los miembros de la Escuela escogieron como las más relevantes para Ingeniería.

El año siguiente, el CAi de turno decidió llevar las cosas un paso más adelante y creó, a partir de los 5 temas más votados entre los alumnos, cursos de investigación

“Este proyecto no sólo logró que los alumnos de pregrado se acercaran más a la investigación, sino que también permitió fortalecer vínculos entre alumnos y profesores que trabajaron juntos en la generación de conocimiento.”

que desarrollarían las inquietudes de los miembros de la Escuela. Esto derivó en 5 grupos que investigaron los temas de “Inequidad y Movilidad Social”, “Políticas Educativas”, “Plan de Desarrollo Energético”, “Aranceles Universitarios” y “Formación del Ingeniero”. Junto con 5 profesores guía, de 3 facultades distintas, y 70 alumnos, de 5 carreras de la UC, las 21 investigaciones desarrolladas durante el curso fueron publicadas en la primera edición de 500 copias del libro de Ingeniería Propone, “La Escuela que queremos, la Universidad que deseamos y el País que anhelamos”.

Pero para muchos el libro no fue el final del camino. Algunos papers fueron acondicionados y presentados en revistas científicas como ésta y otros seguirán con la investigación para desarrollar sus tesis. Incluso, uno de los grupos de “Formación de líderes Integrales” a cargo del tema de “Formación del Ingeniero”, junto con la Consejera Académica, estarán ejecutando, en abril de 2013, los “Talleres de Apoyo Transversal”, una de las propuestas de su investigación.

Este proyecto no sólo logró que los alumnos de pregrado se acercaran más a la investigación, sino que también permitió fortalecer vínculos entre alumnos y profesores que trabajaron juntos en la generación de conocimiento. Además, permitió que los alumnos vincularan sus intereses personales y sociales con los conocimientos técnicos que reciben en la Escuela.

Los resultados positivos entusiasmaron al Centro de Políticas Públicas UC (CPP) y llegaron a oídos de otros cen-

tros de alumnos. Desde allí nació la idea de extrapolar la experiencia de la Escuela de Ingeniería a otros territorios, en una nueva versión del proyecto, esta vez a nivel Universidad. Es por eso que, para este 2013, varios centros de alumnos agrupados en un colectivo llamado Espacio Público y, en conjunto con el CPP, están organizando UC Propone. El objetivo es seguir generando investigaciones estudiantiles, guiadas por profesores, en que se desarrollen propuestas técnicas y multidisciplinarias sobre los asuntos que preocupan a los alumnos de la UC.

Los profesores, alumnos y autoridades que vivieron todo el proceso concuerdan en que la experiencia fue enriquecedora para todos los involucrados y que es un paso en dirección a la construcción de la Escuela de Ingeniería que se proyecta en el plan de desarrollo. A pesar que se están haciendo reales esfuerzos por fomentar la investigación en pregrado, Ingeniería Propone cubrió un nuevo flanco, el de la investigación interdisciplinaria orientada a las políticas públicas. La idea que se persigue este año es avivar la curiosidad de los alumnos a intervenir, desde ya, la realidad que los rodea. La invitación es a hacer un aporte a través del trabajo profesional y técnico que responda a las inquietudes que les preocupan.

“...Ingeniería Propone cubrió un nuevo flanco, el de la investigación interdisciplinaria orientada a las políticas públicas.”



Cómo los establecimientos educacionales escogen a sus docentes

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

Felipe Grau¹, Alumnos de quinto año

Cynthia Maturana², Alumna de tercer año

Marguerite Paterson³, Alumna de cuarto año

Catherine Valenzuela⁴, Alumna de cuarto año

Verónica Cabezas⁵, Profesora Asociada

¹DEPARTAMENTO DE MECÁNICA Y METALURGIA

²COLLEGE, CIENCIAS SOCIALES

³COLBY COLLEGE, MAINE, EE.UU

⁴FACULTAD DE EDUCACIÓN, PEDAGOGÍA GENERAL BÁSICA

⁵FACULTAD DE EDUCACIÓN, DEPARTAMENTO DE TEORÍA Y POLÍTICA DE LA EDUCACIÓN

INTRODUCCIÓN

El sistema educativo chileno ha sido caracterizado por su inequidad, segmentación y escasa movilidad docente entre establecimientos de diferente dependencia administrativa. Actualmente, la Beca Vocación de Profesor busca mejorar la calidad de los profesores y más de 3.000 becados pronto se insertarán en establecimientos subvencionados. En este contexto, se considera relevante la evidencia internacional que señala que un adecuado match (vínculo) profesor-establecimiento puede influir en la efectividad del docente [1], afectando la retención en el establecimiento y los resultados del proceso educacional completo. A pesar de la importancia de este vínculo, no existen en Chile investigaciones publicadas sobre los procesos de difusión de vacantes, selección y contratación de profesores, ni de los factores que estarían influyendo en estos. En ese contexto se decidió estudiar cómo se rigen estos procesos de selección de docentes en diversos establecimientos de educación básica y media de la Región Metropolitana, con el objetivo de profundizar y entender los factores que determinan la preferencia de los establecimientos educacionales al escoger a sus docentes,

saber si efectivamente existe dicho proceso de selección, y comprender sus diversas etapas, teniendo como foco proporcionar una base de información sobre los procesos de difusión de vacantes, selección y contratación docente y los factores que contribuyen a mantener la segmentación y circularidad del sistema educacional chileno para, así, generar un adecuado diagnóstico y diseñar propuestas de políticas públicas que contribuyan a disminuir esta inequidad.

METODOLOGÍA

Para responder las preguntas de investigación se utilizó una metodología mixta, consistente en un estudio cuantitativo y otro cualitativo complementario [2]. Se realizaron en forma paralela, durante el año 2012, encuestas y entrevistas dirigidas a directores de colegios, con el objetivo de conocer los procesos de difusión de vacantes, selección y contratación de profesores. Así, el universo estudiado fue: establecimientos escolares –municipales, particulares subvencionados y particulares pagados– de educación básica y media de la Región Metropolitana.

La encuesta se realizó en línea compuesta por 18 preguntas de respuesta cerrada. Fue enviada por email a los cerca de 3.000 directores existentes en la Región Metropolitana, la cual fue respondida por 604 (20,1%). Más de la mitad de los encuestados pertenece a un colegio particular subvencionado, tal como se observa en la Figura 1, mientras que un 11% pertenece a establecimientos particulares pagados. En cuanto al grupo socioeconómico de los establecimientos, se aprecia bastante diversidad, siendo el grupo medio bajo el más abundante y, el alto, el de menor presencia.

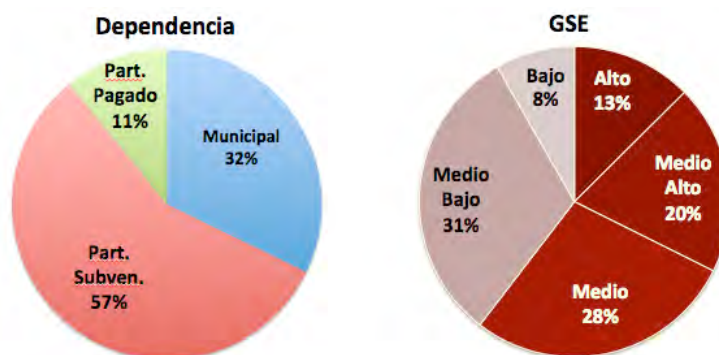


Figura 1: Distribución de dependencia y grupo socioeconómico de la muestra final (604 colegios).

