2017
VOLUMEN 3

INGENIERÍA AL DÍA

LAST MILE

Logística urbana en el centro histórico de Santiago de Chile

INTERNET DE LAS COSAS

El ser humano está creando y controlando una red nunca antes vista en ninguna otra época de la existencia.

¿COMO CONDUCEN LA ELECTRICIDAD LOS METALES ULTRADELGADOS?

Gran parte de los avances contemporáneos en informática han resultado de una contínua miniaturización de los componentes electrónicos, con un progreso que ha alcanzado una velocidad prodigiosa.

MODELO DE DESERCIÓN

La falta de conocimiento previo sobre las variables que pueden influir en que un alumno deserte de la carrera que cursa es una de las mayores problemáticas, sobre todo por su complejidad en predecirla.

LAS ÉPOCAS GEOLÓGICAS Y EL HOMO SAPIENS

El hombre está impactando su hábitat, pero no a la geología del planeta como para hacer cambiar la época geológica presente, sino que está impactando y dañando su propia existencia.

UNIVERSIDAD CENTRAL
INDEPENDENCIA · PLURALISMO · COMPROMISO

DIRECTORA

Karen Kanzúa, Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

EDITOR GENERAL

Sergio Cárdenas, Académico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

COMITÉ EDITORIAL

Loreto Muñoz, Académica investigadora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

Juan Luis Palma, Académico investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

Libertad Hernandez, Periodista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

Sebastián Chandia, Diseñador de la Revista de Ingeniería.

Karen Kanzúa A.

Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile

La Ingeniería vive un proceso de transformación, en el cual debe afrontar los retos que hoy tienen las empresas, puesto que el objetivo ya no es solamente ser más productivos, sino que es necesario además agregar valor, alcanzando mayores niveles de competitividad, procurando procesos más limpios y amigables con el medio ambiente y la sociedad.

Para lograr esto, es fundamental comprender que para que Chile avance hacia un mayor desarrollo productivo debe pasar de una economía basada en los recursos naturales a una basada en el conocimiento y la innovación, y en este sentido las actividades que las Universidades, y en especial las Facultades de Ingeniería tomen, será preponderante.

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile, consciente de ese desafío ha creado el Centro de Ingeniería y Desarrollo Sostenible (CIDES), cuya misión es *"Generar conocimiento en el ámbito de la ciencia y tecnología a través de la realización de proyectos de investigación, desarrollo e innovación, de manera de impactar en la formación de profesionales de excelencia y en la competitividad y productividad de nuestro país; así como también brindar servicios de consultoría, asistencia técnica y capacitación, vinculándose efectivamente con el medio a partir de la detección oportuna de las necesidades de la sociedad"*.

Uno de los medios de difusión del CIDES, es la revista "Ingeniería al día", donde semestralmente se muestra el quehacer de los académicos de la Facultad en el ámbito de la ciencia y tecnología. En esta edición podremos encontrar nueve artículos de divulgación, que dan cuenta de la actividad científica que desarrollamos en la Facultad, enmarcadas en el objetivo estratégico de aumentar así la transferencia tanto de conocimiento como de innovaciones tecnológicas y responder de manera real y efectiva a las necesidades actuales y futuras de las industrias del país.

Sergio Cárdenas

Editor General
Académico de la Facultad de Ingeniería
de la Universidad Central de Chile

Como comité editorial, estamos profundamente entusiasmados y orgullosos por la publicación de este nuevo número de la revista Ingeniería al Día. Esta edición, con un formato en papel y otro digital, puede ser visto desde la página de nuestra universidad y cumple nuevamente con el objetivo de divulgar ciencia y tecnología en áreas de la ingeniería. Además, al igual que en el número anterior, entrega un amplio barrido a diferentes temáticas ingenieriles trabajadas en su totalidad en nuestra Universidad. Como el foco de esta revista es la divulgación, se presentan nueve artículos en un lenguaje lo menos técnico posible, sin afectar el contenido de cada uno. Es así que, en el primero, se abre un debate sobre el verdadero efecto que puede tener el ser humano sobre las eras geológicas, efecto que actualmente está sobredimensionado. Si bien el humano ha generado un efecto importante en el desarrollo y evolución de la biosfera del planeta, no puede pasar lo mismo a escala geológica donde el humano es solo un suspiro.

El segundo artículo, nos muestra los esfuerzos que ha hecho la universidad Central de Chile y en particular la Facultad de Ingeniería, para mejorar los aprendizajes de sus estudiantes y lograr todas las competencias declaradas en su perfil de egreso. La metodología A+A es una de las metodologías que se están implementando en todas sus carreras para que los estudiantes logren desarrollar una mayor significancia de sus aprendizajes.

En el tercer trabajo, se presenta un estudio sobre la logística organizacional del centro histórico de Santiago, donde se evalúa el comportamiento y se compara con lo ocurrido en el centro histórico de la ciudad de Bogotá en Colombia. Este trabajo fue realizado colaborativamente con un investigador de la Universidad Central de Colombia, lo que abre una importante línea de trabajo en conjunto entre los dos países.

El cuarto documento muestra un nuevo modelo de gestión para empresas inmobiliarias, aplicando una metodología de análisis jerárquico de proyectos, que evalúa el desempeño de las empresas de forma regular con una tendencia a la mejora continua.

El quinto artículo, presenta un trabajo realizado por estudiantes de la facultad liderados por un académico, que a través de la minería de datos, permite predecir la deserción en varias carreras de Ingeniería de la Universidad y con esto dar herramientas para diseñar estrategias que disminuyan este fenómeno.

El sexto, nos habla de internet de las cosas, y de cómo las tecnologías de la información e internet, se han ido integrando a nuestra vida diaria cada día más, para transformarse en sistemas grandes y complejos capaces de sensar el entorno e incluso tomar decisiones.

En el séptimo trabajo, se explica cómo interactúan dos nano-imanes dependiendo de su separación, lo que es altamente aplicable a la ingeniería de procesadores y memorias.

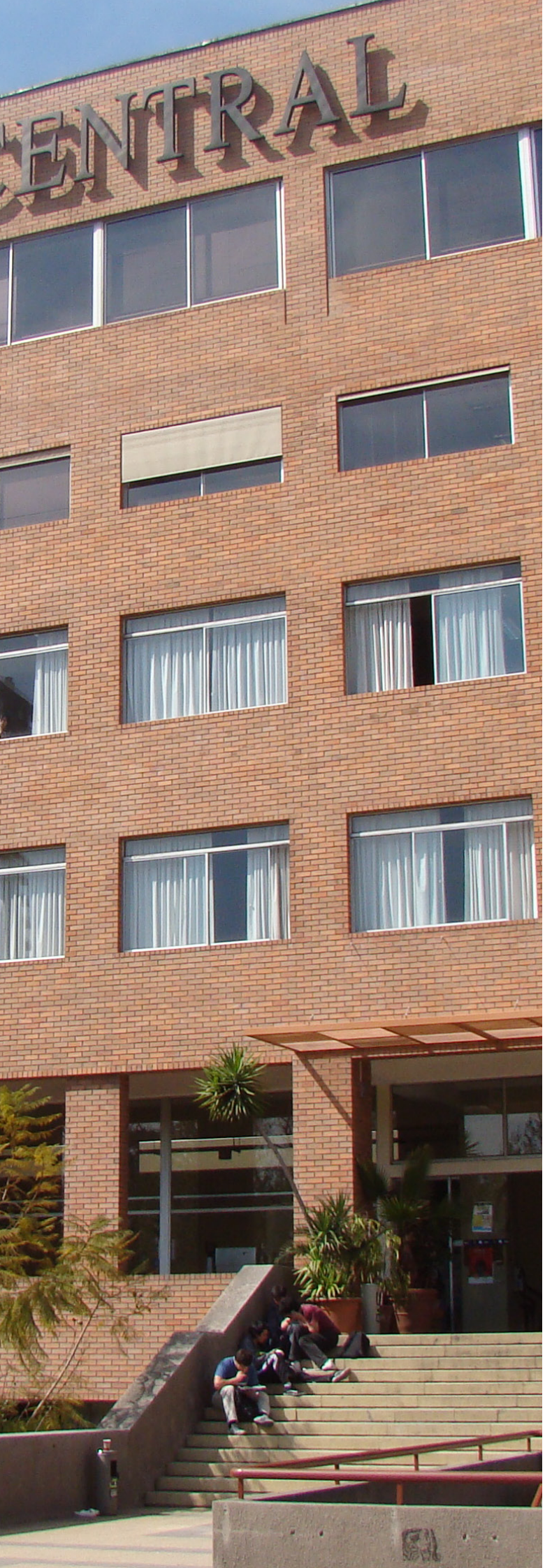
El octavo artículo relaciona a los electrones libres en una molécula, los que generan una corriente la cual produce un campo magnético alrededor de la molécula. Esto fue estudiado por primera vez en la molécula de benceno, la cual es muy aromática, por lo que esta rama de la ciencia se relaciona con la aromaticidad.

En el último artículo se plantea la pregunta ¿Como conducen electricidad los metales ultradelgados?, esta pregunta nace debido a que experimentalmente las películas ultradelgadas no son continuas y a veces están desconectadas. Entonces, un electrón, para pasar de un lugar a otro debe dar un salto cuántico.

Esperamos que estos trabajos, explicados en un lenguaje simple, despierten el interés de la comunidad a la ciencia y tecnología y generen lazos constructivos en y con la Universidad.

CIDES
(Centro de Ingeniería y Desarrollo Sostenible)

Con fecha 30 de Mayo de 2017 se promulga el Acuerdo N°3 de la H. Junta Directiva, adoptado en Sesión N° 589, que aprueba en forma unánime la creación del Centro de Ingeniería y Desarrollo Sostenible, (CIDES) de la Facultad de Ingeniería.



MISIÓN DEL CIDES

La misión del CIDES será generar conocimiento en el ámbito de la ciencia y tecnología a través de la realización de proyectos de investigación, desarrollo e innovación, de manera de impactar en la formación de profesionales de excelencia y en la competitividad y productividad de nuestro país; así como también brindar servicios de consultoría, asistencia técnica y capacitación, vinculándose efectivamente con el medio a partir de la detección oportuna de las necesidades de la Sociedad.

Objetivos Específicos del CIDES

Los objetivos específicos del CIDES son los siguientes:

- Identificar oportunamente las necesidades de la industria y la sociedad a objeto de generar soluciones tecnológicas frente a los problemas y/o oportunidades que se presentan en nuestro país.
- Desarrollar proyectos de investigación, desarrollo y vinculación con el medio, utilizando fondos propios y/o externos, abordando los ámbitos de la tecnología bajo un enfoque de sostenibilidad.
- Aportar a la generación de conocimiento, estudiando las organizaciones del país y su entorno, bajo un enfoque de productividad, innovación y competitividad.

MODELO RELACIONAL DEL CIDS

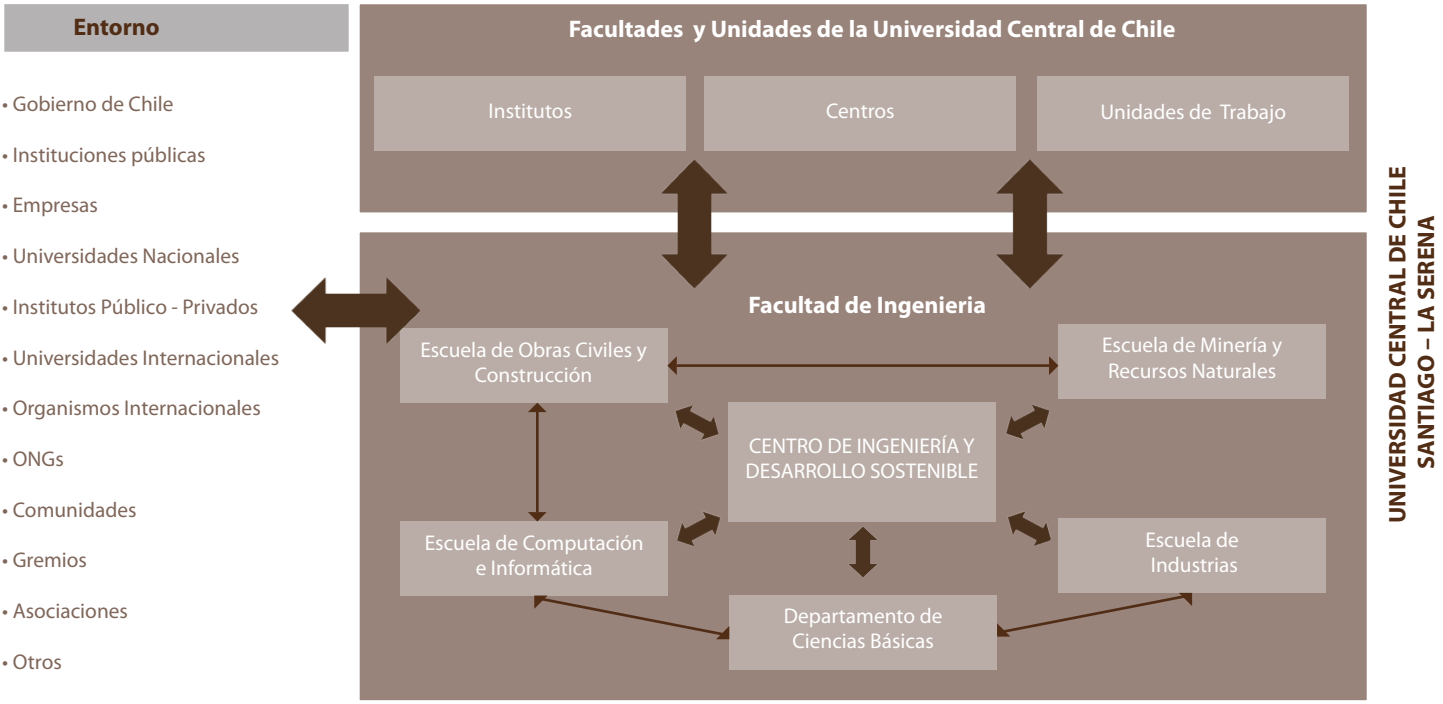
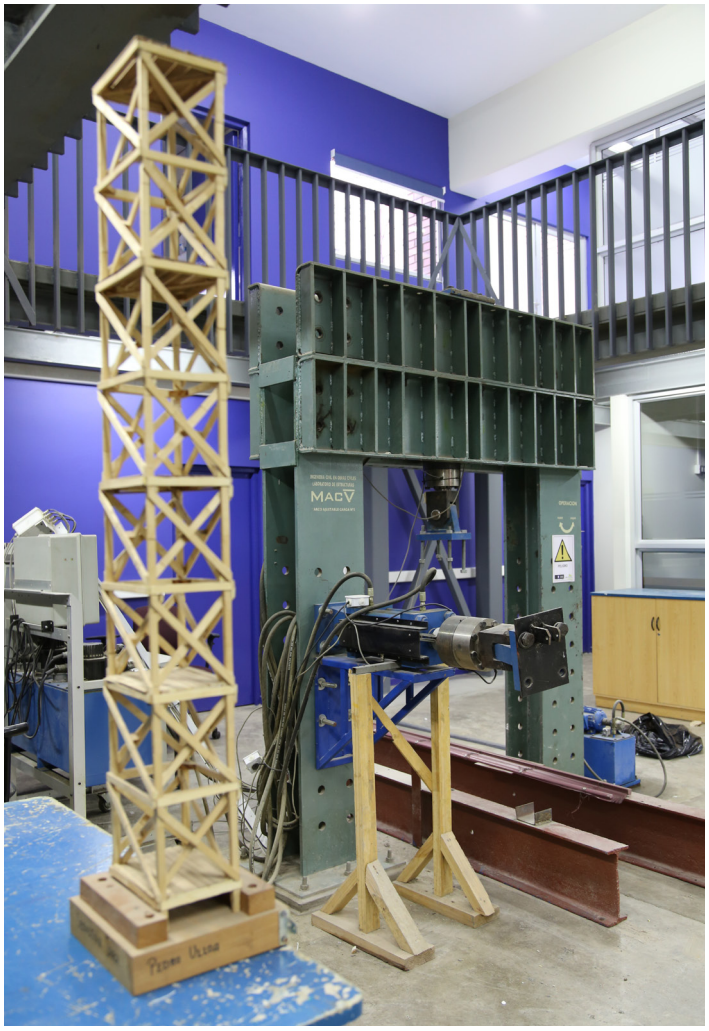


TABLA 2

Escala Fundamental de Saaty.

En la figura se observa el CIDES interactuando con las Escuelas de la Facultad de Ingeniería, otras Facultades y Centros de la Universidad, y a su vez el CIDES, en interacción con el medio (empresas, instituciones públicas, universidades, entre otros actores). Esta interacción permite el trabajo multidisciplinario para el logro de los objetivos del centro.



CAMPOS DE ACCIÓN

El CIDES considera dos campos de acción: Investigación, Desarrollo e Innovación, y Consultoría, Asistencia Técnica y Capacitación.

Para cada uno de los campos de acción los objetivos son los siguientes:

Investigación, Desarrollo e Innovación

- Desarrollar proyectos de investigación básica.
- Desarrollar proyectos de investigación aplicada.
- Proyectos de desarrollo experimental para el desarrollo de nuevos productos (materiales, bienes, servicios, software), procesos y sistemas.
- Desarrollo de proyectos en innovación de ciencia y tecnología.
- Transferir los resultados de los proyectos I,D+i a la sociedad.

Consultoría, Asistencia Técnica y Capacitación

- Detectar oportunamente las necesidades del entorno para el desarrollo de proyectos (Observatorio).
- Desarrollar proyectos de ingeniería aplicada y transferir sus resultados a la sociedad.
- Realizar estudios aplicados según requerimientos de empresas y/o instituciones.
- Asesorar y capacitar a las empresas y/o instituciones en las áreas de experticia de la Facultad de Ingeniería y de la UCEN.

ÁREAS DE TRABAJO

Específicamente, El CIDES cuenta con tres áreas de trabajo:

- **Desarrollo sostenible:** Lograr de manera equilibrada, el desarrollo económico y social y la protección del medio ambiente.

- **Tecnología de materiales:** Conocimiento de la estructura, propiedades, procesamiento y comportamiento de los materiales.

- **Sistemas complejos:** Estudio de los sistemas de producción, sistemas de servicios y los contextos del sistema empresarial, así como de los sistemas de desarrollo y mantenimiento asociados a la organización de proyectos. Igualmente se consideran los sistemas dinámicos que, aunque tienen estructura y relaciones, exhiben un comportamiento impredecible.

El CIDES cuenta con la infraestructura de la Universidad Central de Chile, y en especial de la Facultad de Ingeniería, y con el apoyo del equipo de administrativos, profesionales, académicos, investigadores y estudiantes para el desarrollo de proyectos que permitan el cumplimiento de su misión.

ÍNDICE

12 **LAS ÉPOCAS GEOLÓGICAS Y EL HOMO SAPIENS**
Orestes Gómez

El hombre está impactando su hábitat, pero no a la geología del planeta como para hacer cambiar la época geológica presente, sino que está impactando y dañando su propia existencia.

14 **IMPORTANCIA DE LA INCORPORACIÓN DE LA METODOLOGÍA A+A en la facultad de ingeniería de la universidad central de chile**
Jorge Cornejo

La aplicación de esta metodología ha logrado realzar el rol del docente, dándole un mayor sentido de pertenencia y proximidad a la institución, al margen de un mayor compromiso con sus estudiantes. Para éstos, ha sido un acercamiento a la realidad por medio de una participación activa en la resolución de problemas cotidianos que afectan a un sector de la población.

18 **LAST MILE: CENTRO HISTÓRICO DE SANTIAGO DE CHILE**
Oscar Cepeda, Juan Urzúa, Camila Sepúlveda

El *Centro Histórico de Santiago de Chile* está constituido principalmente por el comercio, banca e instituciones públicas. Donde todos requieren de movimientos relacionados con actividades de suministro y distribución de productos, por lo que la gestión logística en la última milla toma un papel clave en el desarrollo económico de la zona cívica. Aquí, una buena *Distribución Urbana* es vital en la efectividad de la gestión de movilidad, tanto peatonal como vehicular, en el sector.

24 **MODELO DE GESTIÓN MULTICRITERIO**
Liliana García

El negocio inmobiliario, se fundamenta en el desarrollo de proyectos de viviendas que sean capaces de satisfacer las necesidades de confort, calidad y costo que espera el grupo socioeconómico al cual están orientadas las unidades habitacionales, en un mercado cada vez más informado, con opinión propia y rápido acceso a los medios de comunicación.

36 **USO DE DATA MINING (BIG DATA) EN LA PREDICCIÓN DE LA DESERCIÓN UNIVERSITARIA**
Claudio Henríquez

La falta de conocimiento previo sobre las variables que pueden influir en que un alumno deserte de la carrera que cursa es una de las mayores problemáticas, sobre todo por su complejidad en predecirla. En este contexto, es necesario utilizar algún tipo de mecanismo que otorgue respuestas satisfactorias a las causas que provocan la deserción.

42

INTERNET DE LAS COSAS

Erwin Fisher

El ser humano está creando y controlando una red nunca antes vista en ninguna otra época de la existencia. El internet de las cosas genera una increíble cantidad de datos y con esto se presenta el desafío de recolectar, almacenar y procesar la información para optimizar la toma de decisiones.

46

MAGNETISMO Y QUÍMICA CUÁNTICA

Luis Alvarez

La mayoría de las personas están familiarizadas, con el concepto de magnetismo, donde un objeto magnético, imán, tiene la propiedad de atraer objetos de hierro. Una corriente eléctrica en una espira de alambre, también puede producir un campo magnético, al igual que el imán. ¿Es esto válido para una espira a nivel molecular?, la respuesta es; si. Pero la pregunta más interesante es; ¿Cómo se relaciona esto con la aromaticidad molecular?

50

¿CÓMO INTERACTÚAN DOS NANOIMANES?

Juan Luis Palma

La miniaturización de los componentes magnéticos, tanto en procesadores de última generación como en memorias RAM, requieren de una ingeniería a nivel nanoscópico. Los imanes producen un campo magnético en su vecindad que interactúa con otros objetos magnéticos a su alrededor, cambiando su configuración magnética a escala atómica. En este artículo se presenta cómo influye en las propiedades físicas, la distancia que separa a dos nanoimánes.

56

¿CÓMO CONDUCEN LA ELECTRICIDAD LOS METALES ULTRADELGADOS?

Luis Moraga y Ricardo Henriquez

Gran parte de los avances contemporáneos en informática han resultado de una contínua miniaturización de los componentes electrónicos, con un progreso que ha alcanzado una velocidad prodigiosa. Como cada generación de componentes ha disminuido progresivamente en tamaño, se tiene que tanto los dispositivos como las interconexiones están ya constituidos por pocos átomos. Por lo tanto, el problema del transporte de corriente eléctrica en estas nanoestructuras tiene una relevancia importante.

LAS ÉPOCAS GEOLÓGICAS Y EL HOMO SAPIENS

Orestes Gómez / *Ingeniero Geólogo, MSc*

Para hablar de tiempo geológico tenemos que hablar de millones de años, la tierra tiene de formada alrededor de 4.600 M.a. Durante todo ese tiempo la Tierra ha pasado por innumerables transformaciones, pasando de ser una bola de magma incandescente, ser una bola de hielo, hasta lo que conocemos hoy. También su atmosfera ha sufrido grandes cambios, pasando de ser una atmosfera reductora cargada de CO_2 y otros gases como el nitrógeno (N_2) (gas que más abundaba), el ácido clorhídrico (HCl), el hidrógeno (H_2), y el amoníaco (NH_3), a una oxidante gracias a la acción de colonias de cianobacterias ancestrales llamadas estromatolitos, que debido a la fotosíntesis aportaron a la atmosfera millones de metros cúbicos de oxigeno durante millones de años. Estos estromatolitos han llegado a nuestros días y se pueden ver en el "Salar de Llamara" que se ubica en una depresión intermedia a 750 m de altitud, y a 180 km al sur de Iquique, cercano al límite sur de la Región de Tarapacá.Una **época geológica** es una unidad geocronológica formal de la escala temporal geológica que representa el tiempo correspondiente a la duración de una serie, la unidad cronoestratigráfica equivalente **que comprende todas las rocas formadas en ese tiempo**. Las épocas son subdivisiones de los periodos geológicos y se dividen a su vez en edades. **Suelen reflejar cambios significativos en las biotas de cada periodo**. Hay 38 épocas definidas para el eón Fanerozoico que se dividen en 98 edades. **La duración estimada de cada una de las diferentes épocas va desde los 13 a los 35 millones de años.**

Opino que creer que hemos llegado a otra época geológica solo porque el ser humano ha generado cambios antrópicos a escala regional o local, es como comparar los cambios que ocurrieron en el **Jurásico (~53 Ma)** a nivel global con la extinción de los dinosaurios producto del impacto de un gran meteorito (~11,0 km de largo x 10,0 km de ancho) en el Golfo de México, un impacto que provocó una nube tan densa de polvo que nublo toda la atmosfera a nivel global por mucho tiempo y provocó la muerte por asfixia o por falta de alimento a la mayoría de los grandes reptiles, con el daño que puede haber generado el ser humano a la atmosfera, el mar, etc., desde el comienzo de la era atómica hasta nuestros días, estamos hablando de un periodo de **71 años** a la fecha.

El Holoceno (11,700 años hasta la fecha) que es la época geológica en que vivimos, durará millones de años y los cambios geológicos que se producirán en la corteza terrestre no lo veremos ni nosotros, ni muchas generaciones delante de nosotros.

Los cambios globales tanto geológicos como climáticos son procesos que duran millones de años y han ocurrido desde que existe el planeta, pensar que el hombre puede producir cambios bruscos con su accionar y acelerar estos procesos de forma radical es creer que si bien el hombre puede transformar su medio, también puede influir en el tiempo geológico. Hoy muchos hablan del deshielo como si una quinta glaciación fuera inminente, es cierto que se acerca una quinta glaciación, pero también se está acercando cada día el fin de nuestro sistema solar, solo que para eso faltan otros 4.400 M.a. aproximadamente.

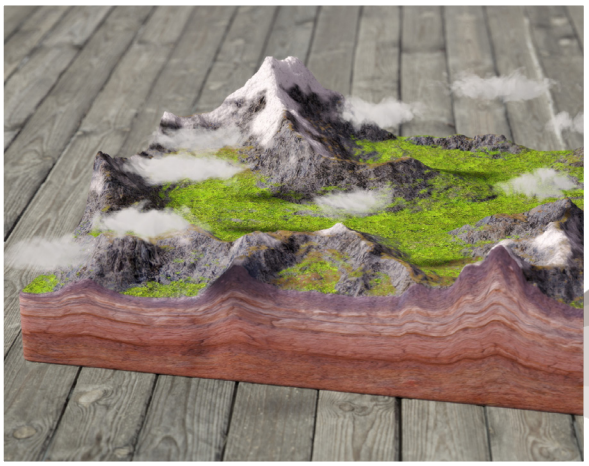
Lo periodos glaciares están separados unos de otros millones de años y son procesos que duraron en completarse millones de años también.

En cuanto a la domesticación de animales es algo que el hombre viene haciendo desde que existe y no creo que la domesticación o los fósiles de las aves de corral generen un cambio tan brusco en la geología del planeta para que podamos decir que estamos en otra época geológica. Entonces, qué hacer con todos los fósiles de humanos encontrados hasta la fecha, muertos a manos de otros hombres, creo que más bien podríamos decir que estamos en la Era Holocaustocenica.

Coincido con que el ser humano ha generado cambios en la Tierra, pero desde el punto de vista de su propia existencia, por eso hemos marcado las eras humanas con otros nombres que no tienen que ver nada con el desarrollo geológico del planeta, así si hablamos del Homo Sapiens capaz de transformar el medio podemos hablar desde Era Neolítica hasta la Era Digital o de la Información donde nos encontramos, todo ese recorrido solo han significado 10.000 años, en el desarrollo del ser humano, desde que surgió el primer homínido hasta que llegó a poder pensar demoró 1.590.000 años en desarrollar un cerebro que le permitiera hacerlo.

Como hemos visto, estamos en un mundo cambiante, pero más bien estamos en presencia de una especie animal pensante que está en constate cambio, la aceleración del cambio nos afecta a todos de forma exponencial, pero eso no puede hacernos creer que tenemos la fuerza o la capacidad suficiente para crear cambios tan globales y tan drásticos que podamos influir en procesos que mueven millones de toneladas de rocas, crean cordilleras, mueven placas tectónicas o hacen cambiar drásticamente la composición de nuestra atmosfera. Decir esas cosas no pasa de ser algo sensacionalista y poco científico. Estas afirmaciones carecen de pruebas científicas confirmables y hasta hora no existen y dudo mucho que la vida de estas personas les alcance para hacerlo, a no ser que logren vivir millones de años.

Es por eso que opino que debíamos preocuparnos más por los cambios que está produciendo la contaminación ambiental en la salud humana, que puede generar mutaciones aceleradas de los humanos, las bombas atómicas lanzadas en Japón, al término de la II Guerra Mundial todavía están produciendo nacimientos de niños deformes o con mutaciones aberrantes, los habitantes de muchas localidades mueren de cáncer producto de la contaminación del manto freático con productos químicos, o los niños padecen de enfermedades respiratorias producto de las emanaciones de gases tóxicos de fábricas cercanas a los lugares donde viven.



Sí, es cierto que el hombre está impactando su hábitat, pero no a la geología del planeta como para hacer cambiar la época geológica presente, sino que está impactando y dañando nuestra propia existencia.

A lo largo del tiempo geológico, la tierra a sufrido cambios increíbles, choque con un planeta, bombardeo de meteoritos, movimiento de las placas tectónicas que ha creado y destruido varios continentes globales y siempre se ha recuperado.

Mi pregunta es, se recuperará el ser humano de su propia existencia?

Algún día el ser humano comprenderá cuál es su verdadero propósito en la Tierra y el Universo?

Dejaremos, algún día, de matarnos los unos a los otros? Las Guerras que hemos sostenido durante miles de años han matado a más seres humanos que todos los cataclismos terrestres como sismos, huracanes, tsunamis o volcanes. Solo la II Guerra Mundial tiene estimaciones de entre 55 y 60 millones de personas fallecidas, elevándose hasta más de 70 millones según los cálculos más pesimistas y de 40 a 45 millones según los más optimistas.

Qué opina Usted?