Para complementar el estudio, se realizaron entrevistas semi-estructuradas a 13 directores de establecimientos de distintas dependencias y resultados Simce en relación a su grupo socioeconómico, lo que permitió estudiar con mayor profundidad las características de los procesos de difusión, selección y contratación de docentes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados estudio cuantitativo: A continuación se muestran algunos de los resultados de la encuesta contestada por los 604 directores de colegios de la Región Metropolitana descritos anteriormente.

Participantes del proceso de selección docente: En el 50% de los establecimientos de la muestra las tareas de difusión de vacantes y selección de docentes se realizan en conjunto por el establecimiento y su sostenedor, mientras que la contratación es mayormente realizada sólo por los sostenedores (61%). A nivel establecimiento, el actor más frecuente en el proceso de selección es el director (89%).

Cantidad de postulantes y nivel de conformidad con docentes escogidos: La media de candidatos para un puesto de profesor con que cuenta un establecimiento es de 4,6 postulantes. En cuanto a la satisfacción con el profesor finalmente contratado, el 66% dice quedar satisfecho, frecuentemente, y sólo el 8% está siempre satisfecho.

Criterios de selección: El 58% de los directores declara que, en su establecimiento, existen criterios definidos y explícitos en el proceso de selección de docentes, mientras que un 38% indica que tienen criterios implícitos y compartidos por quienes seleccionan. En la Figura 2 se puede observar la importancia de los criterios que usa el establecimiento para seleccionar docentes.

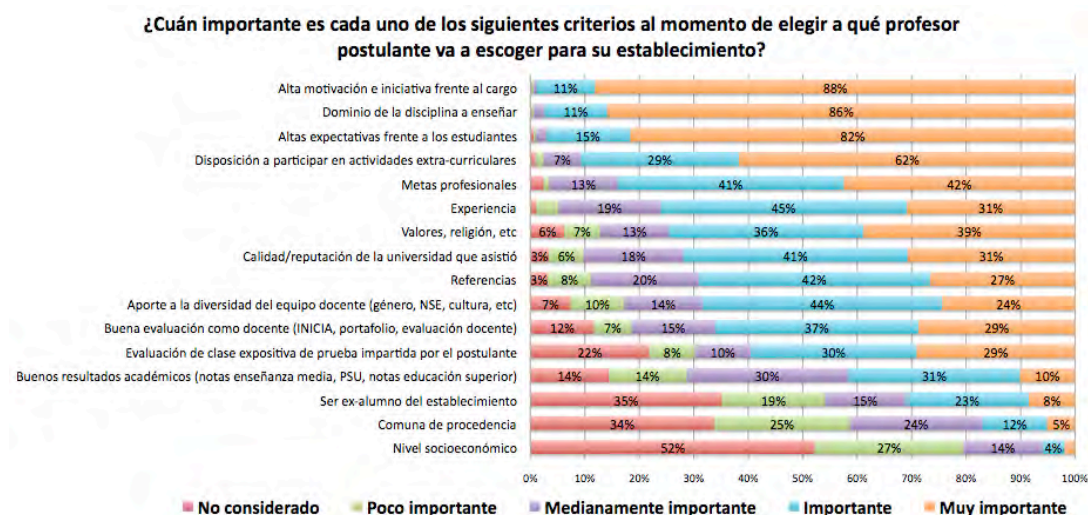


Figura 2: Distribución de dependencia y grupo socioeconómico de la muestra final (604 colegios).

Etapas del proceso de selección: Los docentes pasan por varias etapas antes de ser contratados, tal como se muestra en la Figura 3. En cuanto a la duración del proceso de selección, en promedio, toma 2,9 semanas, entendiéndose por éste el periodo desde que al establecimiento le surge la necesidad de llenar un puesto de trabajo docente hasta que, finalmente, se contrata un profesor.



Figura 3: Etapas por las que pasa el docentes al postular para trabajar en un colegio.

Selección por mención: Los directores afirman que las especialidades en que se hace “muy difícil” encontrar docentes son física (70%), química (57%) y matemáticas (55%), mientras que la especialidad de educación física resulta ser la más fácil, en donde sólo el 5% considera muy difícil hallar un profesor.

Medios de difusión usados por el establecimiento para encontrar nuevos docentes: El diario es el medio más utilizado (83%), seguido por las páginas web de portal laboral (37%) y el contacto con docentes o directivos que realizaron su práctica profesional en el establecimiento (35%).

Interés del establecimiento en recibir ayuda externa en su proceso de selección: El 74% de los encuestados responde que le gustaría recibir ayuda. Todas las propuestas de apoyo sugeridas fueron aceptadas en más del 60%. Dentro de las opciones indicadas, se tiene que las plataformas web de portales laborales de docentes son la alternativa más reconocida (72%).

Resultados estudio cualitativo: Respecto a las entrevistas aplicadas a directores, los principales resultados fueron: (a) un 100% de los directores entrevistados declaran no tener ningún documento oficial donde esté estipulado el proceso de selección que realizan, (b) uno de los principales mecanismos de reclutamiento se realiza por medio de contactos personales y (c) un grupo considerable de directores no sabe cómo mejorar su proceso.

Tras el análisis de resultados obtenidos en los dos estudios complementarios, se identificaron las necesidades más latentes a partir de cada proceso: (1) los directores declaran que les gustaría contar con un mayor número de postulantes a la hora de seleccionar y tener un proceso de selección más rápido, (2) los directores no saben en qué fijarse cuando están escogiendo, no están conformes con el proceso de selección que realizan y muestran interés por mejorarlo y (3) varios directores entrevistados declaran que, sólo al final del proceso de selección o una vez que han sido contratados, se les brinda información a los docentes acerca de las condiciones laborales y características del establecimiento. Esto implica que los docentes se enfrentan desinformados al establecimiento donde trabajarán.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio pretenden ser un insumo para el diseño y análisis de políticas públicas asociadas a la demanda y la oferta de profesores, además de convertirse en los antecedentes necesarios para la mejora de sistemas de información del mercado laboral, para tratar la distribución segregada de profesores, que incide en la desigualdad del sistema educativo y, por ende, mejorar la calidad de la educación en Chile.

Como una implicancia práctica de los resultados obtenidos en esta investigación, y considerando que la mayoría de los directores se muestran interesados en recibir distintos tipos de apoyo para mejorar su proceso de selección, se menciona una serie de propuestas orientadas a mejorar los procesos de difusión, selección y contratación de profesores, siempre reparando en la equidad como eje transversal. Entre las propuestas se encuentra: la creación de una plataforma web de apoyo a la selección y contratación docente, la elaboración de un manual de selección a nivel establecimiento y la incorporación de una cátedra de prueba por parte de los postulantes, como etapa en el proceso de selección. Además, se propone otorgar a los establecimientos municipales el poder de realizar las últimas etapas de la selección docente y, por último, se plantean desafíos para futuros investigadores que puedan profundizar en temas como la selección de profesores en establecimientos de administración municipal, los procesos de selección que se llevan a cabo para contratar a profesores reemplazantes y los procesos de difusión de vacantes, selección y contratación de docentes en todo el país. Algunas de estas propuestas han sido acogidas e implementadas por empresas como “Eduglobal”, una plataforma web de reclutamiento docente y de servicios educativos.

PRINCIPIO CIENTÍFICO UTILIZADO

Se utiliza una metodología mixta, que consiste en una aproximación a la investigación que combina metodologías cualitativas y cuantitativas. Implica utilizar conjuntamente ambas metodologías y no simplemente recolectar y analizar la información de manera separada. Esta combinación permite que la investigación tenga una fortaleza mayor que la pura investigación cuantitativa o cualitativa, utilizadas por separado [2]. Ambas metodologías son complementarias y permiten reforzar la confiabilidad de los hallazgos.

En términos de recolección de datos, para esta investigación se ha optado por una estrategia “Exploratoria Secuencial” [2], la cual involucra tres fases: En primer lugar, se realiza una recolección cualitativa de datos y su análisis. A esto le sigue una segunda fase de desarrollo de un instrumento cuantitativo y, una tercera fase, de recolección de datos cuantitativos y su análisis. La segunda y tercera fase se desarrollan a partir del estudio cualitativo previo.

Por otra parte, en términos del análisis, este estudio utiliza una estrategia de “Triangulación Simultánea” [2]. Esta estrategia recolecta información cualitativa y cuantitativa de manera simultánea y, luego, compara los resultados identificando diferencias, correspondencia o una combinación de ambos. Algunos autores llaman a esto confirmación, disconformidad o corroboración (Greene, Caracelli & Graham, 1989; Morgan, 1998; Steckler, McLeroy, Goodman, Bird & McCormick, 1992 citados en Ref. [2]). De esta manera, se utilizan tanto metodologías cuantitativas como cualitativas para contrarrestar las debilidades de los modelos con sus fortalezas o, más bien, sumar las fortalezas de ambas metodologías.

GLOSARIO

Colegio Efectivo: En este estudio se definió como “colegio efectivo” a los establecimientos educacionales con puntaje SIMCE 2011 4to básico, tanto en matemáticas como en lenguaje, superior al promedio de colegios de similar grupo socioeconómico.

Dependencia Administrativa: Los principales tipos de administración de los establecimientos educacionales en Chile son municipal, particular subvencionado y particular pagado. Los colegios del primer tipo son administrados por la municipalidad correspondiente y sus recursos son entregados por el Estado; los dos últimos son administrados por privados, pero la diferencia está en que los particulares subvencionados se financian parcialmente con recursos fiscales.

Efectividad de los Docentes: Se refiere, no sólo a que tenga buenas calificaciones, sino que también pueda adaptarse a las prácticas del establecimiento y logre mejorar el desempeño de los alumnos.

Movilidad Docente: Ésta se puede entender de diferentes maneras. El foco de esta investigación se centra en dos movimientos relevantes: 1) movimientos dentro del sistema educacional con cambio de dependencia (ej: cambiar de un colegio municipal a un particular subvencionado); movimientos dentro del sistema educacional manteniendo la dependencia (ej: cambiar de un colegio municipal a otro municipal).

Segmentación: Se refiere a que el mercado laboral docente se encuentra dividido en grupos estratificados, asociados por tener características similares. Por ejemplo, existe un grupo de docentes que trabajan en colegios de la misma dependencia donde estudiaron [1].

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Centro de Estudios del Ministerio de Educación por el apoyo en la elaboración y desarrollo de la encuesta a directores de establecimientos educacionales, especialmente a su coordinador Francisco Lagos. A María Jesús Sánchez y Carolina Herrera, de la iniciativa Elige Educar. Finalmente, al equipo de Ingeniería Propone y sus ayudantes por creer en este proyecto y por volcar todos sus esfuerzos para sacar buenos frutos de este trabajo. El estudio cualitativo de este proyecto fue financiado por el Fondo de Investigación y Desarrollo en Educación N°: F611105 del MINEDUC.

REFERENCIAS

1. ORTÚZAR, S., FLORES, C., MILESI, C., COX, C. Aspectos de la formación inicial de docentes y su influencia en el rendimiento académico de los alumnos. [En línea] Centro de Políticas Públicas, Universidad Católica. 2009: [fecha de consulta: 12 junio 2012].

Disponible en:

http://www.sociedadpoliticaspUBLICAS.cl/archivos/MODULO_II/Panel05_Educacion/Soledad_Ortuzar_Aspectos_de_la_formacion_inicial_docente_y_su_influencia_en_el_rendimiento_acad.pdf

2. CRESWELL, J. *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, Inc. 2009.

3. LIU, E., JOHNSON, S.M. New teachers experiences of hiring: late, rushed, and information poor. *Educational Administration Quarterly* [en línea]. August 2006, vol. 42, no. 3. [fecha de consulta: 7 agosto 2012].

Disponible en: <http://eaq.sagepub.com/content/42/3/324>. ISSN 0013-161X.

EQUIPO DE INVESTIGADORES

1 Felipe Grau

2 Cynthia Maturana

3 Marguerite Peterson

4 Catherine Valenzuela

5 Profesora Verónica Cabezas



1



2



3



4



5



La motivación del alumno, el apoyo del docente y el temprano compromiso con la sociedad: tres pilares para impulsar el perfil del Ingeniero UC

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

Isabelle Burq¹, Alumna de segundo año

Verónica Puga¹, Alumna de segundo año

Josefina Correa², Alumna de cuarto año

Nifka Gutiérrez³, Alumna de segundo año

Patricia Galilea⁴, Profesora Instructora Adjunta

¹ESCUELA DE INGENIERÍA, PLAN COMÚN

²DEPARTAMENTO DE MINERÍA

³FACULTAD DE EDUCACIÓN, PEDAGOGÍA GENERAL BÁSICA

⁴DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE Y LOGÍSTICA

INTRODUCCIÓN

La formación de profesionales integrales ha sido una motivación constante por parte de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Diversos esfuerzos se han realizado para lograr formar a los alumnos según un perfil determinado, buscando, por sobre todo, marcar a los alumnos con un sello que los distinga de los profesionales de otras universidades. Sin embargo, al realizar un análisis de los alumnos de la Escuela se observaron muchas carencias en la formación de estos.

Al analizar las competencias que se pretende desarrollar en los alumnos de Ingeniería alrededor del mundo, se puede observar que se encuentran muy alineadas con lo que la Escuela de Ingeniería UC propone. En general, se busca el desarrollo de características personales como la excelencia académica,

el liderazgo, la capacidad de innovación, el emprendimiento y la ética profesional. Por otra parte, se pretende inculcar diversas competencias, como el trabajo interdisciplinario, la relación teórico-práctica, la investigación, la resolución de problemas, el trabajo en equipo, la actitud de trabajo internacional y las habilidades comunicativas. Finalmente, existe una preocupación generalizada por promover, en los alumnos, un real compromiso con la sociedad, el desarrollo económico, la protección ambiental, el desarrollo de políticas públicas y el uso de tecnologías.

A raíz de la situación descrita, nace el propósito de esta investigación, que tiene como objetivo generar propuestas factibles y efectivas para mejorar la formación de los alumnos. Esta investigación se enmarca dentro de los grupos de investigación de “Ingeniería Propone”, del equipo de Perfil del Ingeniero UC: líderes concientes de la realidad.

METODOLOGÍA

Para desarrollar la investigación, se utilizó una metodología que se puede dividir en 4 etapas:

En primer lugar se desarrolló un brainstorming grupal con el objetivo de realizar un análisis de lo que se percibía sobre el Perfil del Ingeniero UC.

En segundo lugar, se investigaron los perfiles de 25 universidades y lo que realizaban para concretar sus objetivos [18, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35]. Para la investigación, se consideraron las universidades con mayor reconocimiento internacional en el área de ingeniería, así como algunas universidades pontificias.

A continuación, se tornó a la literatura sobre la educación en ingeniería. La búsqueda de publicaciones sobre el tema se focalizó en tres áreas:

i) Trabajo docente, donde se buscó tanto metodologías de enseñanza efectivas como el aporte que realizan los profesores al desarrollo de capacidades y habilidades en los alumnos [1, 2, 3, 9, 13,14, 21, 33, 36];

ii) Diagnóstico, donde se priorizó la búsqueda del contexto en el cual se desarrolla la educación en ingeniería y los problemas que se han observado en distintas facultades alrededor del mundo [6,7,8,10,11,12,16]; y

iii) Propuestas y conclusiones de otras casas de estudio, con el fin de rescatar ideas que fueron desarrolladas con éxito y que fueran aplicables a la Escuela de Ingeniería UC [4,5,16, 25].