Eonotema / Era	Eratema / Era	Sistema / Periodo	Serie / Época		Edad (Millones de años)
Fanerozóico	Cenozóico	Cuaternario	Holoceno		Actualidad
			Pleistoceno		2,58 - 0,0117
		Neógeno	Plioceno		5,333 - 2,58
			Mioceno		23,03 - 5,333
		Paleógeno	Oligoceno		33,9 - 23,03
			Eoceno		56,0 - 33,9
			Paleoceno		66,0 - 56,0
	Mesozóico	Cretácico	Superior		100,5 - 66,0
			Inferior		145,0 - 100,5
		Jurásico	Superior		163,5 - 145,0
			Medio		174,1 - 163,5
			Inferior		201,3 - 174,1
		Triásico	Superior		237 - 201,3
			Medio		247,2 - 237
			Inferior		252,17 - 247,2
	Paleozóico	Pérmico	Logingiense		259,8 - 252,17
			Guadalupiense		272,3 - 259,8
			Cisuraliense		298,9 - 272,3
		Carbonifero	Pensilvánico	Superior	307 - 298,9
				Medio	315,2 - 307
				Inferior	323,2 - 315,2
			Misisípico	Superior	330,9 - 323,2
				Medio	346,7 - 330,9
				Inferior	358,9 - 346,7
		Devónico	Superior		382,7 - 358,9
			Medio		393,3 - 382,7
			Inferior		419,2 - 393,3
		Silúrico	Prídoli		423,0 - 419,2
			Ludlow		427,4 - 423,0
			Wenlock		433,4 - 427,4
			Llandovery		443,8 - 433,4
		Ordovícico	Superior		458,4 - 443,8
			Medio		470,0 - 458,4
			Inferior		485,4 - 470,0
		Cambrico	Furogiense		497 - 485,4
			Serie 3		~ 509 - 497
			Serie 2		~ 521 - 509
			Terreneuviense		~ 541,0 - 521
Precámbrico	Proterozóico	Neo-proterozoico	Ediacárico		~ 635 - 541,0
			Criogenico		~ 720 - 635
			Tónico		1000 ~ 720
		Mezo-proterozoico	Esténico		1200 - 1000
			Ectásico		1400 - 1200
			Calímico		1600 - 1400
		Pale-proterozoico	Estatérico		1800 - 1600
			Orosírico		2050 - 1800
			Riácico		2300 - 2050
			Sidérico		2500 - 2300
	Arcaico	Neo - arcaico			2800 - 2500
		Meso - arcaico			3200 - 2800
		Eco - arcaico			4000 - 3200
	Hadico				~ 4600

TABLA 1

Tabla cronoestratigráfica

IMPORTANCIA DE LA INCORPORACIÓN DE LA METODOLOGÍA A+A
en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile

Jorge Cornejo / *Ingeniero Civil en Computación e Informática, MBA en administración de empresas*

El objetivo del presente trabajo es dar a conocer la relevancia de la decisión tomada en la Facultad de Ingeniería en la incorporación de la Metodología Aprendizaje + Acción[1] (A+A), y así demostrar que es un camino viable para mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje en una Facultad en donde prima el pensamiento matemático o racional, en la mayoría de sus asignaturas, con respecto a otras Facultades en donde la formación es primordialmente de carácter humanista o social. También, dar a conocer lo importante que es, que el estudiante se acerque a su medio laboral desde sus primeras asignaturas, no necesariamente a través de las prácticas, que por lo general se encuentran situadas en las mallas curriculares a partir del tercer año de estudio. Y por último, hacer hincapié en la importancia de esta metodología en la formación de un profesional integral con una visión amplia de su entorno y su responsabilidad social con el país.

La Facultad de Ingeniería, se ha preocupado de llevar a cabo la Vinculación con el medio desde la perspectiva académica, por medio de la incorporación de la metodología de enseñanza aprendizaje denominada Aprendizaje + Acción (inspirada en Aprendizaje y Servicio). Esta metodología ha sido incluida en los programas de varias asignaturas, constituyendo un punto de acercamiento de los estudiantes al mundo real, antes de sus prácticas profesionales, como base para la formación de los futuros ingenieros. Desarrollando y consolidando a través de este medio la vinculación con las distintas áreas del quehacer académico. Dando como resultados concretos un mejor proceso de enseñanza aprendizaje para estudiantes y docentes, y un fortalecimiento de las alianzas con instituciones públicas y privadas, beneficiando a diversas comunidades de ciudadanos, como micro empresarios, organizaciones no gubernamentales (ONG), emprendedores, escuelas y jardines infantiles, e instituciones sociales.

[1] Aprendizaje Servicio, en la Universidad Central de Chile, se denomina como Aprendizaje+Acción, A+A, decisión que se sustenta en otorgar una connotación promocional al concepto en función de ser coherente con el laicismo y pluralismo que sustenta el proyecto de esta entidad.

MARCO TEÓRICO

Las instituciones de educación superior de nuestro país, desde hace muy pocos años se están preocupando de institucionalizar los procesos relacionados con la vinculación con el medio. Lo que significa establecer un contacto de carácter bidireccional con su entorno a través de diferentes mecanismos, que contribuyan a la transferencia de conocimientos y a un aporte real a la sociedad. La Universidad Central de Chile, en su Plan Estratégico Corporativo ha definido cuatro ejes: Docencia, Investigación, Vinculación con el medio y Gestión institucional. El eje de Vinculación con el medio, tiene por finalidad desarrollar y consolidar la vinculación con la sociedad desde las distintas áreas del quehacer académico. Es así que para lograr esto, declara e incorpora la vinculación como una política de carácter transversal. *"… la institución entiende la Vinculación con el Medio como el conjunto de actividades que establece con el entorno y sus diferentes actores, desde los ámbitos de docencia, investigación, asistencia técnica y extensión universitaria, a través de diversas formas y mecanismos, orientadas a lograr la retroalimentación del quehacer universitario, la transferencia del conocimiento y la contribución oportuna al propósito institucional de servir al país".* [1]

La Comisión Nacional de Acreditación (CNA), precisa al respecto: *"La vinculación con el medio se refiere al conjunto de nexos establecidos con el medio disciplinario, artístico, tecnológico, productivo o profesional, con el fin de mejorar el desempeño de las funciones institucionales, de facilitar el desarrollo académico y profesional de los miembros de la institución y su actualización o perfeccionamiento, o de cumplir con los objetivos institucionales".* [2]

Aprendizaje más Servicio, se define como: *"La integración de actividades de servicio a la comunidad en el currículo académico, donde los estudiantes utilizan los contenidos y herramientas académicas en atención a las necesidades reales de la comunidad".* [3]

Una de las características más valiosas con que cuenta esta metodología es que permite que el estudiante desarrolle las competencias adquiridas en el transcurso de su carrera mediante la atención y dedicación a resolver problemas reales, que le exigen y ponen a prueba no sólo lo aprendido en el aula, en función a lo que indican los programas de estudio, sino que lo sitúan en un punto en que debe actuar y decidir en base a experiencias propias, principios y valores. Es decir, en un escenario real, ante la vivencia del problema, en donde es clave involucrarse, es decir, ser protagonista es fundamental. La vivencia en nada es comparable a un caso de estudio en el aula, en donde se presentan situaciones hipotéticas. Por lo tanto, vivir la experiencia enriquece al estudiante de múltiples formas, no tan sólo en lo académico, sino mucho más allá. *"Las personas aprenden mejor cuando participan en las actividades que se perciben útiles en la vida real y que son culturalmente relevantes".* [4]

Este es el plus que entrega la Metodología A+A a los estudiantes y docentes, permitiéndoles empaparse de mejor forma del sello formativo institucional, más aún en aquellas carreras de ingeniería con base científica, donde parecieran primar valores diferentes a otras carreras del área humanista. En palabras de María Nieves Tapia *"El énfasis de esta metodología, se encuentra situado en la valorización de actividades académicas presentes en los programas de estudio, en una lógica de desarrollo y compromiso social, capaz de potenciar los aprendizajes formales desarrollados en aula. De esta manera, el conocimiento adquirido en el marco de la educación formal, se vuelca a la acción social, al servicio de necesidades de las comunidades y grupos sociales, contribuyendo a dar solución a un problema social específico y también a la profundización y aplicación de los conocimientos aprendidos".* [5]

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

La Facultad, consiente de la importancia de este tipo de actividades en la formación de sus estudiantes decidió a partir del año 2015 incorporar la metodología A+A en los planes de estudio de algunas de las asignaturas de las diversas carreras, con la finalidad de desarrollar y potenciar las competencias de sus alumnos, hecho que se ha visto reflejado en las últimas acreditaciones de carreras a través de las positivas opiniones mencionadas por los pares evaluadores.

La aplicación de esta metodología, también ha logrado realzar el rol del docente, dándole un mayor sentido de pertenencia y proximidad a la institución, al margen de un mayor compromiso con sus estudiantes. Para éstos ha sido un acercamiento a la realidad por medio de una participación activa en la resolución de problemas cotidianos que afectan a un sector de la población.

Como resultado de esto ha sido posible observar por parte de los docentes, la coherencia y complementación que existe en la incorporación de esta metodología como una herramienta para alcanzar de manera proactiva una cultura de generación de conocimiento entre estudiantes, docentes y socios comunitarios, siendo el compromiso social la base de este trabajo.

Por medio de esta forma de trabajo el estudiante comienza un proceso de desarrollo personal y profesional, por el sólo hecho de cumplir su compromiso con el prójimo. A veces sin los conocimientos técnicos necesarios para resolver un problema, pero con muchas ganas de atender una necesidad concreta de una familia o de una comunidad. Movido por ese sentido que lo invita a trabajar por motivos nobles, el estudiante inicia su proceso de aprendizaje, que más tarde le permitirá alcanzar las competencias necesarias para formarse como un profesional idóneo, capaz de comprender y analizar un problema, evaluar propuestas, plantear alternativas de solución y desarrollar un producto y/o servicio según se requiera.

La Facultad de Ingeniería, en un claro esfuerzo por imprimir su sello formativo a sus futuros ingenieros, se ha preocupado de incorporar la Metodología A+A en asignaturas, como: Análisis y Diseño de Sistemas de Información, Ingeniería de Software, Tópicos Avanzados de Datos, Planificación Estratégica, Teoría y gestión Organizacional, y Planificación Estratégica, en la carrera de Ingeniería Civil en Computación e informática; Gestión Organizacional y Gestión de Recursos Humanos, en Ingeniería Civil Industrial; Seguridad Vial (Electivo) en Ing. Civil en Obras Civiles y en Construcción.

Las diversas experiencia han beneficiado a diferentes socios comunitarios: Instituto del Patrimonio Turístico (y por medio de este a la comunidad de Salineros de Cahuil), la Agrupación de libreros de la Plaza Carlos Pezoa Véliz (40 locatarios), Acción Solidaria del Hogar de Cristo (adultos mayor), ONG Emprendedoras de Chile, Escuelas, y vecinos del Paseo Bulnes entre otros.

Uno de los proyectos llevado a cabo durante los años 2015 y 2016 se resume en la siguiente ficha técnica:

Asignatura: Ingeniería de software. Carrera Ing. Civil en Computación e Informática. Semestre 9. Año 2016-01.

Proyecto: Aplicación tecnológica para Tutores que tienen a cargo la supervisión de uno o más adultos mayores en un área perimetral.

Socio comunitario: Acción Solidaria Hogar de Cristo. Beneficiarios: Adultos Mayores que viven solos, y que cuentan con un Tutor que los supervisa periódicamente.

Descripción: Desarrollo de aplicación computacional que permita monitorear a un Adulto Mayor que vive solo. Y que le avise a través de una alarma o mensaje en caso de que la persona monitoreada manifieste señales físicas adversas o anormales (a través del pulso, presión y acelerómetro), lo que puede significar que dicha persona se encuentra en una situación de riesgo, como por ejemplo: caída o desmayo, o que entregue una señal que atente contra su normal desenvolvimiento diario.

Cantidad de alumnos participantes: 9

Producto/Servicio: Prototipo de aplicación móvil para monitorear adultos mayores, utilizando tecnología móvil.

APRENDIZAJE + ACCIÓN EN CIFRAS

A nivel institucional la evolución de la implementación de la Metodología A+A desde el año 2012 a la fecha, ha ido en aumento, como se observa en la Tabla 1.

Año	Facultades	Carreras	Cátedras
2012	Comunicaciones Ciencias Sociales	4	3
2013	Ciencias de la Salud Ciencias de la Educación Ciencias Sociales	6	5
2014	Comunicaciones Ciencias de la Salud Ciencias de la Educación Ciencias Sociales Ciencias Jurídicas y Social. Arquitectura, Urbanismo y Paisaje	8	9
2015	Comunicaciones Ciencias de la Salud Ciencias de la Educación Ciencias Sociales Ciencias Jurídicas y Social. Arquitectura, Urbanismo y Paisaje Ingeniería Cs. Políticas y Administ. Pública.	15	30
2016	Comunicaciones Ciencias de la Salud Ciencias de la Educación Ciencias Sociales Ciencias Jurídicas y Social. Arquitectura, Urbanismo y Paisaje Ingeniería Cs. Políticas y Administ. Pública	15	34

TABLA 1

Incorporación de la Metodología A+A en la Universidad Central de Chile.

Con respecto a la Facultad de Ingeniería, en la Tabla 2, se puede observar su evolución.

carreras / año		
2015	**cátedras**	**alumnos**
Ing. Civil en Computación e Informática	3	27
Ing. Civil Industrial	1	14
Ing. Civil en Obras Civiles y Construcción	1	*
2016	**cátedras**	**alumnos**
Ing. Civil en Computación e Informática	3	30
Ing. Civil Industrial	2	45
Ing. Civil en Obras Civiles y Construcción	2	*

TABLA 2

Incorporación de la Metodología A+A en la Facultad de Ingeniería.

La cantidad de estudiantes participantes en estas actividades ha superado los 120 en estos dos años de inicio, lo que se espera que aumente en los próximos semestres al igual que la cantidad de docentes participantes. En función de los cambios de mallas de algunas carreras de la Facultad que han incluido Talleres integradores en sus Planes de Estudio. En el caso de Ingeniería Civil en Computación e Informática, en los programas de estos talleres se ha declarado la Metodología A+A como su metodología de trabajo base.

COMPETENCIAS EN INGENIERÍA

Las competencias que debe lograr un estudiante de ingeniería, desde el punto de vista global de su formación profesional deben apuntar no sólo a responder a las competencias específicas propias de su especialidad, sino que también a otras de tipo genérico o de carácter transversal como por ejemplo: capacidad para relacionarse y trabajar con personas de diferentes disciplinas, también debe desarrollar la capacidad de integrase a diferentes tipos de equipos multidisciplinarios, tener una visión y pensamiento crítico del problema y su entorno, dominar herramientas y técnicas de comunicación, y además, ser flexible y ágiles frente al cambio. También, debido a su formación, deben ser capaces de estudiar, analizar, diseñar, desarrollar, implementar, y mejorar diversos sistemas integrados, que incluyen no solo datos, información, materiales y diversidad de equipamientos tecnológicos, sino también personas. En otras palabras, debe responder a las necesidades del medio y demostrar su competencia laboral en el ámbito de su quehacer profesional.