Finalmente, se investigó la realidad de esta Escuela a través de entrevistas personales y encuestas digitales. Durante la investigación, se logró entrevistar a diversos profesores, tanto de la Escuela de Ingeniería, como de la Facultad de Matemáticas, entre ellos el profesor Carlos Bonilla, del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental [37], Claudio Fernández, del Departamento de Ingeniería Estructural y Geotecnia [38], Loreto Valenzuela y Héctor Jorquera, ambos del Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos y Mariel Sáez, de la Facultad de Matemáticas. Se entrevistó, también, a Camila Ponce, quien participa en el desarrollo del programa Aprendizaje y Servicio (A+S) [17], con el objetivo de saber un poco más sobre este programa y de su posible implementación y difusión en la Escuela de Ingeniería [39].

La encuesta digital fue dirigida tanto a los profesores de la Escuela de Ingeniería UC, como a los profesores de facultades relacionadas como la Facultad de Matemáticas, Física y Química. Los resultados obtenidos en la encuesta consideran un total de 52 profesores encuestados, de los cuales un 82% pertenecen a la Escuela de Ingeniería y un 18% a otras facultades. Por otra parte, un 52% de los encuestados corresponde a profesores a tiempo completo, mientras que el otro 46% corresponde a profesores part-time. Finalmente, cabe mencionar que la mayoría son menores de 45 años.

Para conocer la impresión que tienen, tanto alumnos como exalumnos, se utilizó una encuesta y un focus group desarrollados por otros grupos de investigación de “Ingeniería Propone”. La información recabada en estos dos últimos fue de vital importancia para poder contrastar la percepción que tienen los alumnos, exalumnos y profesores sobre el perfil del egresado de Ingeniería UC y, así, cruzar respuestas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ejes de propuestas: Motivación, Aprendizaje y Servicio y Taller Docente

En primer lugar, se debe trabajar la motivación de los alumnos para que se comprometan con lo que hacen y se esfuercen en sacar lo mejor de ellos mismos. En segundo lugar, se plantea que es esencial que la Escuela tenga actividades académicas que aseguren el cumplimiento de los objetivos planteados en

el perfil del Ingeniero UC. Por esta razón, se propone flexibilizar la planificación del programa Aprendizaje y Servicio, el cual busca traducir los aprendizajes de la sala de clases en un servicio a un socio comunitario, para así integrar, dentro de la malla, una actividad que asegure un aprendizaje integral. Finalmente, se parte del supuesto que el docente cumple un gran rol en la motivación de sus alumnos, sobre todo en los primeros años de su carrera. Por eso, es necesario realizar talleres que contribuyan a la formación de los profesores que imparten clases en la Escuela y contribuyan a la formación de los alumnos de Ingeniería UC.

A través de las encuestas, de las entrevistas y del focus group, la comunidad de Ingeniería ha destacado la falta de motivación y de compromiso por parte de los alumnos. Se han trabajado diversas propuestas al respecto. Éstas se ordenaron en siete temáticas enfocadas en un aspecto en particular: interiorizar el concepto de ingeniero, concientizar sobre el impacto potencial, estar al tanto de los avances de ciencias y tecnologías, impresionar a los alumnos, potenciar la investigación, acercarse al mundo profesional y fomentar la interdisciplina.

El segundo eje que se trabajó, sobre Aprendizaje y Servicio, tiene como objetivo potenciar la motivación de servir al país, en los alumnos. En primer lugar, se refiere al diagnóstico y a la importancia de que las universidades tengan un plan de acción para alcanzar los objetivos que se plantean. En segundo lugar, se realiza un marco teórico sobre la metodología Aprendizaje y Servicio. En tercer lugar, se fundamentan los beneficios de la metodología a través de publicaciones y de experiencias en otras universidades. Por último, se realiza una propuesta para la Escuela de Ingeniería.

Finalmente, el último eje que se consideró es el de la elaboración de talleres docentes. A través de los profesores, se desea desarrollar las siguientes competencias en los alumnos: resolución de problemas, investigación, trabajo en equipo y habilidades comunicativas. A su vez, se plantea que deben forjar un compromiso país considerando el desarrollo económico, la protección ambiental, el desarrollo de políticas públicas y el uso de tecnologías.

Para el desarrollo de las competencias ya planteadas, se propone una gama de “talleres docentes” que tienen como objetivo que los profesores que imparten cátedras en la Escuela de Ingeniería UC desarrollen diversas metodologías de enseñanza-aprendizaje, y/o aborden temáticas que son de gran relevancia para la formación del Ingeniero UC. Los talleres propuestos son los siguientes: “Desarrollar un aprendizaje significativo mediante material didáctico”, “Diferentes formas de enseñar”, “Desarrollar metodologías de evaluación”, “Uso de los Sistemas Tutoriales Inteligentes”, “Desarrollar habilidades comunicativas” y “Temáticas relevantes para la escuela UC”.

CONCLUSIONES

Luego de desarrollar esta investigación se puede observar que existen diversos métodos para lograr inculcar el perfil deseado en los alumnos. Existe un gran desafío por delante en términos de lograr transmitir a los alumnos lo importante que es su formación, ya que no sólo es un bien para ellos sino que, además, es una responsabilidad con la sociedad.

Es de suma importancia que las universidades desarrollen programas complementarios a las cátedras con el fin de poder educar a sus alumnos de una forma más integral. El trabajo con metodologías de enseñanza más activas y la participación de los alumnos en proyectos concretos, son formas efectivas de lograr en ellos una mayor motivación y de generar un mayor sentido de compromiso y pertenencia con la Escuela. Es por esto fundamental concretar las propuestas antes señaladas. En particular, la idea de implementar un mayor número de ramos A+S, es un proyecto en el que ya se está trabajando, con la ayuda del Centro de Alumnos de Ingeniería (CAi), considerándose una mayor flexibilidad en el programa con la intención de que sea aplicable a un mayor número de ramos.

Finalmente los principales responsables de su formación deben ser los alumnos. Se debe seguir potenciando iniciativas como “Ingeniería propone” (I-propone), en las cuales son los propios alumnos quienes, a través del desarrollo de investigación en pregrado, se comprometen a encontrar soluciones a problemas atinentes. Por muy grandes que sean los esfuerzos que puedan hacer, tanto la Escuela como los profesores, si no existe un real compromiso por parte de los alumnos con su formación, es difícil lograr estos objetivos. Los alumnos deben tener muy claro que, al formarse de una manera consciente, estarán aportando en mayor medida a la sociedad y, por ende, cumpliendo con lo que la Escuela de Ingeniería UC busca como perfil para sus egresados.

PRINCIPIO CIENTÍFICO UTILIZADO

La encuesta fue desarrollada en base a preguntas cerradas y abiertas. Al elaborar las preguntas cerradas se tuvo cuidado de no generar sesgos y proponer respuestas que fueran acertadas y de fácil comprensión. Para ello se midieron respuestas por categorías y utilizando órdenes de prioridad. En cuanto a la elaboración de las preguntas abiertas, cabe mencionar que se buscó dar un espacio para que el encuestado pudiera acotar mayores detalles sobre sus percepciones y experiencias, así como también dar la posibilidad de aportar con soluciones a los problemas identificados.

Sin embargo, es necesario tener ciertas precauciones al momento de interpretar los datos obtenidos. Al analizar la encuesta que se realizó en esta investigación, se debe tener en cuenta que las respuestas puedan estar sesgadas debido a que la mayoría de los profesores que responden este tipo de encuestas, son los que se encuentran más motivados y dispuestos a colaborar en la implementación de nuevas metodologías de enseñanza. A su vez, el hecho de desarrollar una encuesta muy extensa, puede afectar la representatividad de los datos obtenidos.