Es posible citar varias competencias que el estudiante de ingeniería va aprendiendo y desarrollando en el transcurso de su formación profesional, como por ejemplo: liderazgo, trabajo en equipo, emprendimiento, creatividad, empatía, pensamiento crítico y otras que pueden ser consideradas claves y necesarias para desenvolverse en un entorno laboral exigente, pero la clave está en la medición del logro de éstas durante la carrera. Para esto la metodología Aprendizaje + Acción es clave, debido a que entrega las herramientas necesarias y los espacios adecuados para que el estudiante las aplique en un escenario real y se puedan medir de mejor forma a través de herramientas que proporciona la propia metodología, como por ejemplo, la reflexión.

Como complemento a lo anterior, es importante señalar que la Metodología A+A además de sustentar la Misión y los valores de la Universidad Central de Chile, se inserta en el proyecto educativo institucional, el cual define un enfoque basado en competencias.

Cabe señalar que algunas competencias observadas por los académicos de la Facultad de Ingeniería, en sus estudiantes, durante la aplicación de la Metodología A+A en sus asignaturas son las siguientes:

- Creativo e Innovador.
- Orientación a resultados.
- Comunicación efectiva y empatía.
- Liderazgo y motivación.
- Trabajo colaborativo.
- Comportamiento ético.
- Responsabilidad.

Al margen de lo anterior, los estudiantes lograron en líneas generales:

Conocer las dificultades de un trabajo grupal en relación a un proyecto real.

- Desarrollar la capacidad de análisis para resolver problemas complejos.
- Aplicar contenidos teóricos a un problema real.
- Diseñar e implementar aplicaciones, integrando conceptos estratégicos, administrativos, económicos y sociales.
- Gestionar sistemas de servicios con criterios de calidad, productividad, oportunidad, sustentabilidad y seguridad.
- Concebir y elaborar planes estratégicos de desarrollo- en el ámbito de la gestión de personas- viables y eficientes en pequeñas y medianas empresa.

Estas competencias que aportan al perfil de egreso del estudiante, le permiten un acercamiento a la realidad, lo cual llega a mejorar la percepción del mundo laboral, y lo que debiera saber para desenvolverse de mejor manera el día de mañana. Los resultados hasta ahora han sido exitosos, no solo desde el punto de vista académico, sino también desde el contexto de la responsabilidad social y los valores que transmite la universidad a sus estudiantes. Esto constituye un aliciente, y se espera que incida directamente en el proceso de retención del estudiante.

CONCLUSIONES

Se ha demostrado a nivel internacional que la aplicación de esta metodología ayuda a aumentar significativamente los niveles de retención y aplicación de los contenidos de los cursos que la aplican versus los que no lo hacen. Se observó además, que la aplicación de la metodología logra una mayor identificación y sentido de pertenencia por parte de los estudiantes, con la Facultad y la Universidad.

- También, que los estudiantes:
- Mejoraron sus habilidades de comunicación, lo que les permitió darse a entender en términos simples y concretos con los socios comunitarios y beneficiarios.
- Desarrollaron su capacidad de análisis para resolver problemas complejos.
- Mejoraron la capacidad de comprender el flujo de las cosas, desde las perspectivas micro y macro.
- Entendieron la relevancia de ponerse en el lugar del otro (Empatía).
- Se dieron cuenta que es importante adquirir conocimiento y destrezas por sus propios medios.

Además, se pudo observar, que durante el proceso de aprendizaje realizado, los estudiantes aplicaron competencias, que actualmente son muy propias de un ingeniero.

El aprendizaje logrado por los estudiantes es más "duradero", esto significa que lo aprendido perdura a través del tiempo, producto de la vivencia. Esta forma de aprendizaje produce una ganancia significativa en el estudiante, probablemente el doble que mediante la utilización de un método tradicional.

Hasta la fecha, en la Facultad sólo se ha aplicado la Metodología A+A en no más de 10 asignaturas (durante los años 2015 y 2016), lo que evidencia un porcentaje bajo respecto a otras facultades. Sin embargo, es significativo en cuanto a la cantidad de estudiantes que han vivido esta experiencia (más de 120).

Aún existen muchas cosas por hacer para que este porcentaje aumente en la Facultad de Ingeniería, pensando en el potencial de la metodología. Como por ejemplo capacitar un mayor número de docentes, y sistematizar la incorporación de dicha metodología en programas de estudio, particularmente en aquellas asignaturas que exista vinculación con el medio.

Los docentes que han aplicado esta metodología, han podido darse cuenta que la incorporación de ésta en los programas de estudio, además de influir directamente en el rendimiento y la retención de los estudiantes, constituye una potencial herramienta para lograr la vinculación con el medio.

Algunas propuestas futuras respecto a la incorporación de A+A en la Facultad de Ingeniería, son las siguientes:

- Sistematizar el uso de esta metodología en una mayor cantidad de asignaturas.
- Fomentar la aplicación de esta metodología en diferentes asignaturas de especialidad, para lograr el salto cualitativo de la enseñanza tradicional.
- Potenciar el uso de la metodología en trabajos de título y tesis.
- Incorporarle mayor valor agregado al proceso de enseñanza aprendizaje de nuestros ingenieros.

REFERENCIAS

[1] ***http://www.ucentral.cl/que-es-la-vinculacion-con-el-medio/prontus_ucentral2012/2013-10-16/153852.html***
Página web Universidad Central de Chile

[2] Reglamento sobre Áreas de Acreditación Institucional acorde al Artículo 17° de la Ley 20.129, de la Comisión Nacional de Acreditación (CNA), Título III, Artículo 9.

[3] ***"Centro Latinoamericano de Aprendizaje y Servicio (CLAYSS)"***
Tapia, María Nieves. 2009.

[4] ***"Agile kids"***
Ronen Harel, Shirly; Kovatch, Danny (Danko). 2011.

[5] ***"Centro Latinoamericano de Aprendizaje y Servicio (CLAYSS)".***
Tapia, María Nieves. 2009.

LAST MILE:
CENTRO HISTÓRICO DE SANTIAGO DE CHILE

Logística Urbana en Centro Histórico de Santiago de Chile

Oscar Cepeda, *Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial, Universidad Central de Colombia*

Juan Urzúa, *Ingeniero Civil Industrial*

Camila Sepúlveda, *Estudiante de 5° año en Ingeniería Civil, Universidad Central de Chile*

En el momento de analizar el esquema de organización de un centro histórico, se deben tener en cuenta diversos factores que se reúnen en torno a él como lo son: 1. la restauración dada por el equilibrio entre la conservación arquitectónica y la incorporación y transformación de los usos funcionales del suelo. 2. El turismo, con el enfoque económico, basado en recursos económicos de poblaciones externas. 3. La vivienda, la cual se ha identificado como uno de los factores de mayor aporte en los centros históricos con una gran cantidad de edificaciones, con ello se incluyen temas de urbanos, económicos, sociales y culturales, entre otros. 4. Comercio callejero, el cual es común en los centros históricos y para el cual existen diferentes respuestas a su existencia, algunas veces se busca la erradicación, otras veces se tolera o ignora. 5. La seguridad ciudadana. Asociada a la violencia que se puede dar en los centros históricos, generando temores que finalmente repercuten en un incremento en costos y una percepción de violencia. 6. Tecnología. Figura como una parte importante en busca de fusionar diferentes momentos históricos. 7. La economía. Siendo los centros históricos una parte estratégica de la economía de las ciudades que los acogen. 8. Los servicios. Dado que los centros históricos deben adaptarse a la posibilidad de introducir nuevos servicios y sus formas de implantación (Carrión. M., 2000).

Tomando de base la importancia económica de los centros históricos y la dinámica del ingreso de productos y servicios de estos centros urbanos; la planeación de la logística de aprovisionamiento, se presenta como un área de investigación a desarrollar desde el campo académico. A partir de ello, actualmente en un esquema de colaboración entre la Universidad Central de Chile y la Universidad Central de Colombia, se realiza un proyecto que busca identificar escenarios prospectivos de la logística urbana. El proyecto permite desarrollar un análisis comparativo de la organización de la logística urbana de los centros históricos tanto de Santiago de Chile, como de Bogotá. De esta manera, es posible la generación de aportes en la propuesta de políticas, incorporación de nuevas infraestructuras y tecnologías para el aprovisionamiento de los cetros históricos y urbanos.

La Distribución Urbana o logística de la última milla es considerada el último eslabón dentro de la cadena de abastecimiento. En Santiago de Chile específicamente su Centro Histórico está constituido principalmente por comercio, banca e instituciones públicas. Donde todos requieren de movimientos relacionados con actividades de suministro y distribución de productos, por lo que la gestión logística en la última milla toma un papel clave en el desarrollo económico de la zona cívica. Una buena Distribución Urbana será vital en la efectividad de la gestión de movilidad peatonal y vehicular en el sector. La movilidad en el casco histórico tiene directa relación con el nivel de congestión provocado en la zona, que viene a consecuencia de las distintas interacciones de las actividades que realizan los usuarios que frecuentan el lugar en función de sus necesidades y la disponibilidad de los recursos como infraestructura, así como los hábitos y costumbres sociales, individuales y colectivas.

Las políticas y planes en Santiago de Chile han evolucionado a lo largo del tiempo junto con el proceso de urbanización. Hoy en día nos encontramos en una constante evolución de la ciudad, por esto que las normas, planificaciones y regulaciones deben realizarse en torno a la protección de la calidad de vida urbana, pensando en satisfacer y facilitar la entrega continua de bienes.

La eficiencia en la distribución urbana con entregas más frecuentes y tiempos más reducidos, es un factor clave para la competitividad local de las ciudades. Es por ello que nos preguntamos ¿Cómo se comporta la frecuencia de entregas? ¿Cuánto tardan las entregas en el Centro Cívico? ¿Cómo se realizan? ¿Dónde se realizan? Son preguntas que contestaremos en el siguiente artículo.

Hoy en día en Chile se ha incrementado fuertemente el parque vehicular, a un valor que asciende los 4.168.980 vehículos. Lo que ha provocado una disminución de la velocidad promedio de hasta 5 km/hora por año en hora punta. (INE, 2015). Por esto, se genera un alto nivel de congestión llegando a una velocidad promedio de 24 km/hora en las calles de Santiago Centro. (Mi Entorno, 2017). Con 159.919 habitantes y una población flotante de 1.800.000 personas, Santiago es la comuna más emblemática del país y centro del poder administrativo y cultural de Chile. (INE, 2012).

Según los datos, el centro histórico cada año aumenta la complejidad de movilidad tanto en peatones como en vehículo, es por ello que mediante la metodología Last Mile se caracteriza la movilidad que permite la gestión del Centro Histórico de Santiago de Chile.

La última milla conocida por el proyecto km2 fue creado por el Massachusetts Institute of Technology (MIT, 2013) como un atlas de la logística urbana con la información recogida en las grandes ciudades de todo el mundo. Consiste en conjuntos de datos con respecto a la información que se puede obtener de procesos logísticos relevantes y detallados para mostrar los factores que afectan el rendimiento de entregas.

La última milla conocida por el proyecto km2 fue creado por el Massachusetts Institute of Technology (MIT, 2013) como un atlas de la logística urbana con la información recogida en las grandes ciudades de todo el mundo. Consiste en conjuntos de datos con respecto a la información que se puede obtener de procesos logísticos relevantes y detallados para mostrar los factores que afectan el rendimiento de entregas.

ESTRUCTURA METODOLÓGICA

FIGURA 1

Estructura Metodológica

Para la caracterización de la zona de estudio, se realiza un diagnóstico del comportamiento de la logística urbana en el centro de Santiago de Chile, utilizando la metodología propuesta por el Centro para el Transporte y Logística del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, 2013), por medio de ella es posible visualizar la estructura de las operaciones logísticas en diferentes contextos, identificando y midiendo variables asociadas al comportamiento urbano, donde el principal objetivo es analizar la dinámica y condiciones que influyen en la logística urbana. Esta metodología ya se ha aplicado en otras ciudades como Beijing, Bogotá, Boston, Kuala Lumpur, Madrid, México City, Sao Paulo y Rio de Janeiro (Camargo Cuevas & Forero Mayorga, 2016).

Para la identificación de los puntos de toma de datos se desarrolló una ponderación, tomando utilizando como fuente el reporte de tráfico de google maps (Google Maps, 2017), en la cual se identifican las calles con un mayor flujo vehicular y con una gran cantidad de comercio. A partir de ello, se determinaron 6 puntos de toma de datos, asociados a 12 calles representativas del área de estudio. La toma de datos se llevó a cabo en diferentes horarios durante el día que van desde las 6:00 am hasta las 7:00 pm.

En los puntos identificados para la toma de datos, la recolección de información se llevó por observación, donde se disponía de unos instrumentos estructurados, para la medición de flujos, operaciones de carga y descarga, interrupciones en el tráfico, reglamentación y cantidad de comercio. Estos se describen a continuación. (Merchán, 2015)

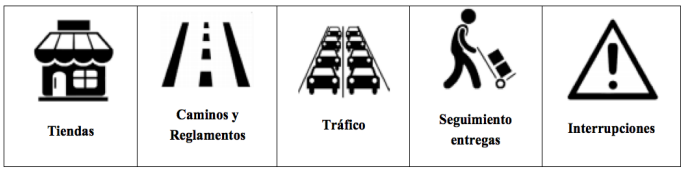
Inventario de tiendas: Permite identificar la ubicación de las diferentes actividades comerciales, detallando el tipo de actividad, nombre, espacio ocupado y disponibilidad para carga y descarga.

Vías y reglamentos: Por medio de esta planilla, se identifica la estructura vial del área de estudio, registrando el número de carriles y su dirección, espacios disponibles para estacionarse, cruces habilitados en calles, y espacios habilitados para carga y descarga de mercancías.

Operaciones de entregas: A través de este instrumento se miden las operaciones de carga y descarga, tomando tiempos de arribo y partida para desarrollar las operaciones de carga y descarga, tipo de vehículo utilizado, tipo de productos transportados, distancias y número de viajes desde los vehículos hasta el lugar a abastecer y tamaño de la carga.

Tráfico: Por medio de esto se identifica la cantidad de vehículos y peatones que se movilizan en el área de estudio.

Interrupciones: La planilla permite medir las diferentes causas por las cuales se ve interrumpido el flujo en las diferentes vías del área de estudio, detallando la cantidad de vehículos afectados y los tiempos asociados.



KILÓMETRO CUADRADO

Los límites del centro histórico capitalino están definido por avenida Rosas al norte, avenida Libertador Bernardo O'Higgins al sur, avenida Miraflores al oriente y avenida Hermanos de Amunátegui al poniente.

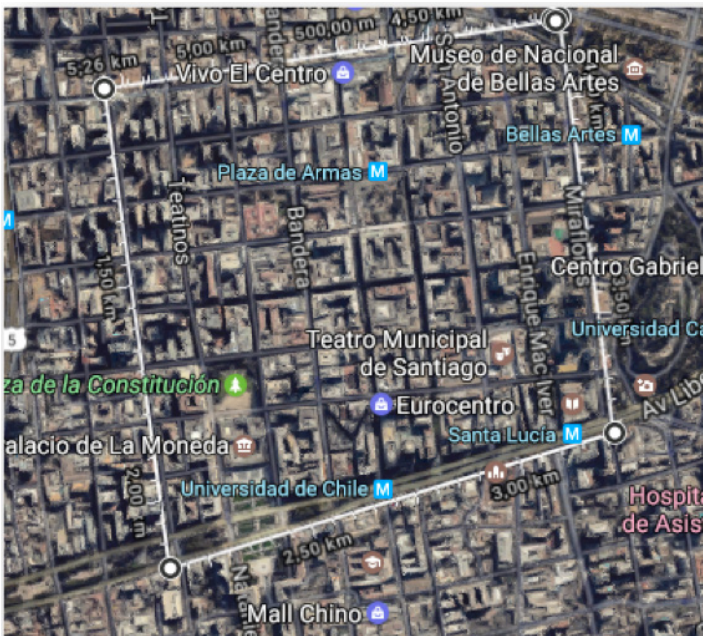


FIGURA 2

Radio de estudio de Logística Urbana en el Centro Histórico de Santiago de Chile.