GLOSARIO

I-REFLEXIONA e I-PROPONE: Son las dos partes de un proyecto iniciado por el CAi 2011, y prolongado por el CAi 2012, cuyo objetivo consistía en interrogarse, dentro de la comunidad de Ingeniería, sobre los problemas a nivel Escuela y país (I-Reflexiona) para, luego, elegir los temas más relevantes e investigarlos, formulando propuestas atinentes (I-Propone).

A+S: Aprendizaje y Servicio. Modalidad de cursos en el que el alumno desarrolla un proyecto, en conjunto con otra entidad, orientado a la resolución de un problema o al planteamiento del mismo en base a los conocimientos desarrollados por el alumno en dicho curso.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la preocupación de Fabio Hernández y Matías Navarro, ayudantes. Se hace mención especial para los otros dos grupos que investigaron el mismo tema en paralelo y con los cuales se compartieron resultados mensualmente.

Además, cabe destacar el rol fundamental de las directivas CAi 2011 y 2012 que dieron inicio a este proyecto. Ellos lograron crear estas grandes instancias que son “I-Reflexiona” e “I-Propone” y ofrecerlas a todos los alumnos de la Universidad. En particular, se destaca el trabajo de Carla Germani y Markus Niehaus, los coordinadores del proyecto este año. De igual manera, se agradece a Josefá Lucas que está colaborando con la concretización del eje de A+S.

Por otro lado, se agradece el apoyo de parte del cuerpo académico de la Universidad para el presente trabajo: Carlos Bonilla, Claudio Fernández, Héctor Jorquera, Camila Ponce, Mariel Sáez y Loreto Valenzuela: por su disponibilidad y sus comentarios.

Finalmente, y de forma más personal, los investigadores agradecen a sus familias y amigos por su continuo apoyo durante este proceso.

REFERENCIAS

Artículos

1. ÁLVAREZ, F, RODRÍGUEZ-PÉREZ, J., SANZ-ABLANEDO, E. , FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, M. Aprender enseñando: Elaboración de Materiales Didácticos que facilitan el Aprendizaje Autónomo. En Formación Universitaria, Vol. 1 N°6, pp. 19-28, (2008).
2. AMAYA, M., JAIMES, S., RODRÍGUEZ, L., RODRÍGUEZ, D., SARMIENTO, A. Educación en Ingeniería con proyección social: una metodología de enseñanza. En Educación en Ingeniería. N°4. pp. 19-28, 2007.
3. BORDOGNA, J., FROMM, E., ERNST E. W. Engineering Education: Innovation Through Integration. En Journal of Engineering Education Vol. 1 N°82, pp. 3-8, 1993.
4. CASTELLS, M., ARESE, A., ALBIZZATI, E., ROSSETTI, G. Propuesta para la Enseñanza de la Ingeniería: Un Espacio Curricular Creado desde la Investigación-Acción. En Formación Universitaria Vol. 1 N°2, pp. 9-16, 2008.
5. COYLE, E. J., JAMIESON, L. H., OAKES, W. C. Integrating Engineering Education and Community Service: Themes for the Future of Engineering Education. En Journal of Engineering Education, pp. 7-11, 2006.
6. EDWARDS, M., ÁLVAREZ- SÁNCHEZ, D., SÁNCHEZ-RUIZ, L. M. Engineering education and competences for sustainability education in Spain. International Conference on Engineering Education – ICEE 2007, pp. 3-7, 2007.
7. FELDER, R. Learning and Teaching styles in engineering education. En Engr. Education Vol. 78 N° 7, pp. 674-681. 2002.
8. FROMM, E., ERNST, E. W., BORDOGNA, J. Engineering Education: Innovation Through Integration. Journal of Engineering Education, pp. 3-8. (1993).
9. HUAPAYA, C., ARONA, G., LIZARRALDE, F. Enseñanza de la Ingeniería con Sistemas Tutoriales Inteligentes. En Información Tecnológica. Vol. 16 N°5, pp. 75-78, (2005).
10. LATHAM, A. The Socially Responsible Engineer: Assessing Student Attitudes of Roles and Responsibilities. Journal of Engineering Education, pp. 444-474, (2011).
11. LE QUEMENER, F. L'ingénieur face à l'environnement: Réflexion sur la crise environnementale. Mémoire de Formation Humaine, ICAM, 2008.

12. Li, J., Shengli, F. A Systematic Approach to Engineering Ethics Education. En *Sci Eng Ethics*. N° 18, pp.339-349, 2012.
13. MINGUET, G. La formation des ingénieurs aux sciences sociales. *Questions de légitimité*. En *Sociologies Pratiques*. N° 5, pp. 173-190, 2001.
14. MORROW, R. Issues Facing Engineering Education. *Journal of Engineering Education*, pp.15-18, 1994.
15. STEPHAN, N., RAPIAU M. Le projet professionnel en École D' Ingénieur: Une Stratégie pour la recherché d'emploi. En *8e Biennale de l'éducation et de la formation*. N°30, 2006.
16. USATEGUI LOROÑO, E., DEL VALLE, A. I. (2010). El lugar de los valores en los estudios de ingeniería. *Revista de Ética Profesional*, pp. 1-28, 2010.

Páginas web

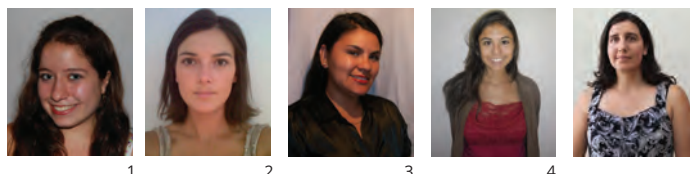
17. CENTRO DE DESARROLLO DOCENTE. (2012). Aprendizaje y Servicio. Recuperado el 25 de mayo de 2012. Obtenido de <http://desarrollodocente.uc.cl/Proyectos-A-S/aprendizaje-servicio.html>
18. COLUMBIA UNIVERSITY. (2012). The Fu Foundation School of Engineering and Applied Science. Recuperado el 28 de mayo de 2012. Obtenido de <http://www.engineering.columbia.edu/>
19. ÉCOLE CENTRALE PARIS. (2012). École Centrale Paris, leader, entrepreneur, innovateur. Recuperado el 27 de mayo de 2012. Obtenido de <http://www.ecp.fr/>
20. IMPERIAL COLLEGE OF LONDON. (2012). Faculty of Engineering. Recuperado el 26 de mayo de 2012. Obtenido de <http://www3.imperial.ac.uk/engineering>
21. ISLA, P., FERNÁNDEZ, A. F. (2010). Fortaleciendo la Formación de Ingenieros Industriales a través de Laboratorios de Gestión Aplicada. *Ingeniería 2010 Argentina, Congreso y Exposición*, (págs. 1-6). Buenos Aires, Argentina. Recuperado el 28 de mayo de 2012. Obtenido de http://www.apiperu.com/argentina/trabajos/FIDS_282_Isla_P_.pdf
22. MIT. (2012). School of Engineering. Recuperado el 30 de mayo de 2012. Obtenido de <http://engineering.mit.edu/>
23. NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. (2012). ESP Objectives and Learning Outcomes. Recuperado el 28 de mayo de 2012. Obtenido de <http://www.esp.nus.edu.sg/ESP%20Objectives%20and%20Learning%20Outcomes.htm>
24. II POLITÉCNICO DE MILÁN. (2012). Department of Management, Economics and Industrial Engineering. Recuperado el 25 de mayo de 2012. Obtenido de <http://www.polimi.it/>
25. PROGRAMA AQA080I. (2009). Taller Colaborativo AIC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción). Recuperado el 25 de octubre de 2012. Obtenido de <http://cursos.puc.cl/catalogo/programas/aqa080i.pdf>
26. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE RÍO DE JANEIRO. (2012). Departamento de Engenharia Industrial. Recuperado el 24 de mayo de 2012. Obtenido de <http://www.ind.puc-rio.br/pagina.aspx?id=index>
27. PRINCETON. (2012). School of Engineering and Applied Science. Recuperado el 27 de mayo 2012. Obtenido de <http://www.princeton.edu/engineering/>
28. UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA. (2012). Universidad Técnica Federico Santa María. Recuperado el 24 de mayo de 2012. Obtenido de <http://www.utfsm.cl/>
29. UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN. (2012). Ingenieur civil architecte. Recuperado el 27 de mayo de 2012. Obtenido de <http://www.uclouvain.be/280694.html>
30. UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY. (2012). Berkeley Engineering. Recuperado el 29 de mayo de 2012. Obtenido de <http://coe.berkeley.edu/>
31. UNIVERSITY OF CAMBRIDGE. (2012). Engineering. Recuperado el 30 de mayo de 2012. Obtenido de <http://www.study.cam.ac.uk/undergraduate/courses/engineering/>
32. UNIVERSITY OF COPENHAGEN. (2012). Faculty of Science. Recuperado el 30 de mayo de 2012. Obtenido de <http://www.science.ku.dk/english/>
33. SÁNCHEZ, A. (2012). Centro de Desarrollo Docente. Recuperado el 26 de mayo de 2012. Obtenido de <http://desarrollodocente.uc.cl/Noticias/la-metodologia-aprendizaje-servicio-se-incorpora-al-curriculum-de-algunas-carreras.html>
34. STANFORD UNIVERSITY (2012). Stanford Engineering. Recuperado el 28 de mayo de 2012. Obtenido de <http://engineering.stanford.edu/education>
35. THE UNIVERSITY OF TOKYO. (2012). Faculty of Engineering. Recuperado el 27 de mayo 2012. Obtenido de <http://www.u-tokyo.ac.jp/en/admissions-and-programs/undergraduate-students/faculties/engineering.html>
36. ZULUETA, S. (2007). Bitácora de Aprendizaje Servicio. Recuperado el 27 de mayo de 2012. Obtenido de <http://aprendizajeservicio.blogspot.com/>

Entrevistas

37. BONILLA, C. (Octubre 2012). La motivación en los alumnos de Ingeniería UC. (I. Burq, entrevistador).
38. FERNÁNDEZ, C. (Junio y octubre 2012). Los alumnos de Ingeniería UC. (I. Burq, entrevistador).
39. PONCE, C. (Septiembre de 2012). Funcionamiento de Aprendizaje y Servicio. (V. Puga, entrevistador).

EQUIPO DE INVESTIGADORES

- 1 Isabelle Burq
2 Josefina Correa
3 Nifka Gutiérrez
4 Verónica Puga
5 Profesora Patricia Galilea





Gran desafío de Ingeniería UC: formar líderes integrales

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

Rodrigo Bazaes¹, Alumno de primer año

Camila Neira², Alumna de tercer año

Guillermo Soto³, Alumno de tercer año

Ignacio Tiznado³, Alumnos de tercer año

Patricia Galilea³, Profesora Instructora Adjunta

¹ESCUELA DE INGENIERÍA,

²DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

³DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE Y LOGÍSTICA

INTRODUCCIÓN

La Universidad es la etapa en la cual todo profesional recibe una parte importante de la formación que le permitirá, a futuro, desempeñarse de buena manera en el mundo laboral. En algunas universidades esta formación trasciende el ámbito académico e involucra, también, componentes valóricos que caracterizan a sus egresados. Ese es el caso de la Pontificia Universidad Católica de Chile (UC), que busca imprimir un sello característico a sus alumnos.

Por esta razón, dentro de la carrera de Ingeniería de la UC, los investigadores han participado del proyecto Ingeniería Propone, donde una de las áreas de trabajo se centró en el perfil del egresado, con el objetivo de estudiar e investigar los componentes esenciales que debe poseer un ingeniero, definir un perfil y analizar de qué manera la Universidad está entregando estas competencias a lo largo de la malla curricular para, luego, proponer nuevos proyectos e ideas que incentiven la formación de líderes integrales para el país.

En particular, se espera que el Ingeniero UC no sólo sea un buen profesional, sino que además se involucre en un continuo perfeccionamiento y que el desarrollo de diversas competencias le permita desenvolverse de la mejor manera ante todo tipo de desafíos. Al respecto, el desarrollo de habilidades, como la comunicación oral y presentación efectiva a una audiencia, entre otras, son hoy en día esenciales para un buen desempeño en cualquier área de trabajo, sobre todo considerando la interdisciplinariedad de los proyectos donde se desenvuelve un ingeniero.

Se espera que el presente trabajo sea, además, un complemento al de otras instancias, tales como Ingeniería está Cambiando o el Programa de Investigación de Pregrado, las que apuntan a objetivos semejantes: la formación de los futuros ingenieros que serán agentes de cambio que permitan el progreso de la sociedad.

METODOLOGÍA

Antes de comenzar el proceso de investigación y, como primera aproximación a obtener un diagnóstico inicial en el análisis de falencias del proceso formativo actual de la UC, se decidió realizar un brainstorming entre los autores. Esto permitió reconocer que el perfil de egreso es un tema que abarca diversas aristas, tales como la ética, excelencia académica, compromiso social y habilidades de expresión oral y escrita, entre otras. Para reafirmar estas ideas, se realizaron 4 entrevistas a profesores de la Escuela, interesados en este tema y relacionados al Departamento de Industrias y Sistemas, donde dieron a conocer su visión de los alumnos y egresados de la carrera.

Tras las entrevistas, se comenzó la investigación de perfiles de egreso de prestigiosas universidades del mundo en el área de ingeniería tales como Imperial College of London [1], École Polytechnique [2] y Massachusetts Institute of Technology [3]. Esto permitió tener una referencia sobre lo que esperan dichas universidades de sus egresados y saber qué han hecho para lograr lo que proponen. En las universidades estudiadas, los perfiles de egreso consideran la formación integral como pilar fundamental de su sello [3-15]. No sólo se preocupan de la excelencia académica, la investigación, la innovación y el emprendimiento sino, también, de las competencias transversales y valores de sus alumnos. Para el caso de la Escuela de Ingeniería de la UC, estos últimos dos focos, competencias transversales y valores, forman parte de las principales falencias detectadas en el brainstorming y entrevistas a profesores.

Por otra parte, algunas referencias [16-18] dieron una idea del tipo de proyectos que se han implementado en el mundo para desarrollar estas habilidades, que son parte de la formación íntegra del ingeniero, y de su impacto en los alumnos.

Tras haber realizado este proceso de investigación sobre el escenario mundial se pudo notar que hay elementos comunes entre todas, pero que cada universidad debe desarrollar las habilidades que mejor se adecuan a su contexto. Tras este estudio, comenzó un proceso de investigación interna en la Facultad, específicamente, entre sus alumnos. Se realizó un focus group en el que participaron 8 alumnos de 4 generaciones distintas, de un total de 60 invitados al azar, entre primer y sexto año de Ingeniería UC. En esta instancia se recabó información cualitativa de las opiniones de los alumnos, acerca de las falencias y posibles mejoras dentro de la formación del Ingeniero UC y la malla curricular de la carrera.