En el análisis preliminar se ha encontrado como principales actividades comerciales las asociadas al sector de alimentos, teniendo un 34% de restaurantes, cafeterías y demás relacionados con la venta de productos preparados, seguido por las tiendas con un 22% correspondiente a pequeños establecimientos de venta de productos alimenticios. La categoría otros con un 19% de los establecimientos identificados en el área de estudio representa lavanderías, gimnasios y librerías en su mayoría. La distribución completa de los establecimientos se presenta en Figura 3.

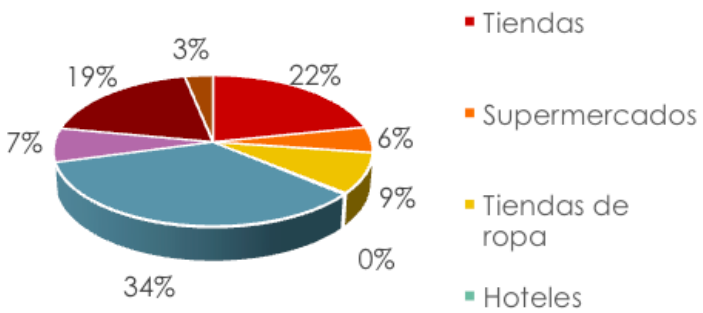


FIGURA 3

Distribución de establecimientos por actividad, en el estudio preliminar del centro histórico de Santiago de Chile.

CARACTERÍSTICAS DE LAS AVENIDAS DEL CENTRO HISTÓRICO

El área de estudio tiene un total de 18 avenidas, de las cuales nueve van en dirección norte – sur y nueve de poniente a oriente. Se encuentran tres calles con uso exclusivo de peatones: Paseo Huerfanos de dirección poniente – oriente, Paseo Ahumada y Paseo Estado, ambas de norte – sur. El resto de las avenidas tienen particulares tales como: Avenida San Antonio de uso exclusivo de transporte público, avenida Agustinas con pista de uso exclusivo para carga y descarga en horarios establecidos, otras permiten sólo tránsito de vehículos particulares, algunas contienen ciclovías, y así otras observaciones. En relación al sentido de las avenidas, se encuentra la particularidad que todas se dirigen en un solo sentido, ya sea hacía el norte, sur, poniente u oriente.

Las avenidas con mayor flujo de movilidad, ya sea, de vehículos motorizados, no motorizados o peatones, se dio en Ahumada, Estado, Mac Iver y Miraflores en la dirección norte – sur. y para las avenidas de mayor flujo de poniente a oriente, resultaron, Huerfanos y Moneda.

RESULTADOS

.La configuración de carga/descarga y distribución de mercancías está apoyada por una estructura legislativa, la cual se presenta en Decreto Municipal N° 1476/2013 (Municipalidad de Santiago - Secretaria Municipal, 2013), en el cual se identifican las vías y horarios habilitados para desarrollar las operaciones de carga y descarga. Contrastando con las visitas de campo se ha identificado que las principales calles utilizadas para carga y descarga son Agustinas y Moneda, donde el 85% de las veces se desarrollan actividades de entrega de mercancía, basados en 15 horas de observación de las actividades, que fueron distribuidas entre los diferentes días y horarios de desarrollo de estas actividades semanales.

En el análisis del tráfico, se identificó un flujo promedio de 829 vehículos por hora para el centro histórico (incluyendo no motorizados), de ellos el 16% son vehículos aptos para desarrollan actividades de transporte de mercancías, mientras los demás corresponden a vehículos primordialmente para transporte de personas donde se destaca un alto uso de vehículos particulares con un 32% y taxis con un 30%, El detalle de la distribución de vehículos se presenta en Figura. 2

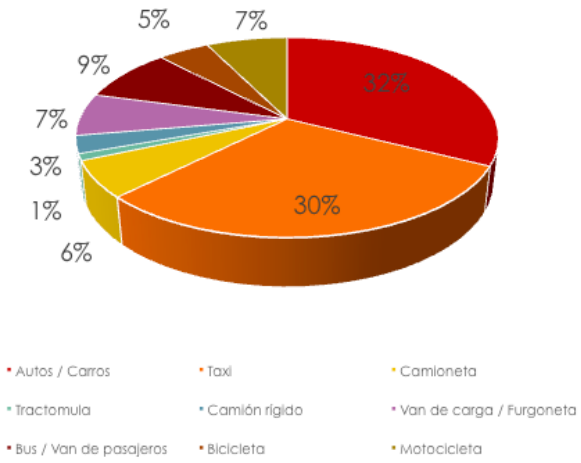


FIGURA 4

Distribución del tráfico de vehículos en el estudio preliminar del centro histórico de Santiago de Chile.

Adicionalmente, en el estudio se identificó el flujo de peatones, se encontró un flujo promedio de 5403 personas por hora para el centro histórico, encontrando los valores más altos en calles exclusivas de uso peatonal con flujos promedios de 9127 personas por hora (huérfanos con alameda).

En estas calles peatonales, se destaca el uso de los carros manuales de carga para la movilización de la mercancía, con un dato preliminar de un 1,6% de los peatones desarrollando estas actividades de transporte de mercancías, lo que significa en calles como moneda con ahumada un flujo promedio de 104 personas por hora con carros manuales de carga.

En el análisis de las actividades de entrega y recolección de la mercancía, se tomaron en cuenta únicamente los vehículos que desarrollaban la actividad de entrega o recolección en el tiempo de toma de datos, con lo cual se obtuvo, la distribución de los tiempos de entrega presentada en la Figura. 5, implicando que algunas entregas que tomaban más de una hora no se encuentran dentro de la estadística. Donde la mayor proporción de las entregas toman un tiempo entre 3 y 14 minutos, seguidos por tiempos entre 14 y 25 minutos.

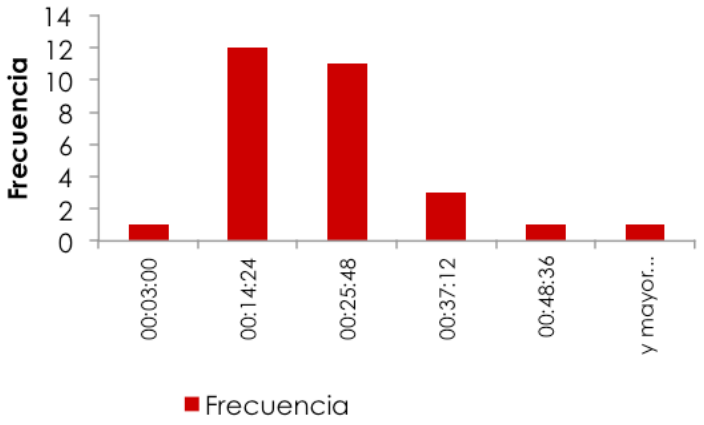


FIGURA 5

Distribución de los tiempos de entregas y recogida de mercancía en el centro histórico de Santiago de Chile.

De estas actividades el 86% corresponden a actividades de entrega de mercancía y el restante corresponde a actividades de recolección de mercancía, y los principales vehículos identificados para el transporte de la mercancía corresponden a camiones rígidos con capacidades entre 2 y 5 toneladas y camionetas van.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La actual investigación sobre la estructura de la logística urbana del centro histórico de Santiago ha generado algunos resultados preliminares, que permiten definir la configuración general del abastecimiento del centro histórico y urbano. Donde una gran parte del abastecimiento se da por la llegada de vehículos a vías habilitadas para carga y descarga de mercancía, desde allí se desarrolla toda la distribución por medio de carros manuales de carga.

El flujo vehicular identificado en el área es de 829 vehículos por hora, el cual se encuentra por encima del valor promedio identificado para la región con un valor de 493 vehículos por hora reportado para el 2013 (Área Soluciones de movilidad, 2013). Adicionalmente con el elevado flujo peatonal (9127 personas por hora en los puntos más densos). Las propuestas en logística urbana pueden generar beneficios tanto al sector público, como a cada uno de los establecimientos comerciales existentes.

Aunque los tiempos de entrega de mercancía presentan valores entre 14 y 25 minutos, los cuales se podría creer que no son altos, en una gran cantidad de ocasiones se observó, un tiempo de espera para la autorización de la entrega de la mercancía con tiempo similares, por lo cual se debe indagar en los establecimientos para identificar las causas de este tiempo de espera, en busca de desarrollar entregas de mercancía más efectivas.

De esta manera, la estructura de distribución da pie a una variedad de oportunidades para la construcción de propuestas de mejora en la distribución y primordialmente el abastecimiento. En este sentido ya existen propuestas para la localización de las bahías de carga y descarga (Cuevas de la Fuente, 2016), en este estudio se llegó a 2 propuestas, una asociada a la localización de una bahía por cuadra y otra que define 137 bahías en 29 cuadras; lo cual contrastándolo con la estructura observada es más factible la concentración de las bahías en pocas cuadras, de las cuales ya existen algunas de ellas operando como lo son las calles moneda y agustinas.

En el análisis de los puntos de carga y descarga, también es posible evaluar otros casos que se adaptan a la estructura de movilidad de Santiago de Chile, como el propuesto por Cepolina (2015), donde se identifican puntos de descarga y desconsolidación de la mercancía, para posteriormente desarrollar un ruteo de vehículos y finalmente ir a unos puntos de carga, todo enlazado con una propuesta de red de vías habilitadas para el transporte de carga. Esta es una propuesta que se puede analizar desde herramientas de modelamiento y simulación, para identificar la mejor manera de implementación, que no se contraponga al flujo de transporte público y se armonice con el plan integral de movilidad (Ilustre Municipalidad de Santiago, 2015), donde se da prioridad a los peatones, bicicletas y transporte público.

En el caso de la interacción de los distintos flujos de transporte con el transporte de carga, identificado en el plan integral de movilidad (2015), donde actualmente, el centro histórico de Santiago de Chile presenta un alto flujo de autos particulares y taxis, compitiendo por el uso de vías y espacios para el estacionamiento, se puede presentar el caso de Cruising for parking, en el cual los vehículos llegan al lugar deseado, sin

embargo ellos deben buscar un lugar para estacionarse (Shoup, 2006). Inclusive este fenómeno se puede presentar por la competencia por los espacios para carga y descarga sobre las vías, por los vehículos de transporte de carga.

Un buen punto de partida, para analizar los estudios propuestos y su sincronización con la reglamentación, es a través de otras experiencias reportadas en centros históricos como lo son la de La Rochelle, Estrasburgo y Málaga entre otros, en los cuales se han diseñado centros de distribución urbanos y algunos de ellos distribuyen posteriormente con vehículos eléctricos, o también las propuestas de peajes urbanos como el caso de Milán (Antún, 2013)

Superado el nivel de armonización de las estructura pública y legislativa, es posible el desarrollo de propuestas a un nivel más bajo, el cual se puede dar con la identificación de los sectores comerciales, y resaltando la importancia que presentan el sector de alimentos en el área, es adecuado evaluar la ubicación y necesidades de la competencia en busca de sinergias (Marzá, 2009), esto puede traer ventajas con la mejora de la eficiencia en la utilización de los vehículos, al poder abastecer varios establecimientos del mismo sector con el mismo vehículo. El desarrollo de propuestas a nivel organizacional, genera una variedad de herramientas a utilizar para el mejoramiento de la logística de distribución, como la construcción de modelos de ruteo de varios escalones (Perboli, 2011), el diseño de la operación de plataformas de distribución urbanas (Dondo, 2011) y el mismo diseño de las plataformas logísticas.

CONCLUSIONES

A través del diagnóstico, se ha logrado identificar una estructura de abastecimiento basada en camiones con capacidades de 1 a 5 toneladas y van de carga, los cuales llegan a unas bahías disponibles en unas pocas calles, a partir del lugar de estacionamiento, se lleva una distribución principalmente por medio de carros manuales de carga.

El diseño de las propuestas de logística urbana para el centro histórico de Santiago de Chile, deben partir de la identificación de la dinámica propia del centro, donde se encuentran varias actividades de banca y comercio; justificando el alto flujo peatonal y la gran cantidad de establecimientos de alimentos como restaurantes y café.

Ante la complejidad del abastecimiento en el centro histórico, dada por la convergencia de una diversidad de establecimientos de comercio, como lo son tiendas de alimentos, ropa, tecnología, ópticas entre otros. Se generan una gran cantidad de posibilidades para el desarrollo de propuestas de mejoramiento para el abastecimiento que se encuentren en equilibrio con la dinámica propia del centro urbano e histórico de Santiago de Chile.

Desde la universidad existe una oportunidad para impactar en su entorno inmediato, al tener las herramientas y el personal para el desarrollo de las mismas para mejorar la estructura de abastecimiento del centro de Santiago de Chile. Las propuestas pueden desarrollarse desde dos frentes, impacto a nivel de organización pública o impacto en las organizaciones comerciales existentes.

REFERENCIAS

Antún, J. P. (2013). Distribución urbana de mercancías: Estrategias con centros logísticos. Inter-American Development Bank., 1 - 146.

Área Soluciones de movilidad. (Octubre de 2013). Mediciones de aforos de tráfico y perfiles de carga en servicios troncales en el gran Santiago. Santiago de Chile, Chile: Ingeniería DICTUC.

Camargo Cuevas , W. M., & Forero Mayorga, C. A. (2016). Escenarios Prospectivos del Sistema de Estacionamientos en un Kilómetro Cuadrado del Centro de Bogotá mediante Modelamiento Matemático. Bogotá, Colombia: Universidad Central de Bogotá.

Carrión. M., F. (2000). Lugares o flujos centrales: los centros históricos urbanos. Santiago de Chile: CEPAL.

Cepolina, E. M. (2015). A new urban freight distribution scheme and an optimization methodology for reducing its overall cost. European Transport Research Review, 7(1), 1-14.

Cuevas de la Fuente, M. A. (2016). Método de localización de bahías de carga y descarga: aplicación al plan integral de movilidad de Santiago centro. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Catolica De Chile, Escuela de Ingeniería.

Google Maps. (2017). Mapa Santiago Centro. Recuperado el Abril de 2017, de https://www.google.cl/maps/place/Santiago,+Regi%C3%B3n+Metropolitana/@-33.4523978,-70.6632951,15z/data=!4m5!3m4!1s0x9662d0069af23abb:0x879d59f409ed4897!8m2!3d-33.4378305!4d-70.6504492!5m1!1e1

Ilustre Municipalidad de Santiago. (2015). Plan Integral de Movilidad. Santiago de Chile. Obtenido de http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0697639.pdf

Marzá, G. S. (2009). Metodología para la definición de un sistema logístico que trate de lograr una distribución urbana de mercancías eficiente. Dirección y Organización, (37), 60-66.

Merchán, D. B. (2015). Urban metrics for urban logistics: building an atlas for urban freight policy makers. In 14th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, Cambridge., 140 (1-22).