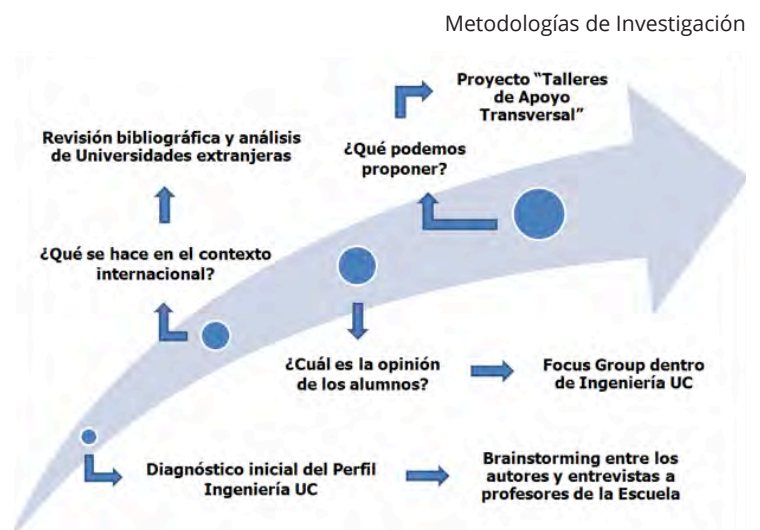


Figura 1: Proceso cronológico y metodologías utilizadas en cada etapa de la investigación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la información reunida en la etapa de brainstorming y entrevistas a profesores, se hizo un análisis respecto a los alumnos y egresados de la UC, donde se identificaron las principales falencias en el desarrollo de competencias transversales, es decir, habilidades que son útiles en todas las especialidades y para diversos contextos como, por ejemplo, comunicación efectiva, liderazgo y trabajo en equipo, además de la formación ética y responsabilidad social.

En las universidades estudiadas, las características del perfil de egreso son comunes y las problemáticas expuestas son abordadas de forma que sus perfiles de egreso consideran la formación integral como pilar fundamental de su sello. No sólo se preocupan de la excelencia académica, la investigación, la innovación y el emprendimiento sino, también, de las competencias transversales y del compromiso de entregar herramientas a la sociedad.

Por otra parte, los artículos analizados muestran proyectos, cursos y metodologías que se pueden implementar como complemento y que apuntan a la mejora de la malla de Ingeniería. Loui [16] señala la importancia de promover, dentro del programa de estudios de ingeniería, la ética para ingenieros. Esta opinión es compartida por Acharya et al. [17] quienes señalan la importancia de desarrollar temas éticos en las investigaciones, ya que es una forma simple y efectiva de acercar la ética profesional, al alumno, desde la práctica. Según Hayden et al. [18] es muy importante crear conciencia en el alumno que, la mayoría de las veces, la responsabilidad social recae directamente en las decisiones del ingeniero. Con el mismo objetivo, nace Engineering Projects in Community Service (EPICS), un proyecto en el que los alumnos desarrollan habilidades como el trabajo en equipo, la multidisciplinaria, la creatividad, la comunicación efectiva, la conciencia ética y ambiental, en proyectos de ingeniería y, el liderazgo, a través de un continuo trabajo en beneficio de la sociedad.

Por último, el focus group realizado entregó importantes reflexiones de parte de los alumnos. Una de ellas es que le asignan una gran importancia al Sello UC como elemento de diferenciación y formación de profesionales íntegros. Sin embargo, no le entregan esta responsabilidad completamente a la Universidad sino, también, a los alumnos, como críticos de su propia formación y, a los profesores, como agentes de la Universidad, vitales en la motivación y sentido de pertenencia de los alumnos.

El sentimiento general los participantes del focus group es que las competencias transversales sí existen dentro de la carrera, pero de una forma aislada y poco práctica. Están de acuerdo en que hay que fomentar que se trabajen, se practiquen y se desarrollen continuamente en la carrera, tal como expresa uno de los participantes: “Estas habilidades se llaman competencias transversales y deberían ser evaluadas transversalmente a lo largo de la carrera, no pueden focalizarse en un solo curso, por muy útil que sea”.

Existe acuerdo, entre los participantes, en que las competencias que logra transmitir la Universidad no son suficientes para desenvolverse en el mundo laboral. Sin embargo, sí entrega la base necesaria para que el egresado pueda seguir desarrollándose en la práctica, a medida que lo necesite.

Por último, los participantes coinciden en que gran parte de los cursos que son dictados por la Escuela de Ingeniería sí desarrollan temas como la responsabilidad social y la ética. Piensan, también, que podría hacerse un trabajo mayor basado en los docentes, ya que el desarrollo de estos temas no se entrega en cursos específicos, sino en las instancias de conversación con los profesores en todos los cursos y de forma transversal a la carrera.

CONCLUSIONES

El alcance de esta investigación podría ampliarse realizando más instancias de focus group y entrevistas con profesores de la Escuela, con el objetivo de obtener nuevas propuestas y opiniones de parte de los alumnos y docentes respecto de la formación actual del Ingeniero UC y lograr una mejor validación de los planteamientos entregados. Como futuras líneas de trabajo, la metodología utilizada en esta investigación podría replicarse en las demás universidades de Chile, para contribuir desde todas las escuelas de ingeniería del país, a la solución de los problemas que enfrenta la sociedad.

Finalmente, y debido a la importancia que tiene el desarrollo de las competencias transversales, surge la idea de realizar talleres de apoyo transversal al alumno, en el que se puedan desarrollar estas habilidades y servir como ayuda para instancias como la Práctica I y II de la UC, presentaciones de proyectos, exposiciones en los cursos, desarrollo de informes y apoyo visual, entre otros.

Esta idea sería complementada con apoyo de parte de los profesores, al cambiar la forma de evaluar los conocimientos que imparten en sus cursos, para incluir las competencias desarrolladas en los talle-

res. Las instancias para evaluar estas habilidades, dentro de los cursos, tienen que ser recurrentes, para potenciar el desarrollo de estas competencias, y tienen que ser consecuentes con los contenidos impartidos en los talleres, ya que es necesario que exista un criterio uniforme de calificación en la Escuela.

Los talleres que pueden influir en el desarrollo de las habilidades planteadas son: Taller de habilidades comunicativas, de escritura efectiva, de apoyo audiovisual y de diseño y presentación de posters, con una posible extensión a talleres de conocimientos más técnicos, como Excel o MATLAB. Lo ideal sería que estos talleres se realizaran regularmente y sean abiertos a todos los alumnos de la Escuela de Ingeniería UC, además de poder ser usados por los profesores cuando lo requieran en algún curso en particular.

Principales conclusiones del Focus Group

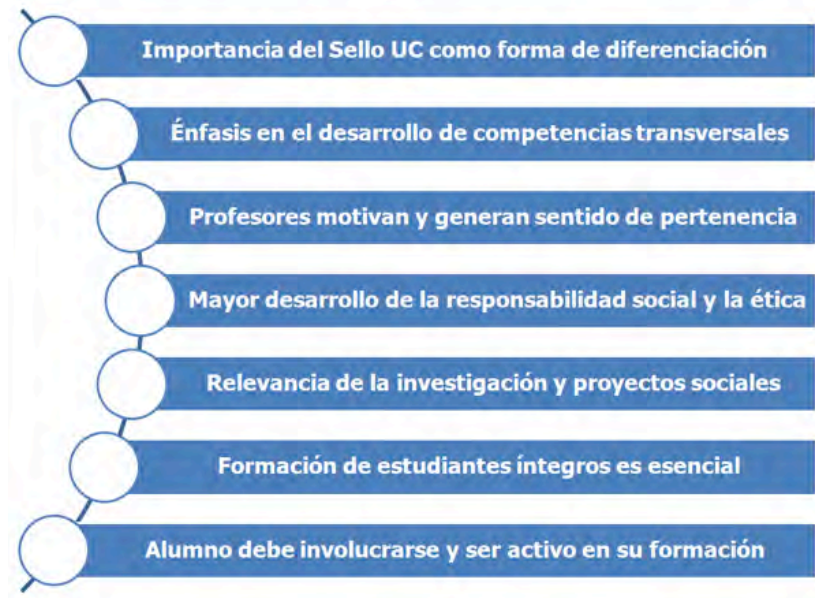


Figura 2: Conclusiones más relevantes del focus group.

PRINCIPIO CIENTÍFICO UTILIZADO

Esta investigación busca indagar sobre las percepciones de los alumnos de Ingeniería sobre el perfil del Ingeniero UC. Para abordar esto se hizo un brainstorming grupal, una revisión bibliográfica, una investigación de lo que hacen actualmente universidades internacionales y pontificias para marcar su sello a sus alumnos y se tuvo entrevistas con algunos profesores de la UC. Además, se realizó una investigación cualitativa, centrada en el desarrollo de un focus group, para obtener la opinión de los alumnos sobre el estado actual de la formación del Ingeniero UC y los aspectos de ella que les gustaría potenciar, con el objetivo de generar una propuesta que pueda ayudar a enfrentar las falencias detectadas y avanzar hacia un perfil de Escuela de Ingeniería UC que se caracterice por ser íntegro.

GLOSARIO

Brainstorming: Herramienta de trabajo grupal que facilita el surgimiento de nuevas ideas sobre un tema o problema determinado sin profundizar mayormente en ellas ni inducir sesgos en las opiniones.

Competencias Transversales: Es una característica que se considera esencial en el ámbito laboral y que se utiliza para indicar las capacidades no específicas de una profesión, aplicable a contextos diversos. Ejemplos de estas competencias son las habilidades comunicativas, el liderazgo y el trabajo en equipo, entre otras.

Focus Group: Consiste en la reunión de un grupo de entre 6 y 12 personas, con un moderador encargado de hacer preguntas y dirigir la discusión sobre un tema de interés.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Subdirección de Desarrollo Docente, en especial a Alejandra Sánchez y Ximena Hidalgo, por su gran ayuda en el desarrollo del focus group y su retroalimentación en la propuesta de talleres de apoyo transversal. También se agradece a los profesores Enzo Sauma, Claudia Prieto, Ricardo Paredes y Yadrán Eterovic por las entrevistas concedidas de su parte. Por último, a Fabio Hernández y Matías Navarro, ayudantes de Ingeniería Propone, por su aporte y constante preocupación por los grupos del Perfil del Egresado UC.

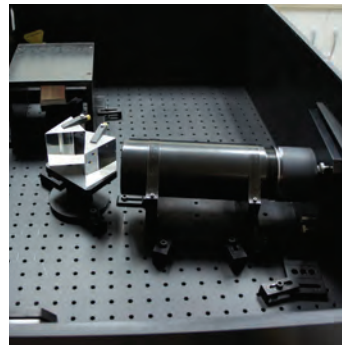
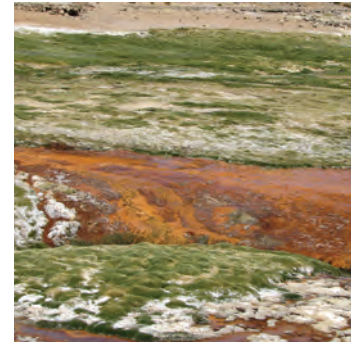
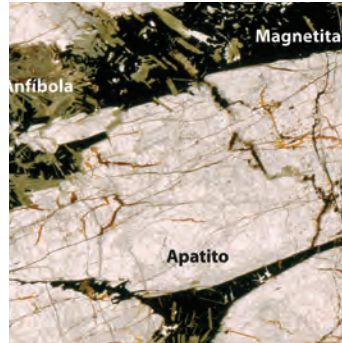
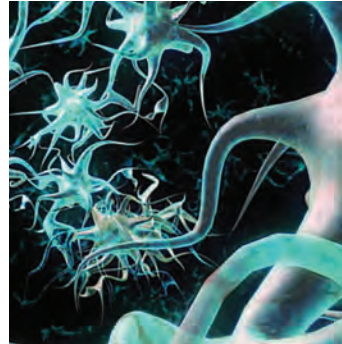
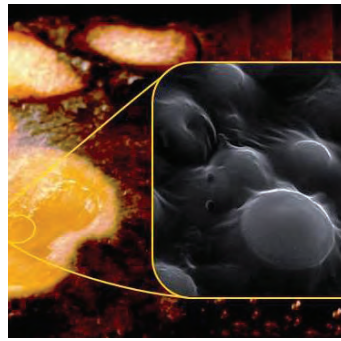
REFERENCIAS

1. IMPERIAL COLLEGE LONDON. [En línea] [Citado: Julio 29, 2012.] <http://www3.imperial.ac.uk/>.
2. ÉCOLE POLYTECHNIQUE. [En línea] [Citado: Agosto 5, 2012.] <http://www.polytechnique.edu/>.
3. MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. [En línea] [Citado: Julio 27, 2012.] <http://web.mit.edu/>.
4. STANFORD UNIVERSITY. [En línea] [Citado: Agosto 6, 2012.] <http://www.stanford.edu/>.
5. BERKELEY UNIVERSITY OF CALIFORNIA. [En línea] [Citado: Julio 29, 2012.] <http://berkeley.edu/>.
6. UCLA. [En línea] [Citado: Julio 2012, 29 .] <http://www.ucla.edu/>.
7. UNIVERSITY OF CAMBRIDGE. [En línea] [Citado: Agosto 6, 2012.] <http://www.cam.ac.uk/>.
8. L'ÉCOLE D'INGÉNIEURS DE TOUS LES POSSIBLES. [En línea] [Citado: Agosto 5, 2012.] <http://www.esme.fr/>.
9. ÉCOLE CENTRALE DE LILLE. [En línea] [Citado: Agosto 5, 2012.] <http://www.ec-lille.fr/>.
10. EPITECH.L'ÉCOLE DE L'INNOVATION ET DE L'EXPERTISE INFORMATIQUE. [En línea] [Citado: Agosto 5, 2012.] <http://www.epitech.eu/>.
11. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. [En línea] [Citado: Julio 29, 2012.] <http://www.upm.es/institucional>.
12. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE ECUADOR. [En línea] [Citado: Agosto 5, 2012.] <http://www.puce.edu.ec/portal/content/Pontificia%20Universidad%20Cat%C3%B3lica%20del%20Ecuador/0?link=oln266n.redirect>.
13. THE CATHOLIC UNIVERSITY OF AMERICA. [En línea] [Citado: Agosto 5, 2012.] <http://www.cua.edu/>.
14. UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA. [En línea] [Citado: Agosto 5, 2012.] http://www.upb.edu.co/portal/page?_pageid=954,1&_dad=portal&_schema=PORTAL.
15. PUCP. [En línea] [Citado: Agosto 5, 2012.] <http://www.pucp.edu.pe/content/index.php>.
16. LOUI, M.C. Ethics and the development of professional identities of engineering students. *Journal of Engineering Education*, 91(4), pp. 383–390, 2005.
17. ACHARYA, M., DAVIS, M., WEIL, V. Integrating Ethics Into a Research Experience for Undergraduates, *Journal of Engineering Education*, 84, pp. 129-132, 1995.
18. HAYDEN, N., NEUMANN, M. D. Y LATHEN, S. The Socially Responsible Engineer: Assessing Student Attitudes of Roles and Responsibilities., *Journal of Engineering Education*, pp. 444–474, 2011.

EQUIPO DE INVESTIGADORES

- 1 Rodrigo Bazaes
- 2 Camila Neira
- 3 Guillermo Soto
- 4 Ignacio Tiznado
- 5 Profesora Patricia Galilea





I 3

Journal de Investigación de Pregrado

La versión digital de la revista se encuentra en el portal del programa de Investigación en Pregrado de la Escuela de Ingeniería. www.ing.puc.cl/ipre