MIT. (2013). Last Mile. (Massachusetts Institute of Technology) Recuperado el 02 de Abril de 2017, de http://lastmile.mit.edu/about

Municipalidad de Santiago - Secretaria Municipal. (9 de Julio de 2013). Decreto Municipal N° 1476/2013. Santiago de Chile, Chile.

Shoup, D. C. (2006). Cruising for parking. Transport Policy, 13(6), 479-486.

AGRADECIMIENTOS

Dirección de la Escuela de Industrias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile. Los estudiantes Ribba Cesar, Pozo, Cristian, Cea, Marcelo, González Nicolás, González Sebastián, Hernández Claudia, Osorio Loreto, Huerta Lía.

MODELO DE GESTIÓN MULTICRITERIO

Liliana García, *Constructor Civil, Magister de la Construcción*

RESUMEN

En este trabajo se desarrolla un modelo de gestión para las empresas inmobiliarias, que permite analizar su desempeño periodo a periodo bajo un esquema de mejora continua, el cual puede ser aplicado por las empresas independientemente de su tamaño. El modelo en cuestión ha sido generado con los juicios de valor de especialistas en gestión inmobiliaria de empresas chilenas, a través del uso de la metodología de análisis jerárquico de proyectos. El método de Análisis Jerárquico de Proyectos (AHP), utilizado para determinar las prioridades de cada elemento de evaluación, ha permitido establecer valores precisos, consistentes y consecuentes de medición del desempeño de la gestión en el negocio inmobiliario. El proceso de desglose de los objetivos en criterios agrupados bajo un esquema estructurado con 26 variables, posibilita disponer de un cuadro de mando integrado, que devela los aspectos más significativos para el negocio inmobiliario, de los cuales 9 explican cerca del 70% del índice de gestión de desempeño. Destacando una preocupación equilibrada entre rentabilidad, crecimiento y estabilidad, lo cual muestra que las empresas tienen como objetivo su permanencia en el mercado y no sólo rentabilizar una inversión. De igual forma el modelo muestra una significativa preocupación por los clientes externos de la empresa y también al cliente interno, ya que, manteniendo satisfecha a las personas, se logra una mayor productividad y el logro de los objetivos de las empresas.

Palabras Claves: *Gestión inmobiliaria / Evaluación de Desempeño*

ABSTRACT

The development of this work is a management model of real states companies that allows analyze its performance in a time control period under a continuous improvement scheme, this model could be applied in all types of companies regardless of its size. This management model has been generated with value judgment of Chilean specialist in real states companies, through a project hierarchical analyze method. The Project Hierarchical Analyze method (AHP), used to evaluate the priority of each evaluation element, has allowed to establish precise, consistent and consequence values for measuring the development of real states management business. The process of target breakdown into grouped criteria under a structured scheme of 26 variables, allows to construct an integrated control panel, showing the most relevant indicators for the real states business, of which 9 can explain near 70% of the key performance indicators. Highlighting a balanced concern among profitability, growth and stability, which shows that companies aim their stay in the market and not just a return on investment . Similarly the model shows a significant concern for the external customers of the company and also the internal customer, since keeping people happy, higher productivity and achieving the objectives of the companies is achieved.

Keywords: *Real estate management / Performance evaluation*

INTRODUCCIÓN

La Industria de la construcción está formada por diversos actores, entre los cuales las empresas inmobiliarias constituyen un agente primordial en el mercado de la edificación habitacional, estas empresas son las gestoras y desarrolladoras de proyectos de edificación.

El negocio inmobiliario, se fundamenta en el desarrollo de proyectos de viviendas que sean capaces de satisfacer las necesidades confort, calidad y costo que espera el grupo socioeconómico al cual están orientadas las unidades habitacionales, en un mercado cada vez más informado, con opinión propia y rápido acceso a los medios de comunicación. Las principales actividades de las inmobiliarias comprenden:

Plan De Negocio Y Financiamiento

El plan de negocio tiene como objetivo desarrollar proyecto, analizando el marketing y benchmarking, riesgos, contingencias y oportunidades, fortalezas, debilidades y amenazas, los recursos a emplear (financieros, jurídicos, legales, humanos, tecnológicos, etc.), alcances, costos y utilidades. Identificar las fuentes de financiamiento para el desarrollo del proyecto inmobiliario, recursos propios del desarrollador, aportes de capital de inversionistas y créditos directos, tasas de interés, garantías. Todo para establecer la viabilidad y factibilidad del proyecto

Compra o Aseguramiento De La Propiedad

La compra o aseguramiento del inmueble resulta trascendental, comprende; el evalúo de la propiedad, verificar que no tenga de gravámenes ni hipotecas, efectuar la escrituración y la gestión de trámites.

Diseño, Planeación y Organización del Desarrollo

Incluye el diseño arquitectónico, ingenierías, consultores, contratistas, servicios legales y contables, estudios, presupuestos, programas, manuales, políticas y procedimientos; así como la planeación de obra, procesos constructivos y adquisición de recursos.

Estudios y Permisos

Realizar y gestionar los estudios, permisos y documentación que requieran las autoridades gubernamentales para la realización del desarrollo inmobiliario.

Construcción

Supervisar los procesos constructivos del desarrollo inmobiliario

Mercadotecnia inmobiliaria

Desarrollar estrategias de comercialización y difusión de acuerdo a las necesidades o deseos existentes en el mercado inmobiliario, objetivos, pronósticos y presupuesto. Publicidad, relaciones públicas y promociones en sitio.

Comercialización: Venta / Renta y Administración

Efectuar la promoción y venta del desarrollo inmobiliario. Una de las acciones efectuadas es el Marketing, para identificar las necesidades del público, para crear estimular y desarrollar la demanda.

Aunque, cada desarrollo inmobiliario es único, para garantizar el éxito del desarrollo y asegurar la rentabilidad de los inversionistas, así como el prestigio y la imagen de la empresa, se deben tener presente las acciones indicadas. La Figura 1 muestra esquemáticamente el proceso del negocio inmobiliario.

La gestión del desempeño de las empresas inmobiliarias, guarda directa relación con medir la eficiencia con la cual una la empresa inmobiliaria en cuestión, desarrolla sus funciones para el logro de sus objetivos. En el presente documento, se desarrolla un modelo de gestión, basado en el método multicriterio Análisis Jerárquico de Proyectos, para que cada empresa vaya evaluando su desempeño en el tiempo.

MODELO JERÁRQUICO DE GESTIÓN DEL DESEMPEÑO INMOBILIARIO

Los modelos multicriterios jerárquicos, tienen asociados tres conceptos que permiten definir el desarrollo del mismo:

Construcción de Jerarquías

Las jerarquías en el modelo, son la estructura de criterios que se descomponen desde la misión de la empresa, para estos efectos puede ser recomendable emplear los métodos de desglose de proyectos (WBS), lo que facilita la generación de estructura piramidal de las jerarquías, mantenido los principios básicos del desglose de proyectos (de lo general a lo particular y que en cada nivel debe estar presente el proyecto completo).

En este caso el objetivo es medir el desempeño de las empresas inmobiliarias, el cual fue desglosado con la colaboración activa de gerentes de empresas inmobiliarias, en cuatro criterios fundamentales:

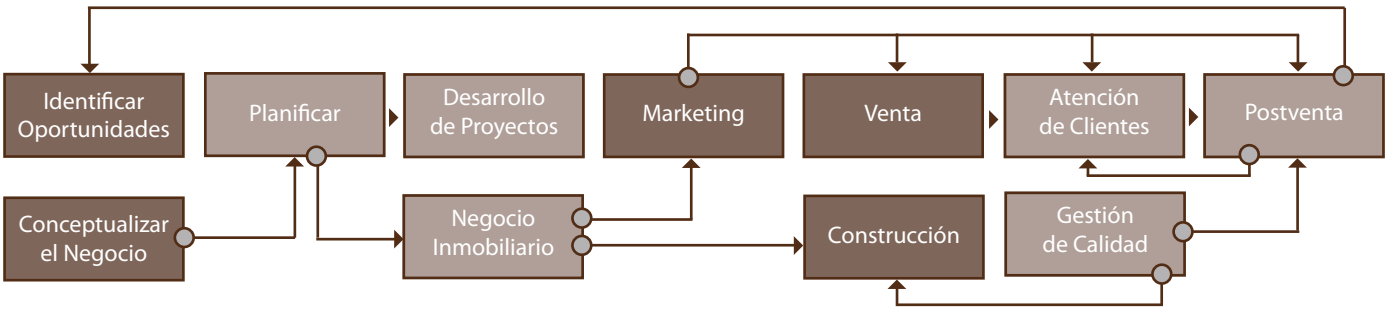


FIGURA 1

Diagrama del proceso del Negocio Inmobiliario

Primer nivel

- Finanzas
- Clientes
- Proceso de negocio
- Aprendizaje y crecimiento

cada uno de estos criterios, fueron divididos a su vez:

Segundo nivel

- Finanzas
  - → Rentabilidad
  - → Crecimiento
  - → Estabilidad
  - → Liquidez
- Clientes
  - → Satisfacción cliente externo
  - → Satisfacción cliente interno
  - → Cuota de mercado
- Proceso de negocio
  - → Desarrollo de nuevos negocios
  - → Competencias tecnológicas
  - → Eficiencia operacional
  - → Medio ambiente
- Aprendizaje y crecimiento
  - → Apacitación interna
  - → Calidad

Tercer Nivel

- Rentabilidad
  - → Ingreso Neto Actual
  - → Relación Costo Venta
  - → Ingresos Ordinarios
- Crecimiento
  - → Ventas Nacionales
  - → Ventas en el Extranjero
- Estabilidad
  - → Nivel de Endeudamiento
  - → Recepción de Efectivo
- Liquidez
  - → Facturación Total de Activos
- Satisfacción Cliente Externo
  - → Premios a Clientes
  - → Satisfacción Clientes
  - → Imagen de la Empresa
- Satisfacción Cliente Interno
  - → Tasa de Rotación de Empleados
  - → Amiente de Trabajo y Fomento Cultura Organizacional
- Cuota de Mercado
  - → Participación Nacional
  - → Participación en el Extranjero
- Desarrollo de Nuevos Negocios
  - → Inversión para el Desarrollo de Nuevos Negocios
  - → Eficacia del Costo en Desarrollo de Nuevas Tecnologías
- Competencias Tecnológicas
  - → Incorporación de Avances Tecnológicos en proyecto
  - → Uso de tic para Publicidad y Ventas
- Eficiencia Operacional
  - → Gasto en Publicidad y Ventas
  - → Costo Post Venta
- Medio Ambiente
  - → Declaración de Misión
- Capacitación Interna
  - → Nivel Profesional
  - → Capacitación
  - → Productividad Empleados
- Calidad
  - → Sistema de Aseguramiento de la Calidad

Establecimiento de Prioridades

Para determinar las prioridades, se deben comparar de a pares los criterios de un mismo nivel que tengan un criterio común en el nivel superior.

El primer paso es determinar las ponderaciones del primer nivel, a través de encuestas estructuradas a especialistas en el negocio inmobiliario de diferentes empresas. El valor de preferencia para esta comparación, se efectuar de acuerdo a la escala de prioridades de Saaty. El valor de la preferencia, será mayor, igual o inferior dependiendo de cuál de los dos criterios sea más importante para el logro de la meta.

El método jerárquico permite realizar mediciones de factores tanto subjetivos como objetivos, a partir de estimaciones numéricas, semánticas o gráficas, que evalúa la importancia relativa que la unidad decisora otorga a cada criterio. El hecho de tener definida una escala general, aplicable a cualquier situación, permite universalidad del método y lo hace sencillo

Criterio 1er Nivel	Criterio 2do Nivel	Criterio 3er Nivel
Finanzas	Rentabilidad	Ingreso Neto Actual Relación de Costo Venta Ingresos Ordinarios
	Crecimiento	Ventas Nacionales Ventas en el Extranjero
	Estabilidad	Nivel de Endeudamiento Recepción de Efectivo
	Liquidez	Facturación Total de Activos
Clientes	Satisfacción del Cliente Externo	Premios a Clientes Satisfacción Clientes Imagen de la Empresa
	Satisfacción del Cliente Interno	Tasa de Rotación de Empleados Ambiente de trabajo y Cultura Organizacional
	Cuota del Mercado	Participación Nacional Participación en el Extranjero
Proceso de Negocio	Desarrollo de Nuevos Negocio	Inversión para el Desarrollo de Nuevos Negocios Eficacia del Costo en Desarrollo en nuevas Tecnologas
	Competencias Tecnológicas	Incorporación de anaces Tecnológicos en Proyectos Uso de TIC para Publicidad y Ventas
	Eficiencia Operacional	Gasto en Publicidad y Ventas Costo Post Venta
	Medio Ambiente	Declaración de Misión
Aprendizaje y Crecimiento	Capacitación Interna	Nivel Profesional Capacitación Productividad Empleados
	Calidad	Sistema de Aseguramiento de la Calidad

TABLA 1

Diagrama Jerárquico Gestión de Desempeño Inmobiliario.

de aplicar para quien toma la decisión, simplificando de esta forma el problema clave de cómo se puede asignar un valor numérico a cada criterio del modo más ajustado posible. Además, la escala es clara y provee una gran amplitud para las comparaciones.

En la Tabla 2 de la Escala Fundamental de Saaty, se observa la ausencia de los valores 2, 4, 6 y 8, ya que estos valores, no muestran con claridad la preferencia entre los factores, y lo que se está buscando es establecer las importancias relativas.

La comparación de a pares entre los criterios, permite construir una matriz de preferencia para los criterios de primer nivel, y tantas matrices para los criterios de segundo nivel como criterios estén contempladas en el primer nivel. La cantidad de matrices para el tercer nivel corresponde al número de criterios de segundo nivel. La Tabla 3 muestra las preferencias para el primer nivel de uno de los gerentes inmobiliarios entrevistados.

En la matriz, la diagonal principal muestra que cada criterio tiene igual preferencia con sí mismo, El sector superior señala la

Escala	Escala Verbal	Explicación
1	Igual Importancia	Dos actividades contribuyen de igual forma al cumplimiento del objetivo.
3	Importancia Moderada de un elemento sobre otro	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra.
5	Importancia Fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es fuertemente favorecido.
7	Importancia Muy Fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es muy dominante.
9	Extrema Importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es favorecido por al menos un orden de magnitud de diferencia.

TABLA 2

Escala Fundamental de Saaty.

Encuestado				
Criterio 1er Nivel	Finanzas	Clientes	Proceso de Negocio	Aprendizaje y Crecimiento
Finanzas	1	3	4	15
Cliente	1/3	1	3	5
Proceso de Negocio	1/4	1/3	1	4
Aprendizaje y Crecimiento	1/15	1/5	1/4	1

TABLA 3

Matriz encuesta, Criterio 1er Nivel

preferencia que tiene un criterio fila con respecto a los criterios que están en cada columna. En el sector inferior se colocan los respectivos inversos de las preferencias del sector superior.

Del diagrama Jerárquico que muestra la Tabla 1, se puede establecer la existencia de 1 matriz para el 1er nivel, 4 matrices en el 2do nivel y 10 matrices en el 3er nivel. Si bien en el 2do nivel existen 13 criterios, sólo 10 de ellos se desglosan en dos o más criterios en 3er nivel.

Una vez obtenidos las preferencias de los criterios de 1er, 2do y 3er nivel, se procede a construir las matrices unificadas, para lo cual se integran los juicios de los expertos (gerentes inmobiliarios) a través de la media geométrica. De acuerdo a la siguiente expresión se determinó los valores de la matriz unificada.

$$A_{ij} = \sqrt[n]{\prod_{1}^{n} a_{ij}^{n}} \quad (1)$$

Dónde:

A_{ij}: Es el resultado de la integración de los juicios para el par de criterios.

a^n_{ij} : Es el juicio de los involucrados para el par de criterios.

n=1,2,…,n. Corresponde al número de personas involucradas que expresan sus juicos sobre los criterios.

Consistencia lógica

El método AHP mide la consistencia global de los juicios a través de la proporción de consistencia, que resulta de la relación entre el Índice de Consistencia y el índice Aleatorio. Se entiende por Índice de Consistencia a la desviación de consistencia de la matriz de comparaciones de pares y el Índice Aleatorio es el índice de consistencia de una matriz reciproca aleatoria, con recíprocos forzados, del mismo rango de escala de 1 hasta 9.

El Índice de Consistencia (CI) se calcula de la siguiente forma:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Dónde:

λ_{max} corresponde al máximo valor propio de la matriz de comparaciones de a pares y n corresponde al rango.

Para calcular λ_{max} se utiliza una relación definida por Saaty que facilita el problema de resolver una ecuación más compleja de valores propios.

$$\lambda_{max} = V * B \quad (3)$$

Dónde:

V: es el vector de prioridades o vectores propios que se obtiene de la matriz de comparaciones.

B: es una matriz fila que corresponde a la suma de los elementos de cada columna de la matriz de comparaciones. Su orden es m x 1, donde m es el número de columnas de la matriz de comparaciones.

El Índice Aleatorio (RI) se determina por medio de una tabla elaborada por Saaty que depende del tamaño de la matriz de comparaciones.

Tamaño de la Matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Indice Aleatorio	0,00	0,58	0,89	1,12	1,24	1,32	1,42	1,45	1,49

Finalmente, se determina la Relación de Consistencia (RC) como:

$$RC = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

El valor de esta proporción de consistencia no debe superar el 10% para validar las evaluaciones. Este valor depende también de la dimensión de la matriz de comparaciones.
Las evaluaciones de a pares deberán realizarse nuevamente en caso de que la inconsistencia este por sobre el 10%.

RESULTADOS DEL MODELO DE GESTIÓN DEL DESEMPEÑO INMOBILIARIO

Una vez definida la estructura del modelo de gestión de desempeño de las empresas inmobiliarias y el procedimiento de análisis de los juicios de preferencias de los expertos entrevistados, se procede a construir las matrices unificadas correspondientes a los tres niveles de los criterios, lo que entregó los siguientes resultados:

TABLA 4
Matriz Unificada Criterio 1er Nivel

Criterio de 1er nivel	Finanzas	Cliente	Proceso	Aprendizaje	Suma
Finanzas	1,0000	3,0000	4,0000	4,6416	12,6416
Cliente	0,3333	1,0000	3,0000	5,0000	9,3333
Proceso	0,2500	0,3333	1,0000	3,3019	4,8853
Aprendizaje	0,2154	0,2000	1,3029	1,0000	1,7183
Suma	**1,7988**	**4,5333**	**8,3029**	**13,9435**	**28,5785**

En las matrices se incorpora la suma de las preferencias, tanto en columnas como en filas, con el objetivo de facilitar el cálculo de las respectivas matrices transformadas unitarias, importancia relativa de los criterios y la determinación de la consistencia.

TABLA 5
Matriz Unificada Criterio 2do Nivel, Finanzas

Criterio Finanzas	Rentabilidad	Crecimiento	Estabilidad	Liquidez	Suma
Rentabilidad	1,0000	2,2894	3,6342	5,0000	11,9237
Crecimiento	0,4368	1,0000	3,3019	4,6416	9,3803
Estabilidad	0,2752	0,3029	1,0000	4,6416	6,2196
Liquidez	0,2000	0,2154	0,2154	1,0000	1,6309
Suma	**1,9120**	**3,8077**	**8,1516**	**15,2832**	**29,1545**

TABLA 6
Matriz Unificada Criterio 2do Nivel, Cliente

Criterio Cliente	Satisfacción Cliente Externo	Satisfacción Cliente Interno	Cuota del Mercado	Suma
Satisfacción Cliente Externo	1,0000	3,3019	5,0000	9,3019
Satisfacción Cliente Interno	0,3029	1,0000	3,6342	4,9371
Cuota del Mercado	0,2000	0,2752	1,0000	1,4752
Suma	**1,5029**	**4,5771**	**9,6342**	**15,7142**

TABLA 7
Matriz Unificada Criterio 2do Nivel, Proceso de Negocio

Criterio Proceso de Negocio	Inversión Des. Nuevos Negocios	Competencias Tecnologicas	Eficiencia operacional	Medio ambiente	Suma
Inversión Des. Nuevos Negocios	1,0000	4,6416	3,3019	5,0000	13,9435
Competencias Tecnologicas	0,2154	1,0000	1,5874	4,0000	6,8028
Eficiencia operacional	0,3029	0,6300	1,0000	4,6416	6,5744
Medio ambiente	0,2000	0,2500	0,2154	1,0000	1,6654
Suma	**1,7183**	**6,5215**	**6,1048**	**14,6416**	**28,9862**

TABLA 8
Matriz Unificada Criterio 2do Nivel, Aprendizaje y Crecimiento

Criterio Aprendizaje y Desarrollo	Capacitación Interna	Calidad	Suma
Capacitación Interna	1,0000	5,0000	6,0000
Calidad	0,2000	1,0000	1,2000
Suma	1,2000	6,0000	7,2000

TABLA 9
Matriz Unificada Criterio 3er Nivel, Rentabilidad

Criterio Rentabilidad	Ingreso Neto Actual ROI	Relación Costo Venta	Ingresos Ordinar	Suma
Ingreso Neto Actual ROI	1,0000	4,3089	4,3089	9,6177
Relación Costo Venta	0,2321	1,0000	2,2894	3,5215
Ingresos Ordinar	0,2321	0,4368	1,0000	1,6689
Suma	**1,4642**	**5,7457**	**7,5983**	**14,8081**

TABLA 10
Matriz Unificada Criterio 3er Nivel, Crecimiento

Criterio Crecimiento	Ventas Nacionales	Ventas en el Extranjero	Suma
Ventas Nacionales	1,0000	2,0000	3,0000
Ventas en el Extranjero	0,5000	1,0000	1,5000
Suma	1,5000	3,0000	4,5000

TABLA 11
Matriz Unificada Criterio 3er Nivel, Estabilidad

Criterio Estabilidad	Nivel de Endeudamiento	Recepción de efectivo	Suma
Nivel de Endeudamiento	1,0000	3,3019	4,3019
Cambio destino Recep. Efctivo	0,3029	1,0000	1,3029
Suma	1,3029	4,3019	5,6048

TABLA 12
Matriz Unificada Criterio 3er Nivel, Cliente Externo

Criterio Cliente Externo	Premios	Satisfacción	Imagen Empresa	Suma
Premios	1,0000	2,6207	4,2172	7,8379
Satisfacción	0,3816	1,0000	3,9149	5,2964
Imagen Empresa	0,2371	0,2554	1,0000	1,4926
Suma	**1,6187**	**3,8762**	**9,1320**	**14,6269**

TABLA 13
Matriz Unificada Criterio 3er Nivel, Cliente Interno

Criterio Cliente Interno	Tasa Rotación de Empleados	Ambiente de trabajo y cultura organizacional	Suma
Tasa Rotación de Empleados	1,0000	3,9149	4,9149
Ambiente de trabajo y cultura organizacional	0,2554	1,0000	1,2554
Suma	1,2554	4,9149	6,1703

TABLA 14
Matriz Unificada Criterio 3er Nivel, Cuota del Mercado

Criterio Cuota de Mercado	Participación Nacional	Participación en el Extranjero	Suma
Participación Nacional	1,0000	2,7144	3,7144
Participación en el Extranjero	0,3684	1,0000	1,3684
Suma	1,3684	3,7144	5,0828

TABLA 15
Matriz Unificada Criterio 3er Nivel, Desarrollo de Nuevos Negocios

Criterio Cuota de Nuevos Negocios	Inversión para el desarrollo de nuevos negocios	Eficacia del costo en desarrollo de nuevas tecnologías	Suma
Inversión para el desarrollo de nuevos negocios	1,0000	4,6416	5,6416
Eficacia del costo en desarrollo de nuevas tecnologías	0,2154	1,0000	1,2154
Suma	1,2154	5,6416	6,8570

TABLA 16
Matriz Unificada Criterio 3er Nivel, Competencias Tecnológicas

Criterio Competencias Tecnológicas	Incorporación de Avances Tecnológicos en Proyectos	Uso de TIC para Publicidad y Ventas	Suma
Incorporación de Avances Tecnológicos en Proyectos	1,0000	4,0000	5,0000
Uso de TIC para Publicidad y Ventas	0,2500	1,0000	1,2500
Suma	1,2500	5,0000	6,2500

TABLA 17
Matriz Unificada Criterio 3er Nivel, Eficiencia Operacional

Criterio Eficiencia Operacional	Gasto ventas y Publicidad	Ambiente de trabajo y cultura organizacional	Suma
Gasto ventas y Publicidad	1,0000	3,9149	4,9149
Costos de Post ventas	0,2554	1,0000	1,2554
Suma	1,2554	4,9149	6,1703

TABLA 18
Matriz Unificada Criterio 3er Nivel, Capacitación Interna

Criterio Capacitación Interna	Nivel Profesional	Capacitación	Productividad Empleados	Suma
Nivel Profesional	1,0000	2,2894	3,6342	6,9237
Capacitación	0,4368	1,0000	3,6342	5,0710
Productividad Empleados	0,2752	0,2752	1,0000	1,5503
Suma	**1,7120**	**3,5646**	**8,2685**	**13,5450**

La consistencia de los juicios emitidos por los entrevistados, es determinada por las respectivas matrices transformadas unitarias, las cuales se construyen dividiendo cada elemento de una columna por la suma de la respectiva columna, en el caso de los criterios de 1er Nivel

$$AU_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sum_{J=1}^{j=N} A_{ij}} \quad (5)$$

Dónde:
AU_{ij}: Es valor unitario de la preferencia del criterio i frente al criterio j
A_{ij}: Es el resultado de la integración de los juicios para el par de criterios
j=1,2,…,N. Corresponde los criterios en las columnas de la matriz unificada.

TABLA 19
Matriz Transformada Unitaria, Criterio 1er Nivel

Criterio 1er Nivel	Finanzas	Cliente	Proceso	Aprendizaje	Suma
Finanzas	0,5559	0,6618	0,4818	0,3329	2,0323
Cliente	0,1853	0,2206	0,3613	0,3586	1,1258
Proceso	0,1390	0,0735	0,1204	0,2368	0,5698
Aprendizaje	0,1198	0,0441	0,0365	0,0717	0,2721
Suma	**1,0000**	**1,0000**	**1,0000**	**1,0000**	**4,0000**

La importancia de cada uno de los criterios de primer nivel o vector de prioridades, se calcula dividiendo la suma cada fila por la suma total, quedando:

TABLA 20
Prioridades, Criterio 1er Nivel

Criterio 1er Nivel	Vector de Prioridades	Importancia %
Finanzas	0,5081	50,81
Cliente	0,2815	28,15
Proceso	0,1424	14,24
Aprendizaje	0,0680	6,80
	1	**100**

Para calcular el máximo valor propio de la matriz, se genera en primer lugar una matriz fila de sumas ponderadas, obtenida de la multiplicación de la matriz unificada por el vector de prioridades

Finanzas	Cliente	Proceso	Aprendizaje
2,2378	1,2180	0,5878	0,2769

Las sumas ponderadas, se deben dividir por la respectiva prioridad. El máximo valor propio es el promedio de estos valores:

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{j=1}^{J=N} B_j/V_j}{N} \quad (6)$$

Dónde:
B_j: Es suma ponderada del criterio j
V_j: Es la prioridad del criterio j
j=1,2,…,N. Corresponde los criterios en las columnas de la matriz unificada.
Los resultados muestran que no existe inconsistencia en la opinión de los especialistas para los criterios de 1er nivel.

TABLA 21
Análisis de Consistencia, Criterio 1er Nivel

Finanzas	2,2378/0,5081	**4,4042**
Cliente	1,2180/0,2815	**4,3268**
Proceso	0,5878/0,1424	**4,1278**
Aprendizaje	0,2769/0,0680	**4,072**
	λmax	**4,2327**
	CI	**0,0776**
	RI	**0,89**
	RC	**0,0872**

El mismo procedimiento a análisis de consistencia se aplicó a los criterios de los 2do y 3er nivel, en ningún caso se evidencio inconsistencia, consecuentemente las prioridades establecidas se pueden usar para la gestión del desempeño de las empresas inmobiliarias.

TABLA 22
Análisis de Consistencia de los criterios del Modelo en sus diferentes Niveles

Nivel	Criterios	RC
1er nivel	Desempeño	**0,0872**
2do nivel	Finanzas	**0,0994**
	Cliente	**0,0834**
	Proceso de Negocio	**0,0970**
	Aprendizaje	**0,0000**
3er Nivel	Rentabilidad	**0,0747**
	Crecimiento	**0,0000**
	Estabilidad	**0,0000**
	Satisfacción Cliente Externo	**0,0858**
	Satisfacción Cliente Interno	**0,0000**
	Cuota de Mercado	**0,0000**
	Desarrollo de Nuevos Negocios	**0,0000**
	Competencias Tecnológicas	**0,0000**
	Eficiencia Operacional	**0,0000**
	Capacitación Interna	**0,0743**

MODELO DE GESTIÓN DEL DESEMPEÑO INMOBILIARIO

El modelo de gestión de desempeño, está formado por el modelo jerárquico de los criterios, sus prioridades relativas, las prioridades absolutas y las variables descriptivas para medir cada uno de los criterios de 3er nivel.

El modelo jerárquico o diagrama jerárquico queda definido por la tabla 1, el cual muestra que el objetivo de gestión del desempeño está estructurado en tres niveles de criterios, que van dando cuenta de los objetivos primarios a los objetivos operacionales, en un esquema de desglose que facilita medir un todo complejo como es el desempeño de una empresa a través de variables operacionales.

Las prioridades relativas de los criterios, se definen en el vector prioridades de cada una de las matrices transformadas unitarias, estas prioridades son relativas, ya que muestran las preferencias entre los criterios de un mismo objetivo.
Las prioridades absolutas, son propias de los criterios del último nivel, ellas se van formando por la multiplicación prioridades relativas de los criterios de los niveles superiores a los cuales está asociado el respectivo criterio.

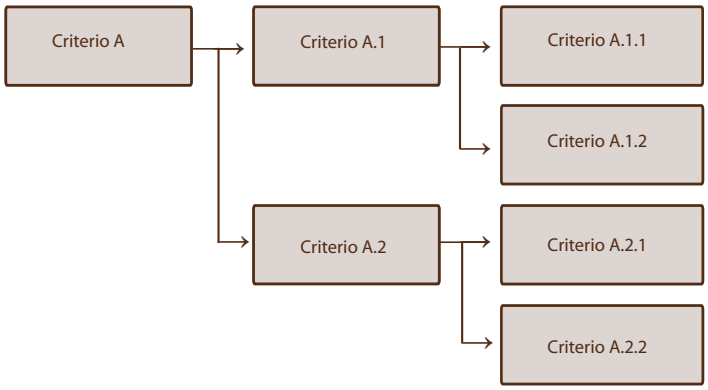


FIGURA 2

Diagrama del proceso Jerárquico

Acorde al diagrama mostrado en la figura, por ejemplo, la prioridad absoluta del criterio A.1.1 es la multiplicación de las prioridades relativas de criterio A, por la prioridad relativa del criterio A.1 y por la prioridad relativa del criterio A.1.1.

$$Pabs_{jkz} = Prel_{j} * Prel_{jk} * Prel_{jkz} \quad (7)$$

Las prioridades relativas y absolutas de los criterios del modelo de gestión de desempeño de las empresas inmobiliarias y la estructura jerárquica, se muestran en la tabla 23.

Variables descriptivas criterios 3er nivel

Acorde con el esquema de diagrama de proceso jerárquico de la figura 2, el primer digito señala el criterio de 1er nivel, el segundo digito la posición relativa del criterio de 2do nivel en el criterio de 1er nivel y el tercer digito la posición relativa del criterio de 3er nivel en el criterio de 2do nivel.

El nivel de desempeño de la empresa inmobiliaria corresponde a la suma de ponderada de la evaluación de los criterios de 3er nivel, usando como ponderador las prioridades absolutas de la tabla 23. Lo anterior requiere que cada criterio del 3er nivel sea medido en una misma escala, para estos efectos cada variable se trabaja en términos porcentuales:

A.1.1. Ingreso neto Actual
Razón porcentual entre el ingreso neto actual y los activos totales.

A.1.2. Relación de Costo Venta
Razónporcentualentre el costo de las ventas y los ingresos por ventas.

A.1.3. Ingresos Ordinarios
Razónporcentualentre la utilidad de operación con la deducción de los ingresos fuera de la explotación y la pérdida.

A.2.1 Ventas Nacionales
Razónporcentualentre las ventas nacionales actuales y las ventas promedio de los últimos 3 años.

A.2.2 Ventas en el Extranjero
Razónporcentual entre las Ventas actuales en el extranjero y las ventas promedio de los últimos 3 años.

A.3.1 Nivel de endeudamiento
Razónporcentualentre la deuda actual y el promedio de la deuda de los últimos 3 años.

A.3.2 Recepción de efectivo
Razónporcentualentre el ingreso en efectivo real y el ingreso efectivo presupuestado.

A.4.1 Facturación total de activos
Razónporcentualentre la facturación actual y el capital total.

B.1.1 Premios a clientes
Razónporcentualentre los premios reales a clientes actuales y promedio de los premios reales a clientes de los últimos 3 años.

B.1.2 Satisfacción de clientes
Satisfacción del cliente medio por encuesta al cliente en escala 0 a 100.

B.1.3 Imagen de la empresa
Imagen de la empresa en el medio, evaluada por investigación de mercado en escala 0 a 100.

B.2.1 Tasa de rotación de empleados
Razónporcentualentre el número de empleados que permanece en la empresa en el periodo actual en relación al número total de empleados al final del periodo actual.

B.2.2 Ambiente de trabajo y fomento a la cultura organizacional
Percepción de los empleados sobre el ambiente de trabajo y cultura organizacional medido por encuesta en escala 0 a 100.

B.3.1 Participación nacional
Razónporcentualentre las Ventas Nacionales de la empresa y las ventas totales nacionales a nivel de mercado.

B.3.2 Participación en el extranjero
Razónporcentualentre las Ventas en el Extranjero de la empresa y las ventas totales en el extranjero por empresas nacionales.

C.1.1 Inversión para el desarrollo de nuevos negocios
Razónporcentualentre el costo de desarrollo de nuevos negocios y las ventas actuales.

C.1.2 Eficacia del costo en desarrollo de nuevas tecnologías
Razónporcentualentre el costo de incorporación de mejoras de calidad y el costo total.

C.2.1 Incorporación de avances tecnológicos en proyectos
Razónporcentualentre el número de proyectos con certificación y el número total de proyectos.

C.2.2 Uso de tecnologías para publicidad y ventas
Razónporcentualentre las ventas efectuadas mediante el uso de TIC y las ventas totales.

C.3.1 Gastos en ventas y publicidad
Razónporcentualentre la suma del gasto de las ventas actuales y de administración versus las ventas actuales.

C.3.2 Costo post venta
Razón porcentual entre el costo de post venta y las ventas actuales.

C.4.1 Declaración-misión
Porcentaje de clientes que reconoce en la misión de la empresa aspectos ambientales.

D.1.1 Nivel de profesionalización
Razónporcentualentre el número de empleados con títulos de profesionales en el período actual y el número totalde empleados al final del período actual.

D.1.2 Capacitación
Razónporcentualentre el costo de capacitación y el valor de la planilla de empleados.

D.1.3 Productividad de empleados
Razónporcentualentre las ventas actuales per cápita y el costo planilla empleados per cápita.

D.2.1 Sistema de aseguramiento de la calidad
Evaluación de la existencia de sistemas de aseguramiento de la calidad, en escala 0 a 100.

Nivel de desempeño

Finalmente la evaluación del nivel de desempeño de una empresa inmobiliaria en un cierto periodo de tiempo, va a corresponder la suma ponderada de la evaluación de cada una de las 26 variables que forman el último nivel, usando como ponderador las prioridades absolutas señaladas en la tabla 23.

$$\text{Nivel de Desempeño} = \sum_{1}^{26} \text{Pabs}_j * Valor\ Variable_j \quad (8)$$

El nivel de desempeño de la empresa, es un valor que fluctúa entre 0% y 100%, lo que facilita medir el avance anual de la empresa en el logro de los objetivos y a la vez poder identificar claramente cuáles han sido las variables que más han contribuido al valor del indicador.

TABLA 23
Modelo de Gestión de Desempeño de Empresas Inmobiliarias – Prioridades

Criterio 1er Nivel	Prioridad Relativa	Criterio 2do Nivel	Prioridad Relativa	Criterio 3er Nivel	Prioridad Relativa	Prioridad Absoluta
Finanzas	50,81%	Rentabilidad	47,43%	Ingreso neto actual	66,67%	**16,07%**
				Relación de costo venta	21,13%	**5,09%**
				Ingresos ordinarios	12,20%	**2,94%**
		Crecimiento	30,00%	Ventas nacionales	66,67%	**10,16%**
				Ventas en el extranjero	33,33%	**5,08%**
		Estabilidad	16,25%	Nivel de endeudamiento	76,75%	**6,34%**
				Recepción de efectivo	23,25%	**1,92%**
		Liquidez	6,33%	Facturación total de activos	100,00%	**3,21%**
Cliente	28,15%	Satisfacción del cliente externo	63,53%	Premios a clientes	58,52%	**10,46%**
				Satisfacción clientes	30,75%	**5,50%**
				Imagen de la empresa	10,73%	**1,92%**
		Satisfacción del cliente interna	26,57%	Tasa de rotación de empleados	79,65%	**5,96%**
				Ambiente de trabajo y cultura organizacional	20,35%	**1,52%**
		Cuota del mercado	9,90%	Participación nacional	73,08%	**2,04%**
				Participación en el extranjero	26,92%	**0,75%**
Proceso de negocios	14,24%	Desarrollo de nuevos negocio	54,40%	Inversión para el desarrollo de nuevos negocios	82,67%	**6,38%**
				Eficacia del costo en desarrollo de nuevas tecnologías	17,73%	**1,37%**
		Competencias tecnológicas	20,30%	Incorporación de avances tecnológicos en proyectos	80,00%	**2,31%**
				Uso de tic para publicidad y ventas	20,00%	**0,58%**
		Eficiencia operacional	18,84%	Gasto en publicidad y ventas	79,65%	**2,14%**
				Costo post venta	20,35%	**0,55%**
		Medio ambiente	6,46	Declaración de misión	100,00%	**0,92%**
Aprendizaje y crecimiento	6,80%	Capacitación interna	83,33%	Nivel profesional	55,53%	**3,15%**
				Capacitación	32,51%	**1,84%**
				Productividad empleados	11,96%	**0,68%**
		Calidad	16,67%	Sistema de aseguramiento de la calidad	100,00%	**1,13%**

CONCLUSIONES

Metodología usada

El procedimiento desarrollado para establecer un modelo de gestión del desempeño de las empresas inmobiliarias en Chile, permite develar los criterios que contribuyen al logro de los objetivos de las empresas. Estos criterios han sido definidos en forma jerárquica, lo cual permite recoger sistemáticamente las variables contenidas en los niveles de los diferentes criterios. El método de Análisis Jerárquico de Proyectos (AHP), que ha sido utilizado para determinar las prioridades de cada elemento de evaluación, ha permitido establecer valores precisos, consistentes y consecuentes de medición del desempeño de la gestión.

La herramienta de gestión que se ha desarrollado, constituye un elemento de trabajo para las empresas inmobiliarias para ir evaluando el nivel de logro de su gestión. El modelo puede ser aplicado, tanto por grandes empresas como por empresas pequeñas y medianas, requiriendo en todos los casos un esfuerzo de sistematización de su propia información.

Principales variables del Modelo Desarrollado

De los resultados obtenidos en el estudio, se puede apreciar que para las empresas inmobiliarias chilenas en sus objetivos básicos, finanzas es el más prioritario con un 50,81%, seguido de clientes con un 28,15 %, luego proceso de negocio con 14,24% y finalmente aprendizaje y crecimiento con 6,80%. Estos valores muestran que la estrategia de negocio está focalizando en los aspectos financieros y en el servicio al cliente.

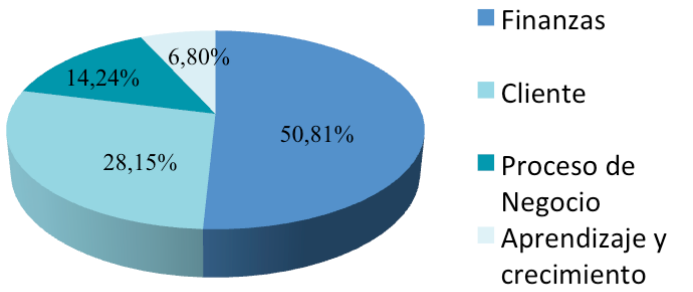


FIGURA 3

Prioridades 1er Nivel Desempeño Inmobiliario

Lo anterior se ve ratificado, en la importancia absoluta de las variables que contribuyen al desempeño inmobiliario. En el modelo propuesto, de las 26 variables finales o criterios de 3er nivel, sólo 9 de ellas explican cerca del 71% del valor del nivel de desempeño.

Se puede apreciar que entre las variables que presenta el mayor valor individual es el ingreso neto actual, seguido de premios a clientes y ventas nacionales. No obstante a nivel agregado, reconociendo el origen de las variables en el 2do nivel, se aprecia que entre estas nueve variables, Rentabilidad representa un 21,16%, Satisfacción de Clientes Externos con 15,96%, Crecimiento con 15,24%, Desarrollo de Nuevos Negocios con 6,38%, Estabilidad con 6,34 y Satisfacción a Clientes Internos con 5,96%.

TABLA 24
Variables más significativas

Variables	Ponderador
Ingreso neto actual	16,07%
Premios a clientes	10,46%
Ventas nacionales	10,16%
Inversión para el desarrollo de nuevos negocios	6,38%
Nivel de endeudamiento	6,34%
Tasa de rotación de empleados	5,96%
Satisfacción clientes	5,50%
Relación de costo venta	5,09%
Ventas en el extranjero	5,08%

Lo anterior muestra que las empresas inmobiliarias Chilenas, están considerando al cliente como su prioridad dentro de la gestión, considerando que este ponderador evalúa aspectos cualitativos más que cuantitativos, es decir, las empresas inmobiliarias han cambiado su actitud, ya que, una empresa para que sobreviva es indispensable que se comprometa con sus clientes. Al interior de finanzas, se aprecia una preocupación equilibrada entre rentabilidad, crecimiento y estabilidad, lo cual muestra que las empresas tienen como objetivo su permanencia en el mercado y no sólo rentabilizar una inversión.

También, es importante destacar que en el modelo propuesto, la satisfacción del cliente interno ocupa un valor significativo dentro de la gestión del desempeño, es decir, las empresas no solo deben priorizar al cliente externo, sino que también al cliente interno, ya que, manteniendo satisfecha a las personas, se logra una mayor productividad y el logro de los objetivos de las empresa.

REFERENCIAS

David R. Anderson, Dennis J. Sweeney, Thomas A. Williams, Jeffrey D. Camm, Kipp Martin
Métodos Cuantitativos para los Negocios.
Cengage Learning, 11ª edición.

Saaty, T.
The analytic hierarchy process.
McGraw-Hill, 7 ed. New York,.1980.

Romero, Carlos
Análisis de las decisiones Multicriterios.
Isdefe, Publicaciones de Ingeniería de Sistemas, Cuarta edición, España, 1996.

Barba-Romero, Sergio y Pomerol, Jean-Charles
Decisiones Multicriterio Fundamentos Teóricos y Utilización Práctica.
Colección de Economía; Servicio de Publicaciones, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, España, 1997.

García, Liliana y Jara, Sebastián
Adaptar un Sistema de Medición de Desempeño de la Gestión de Rendimiento de las Empresas Inmobiliarias en Santiago de Chile, a través de Modelos Multicriterio.
Tesis de Magister, Universidad Central de Chile, 2015.

USO DE DATA MINING EN LA PREDICCIÓN DE LA DESERCIÓN UNIVERSITARIA

Predicción de los factores que influyen en la deserción universitaria

Claudio Henríquez, Ingeniero Civil en Informática, Magister en Ingenieria informática

RESUMEN

Actualmente en la Facultad de Ingeniería se puede observar una alta deserción, lo cual se generaliza a nivel país respecto de la deserción de alumnos que ingresan al sistema universitario, convirtiéndose en una problemática, tanto para las instituciones académicas, el gobierno, los mismos estudiantes y sus familias. Bajo este contexto, se resumirá en este trabajo todos los proyectos que han generado algún modelo de Deserción para alguna carrera o para la misma Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

El primer estudio realizado, abordó la creación de modelos predictivos de deserción para la carrera de Ingeniería Civil en Computación e Informática (Bustamante-Morales), considerando modelos de primer año y segundo año, posteriormente surgió un análisis a nivel Facultad, considerando modelos predictivos (Hurtado) y modelos descriptivos (Ausset-González), este último enfocado principalmente al área de Ciencias Básicas. Por último, se realizó un estudio orientado a la carrera de Ingeniería Civil Industrial, utilizando un modelo econométrico y un modelo predictivo.

Por lo cual la siguiente investigación otorga una herramienta de apoyo a la toma de decisiones. En el presente estudio se aplicó minería de datos sobre la base de datos de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile, con el fin de clasificar a los estudiantes entre no desertores y posibles desertores a través de un modelo predictivo.

PALABRAS CLAVES
deserción universitaria, modelo predictivo, minería de datos.

INTRODUCCIÓN

Para las casas de Estudio de Educación Superior es fundamental lograr que sus estudiantes logren superar las barreras que se le van presentando durante el primer año y continúen estudiando hasta finalizar el plan de estudios. Aquí es donde se presenta el concepto de deserción estudiantil, se deben identificar los factores que influyen y así lograr disminuirla dentro del sistema educativo.

Para la Universidad Central de Chile, todos los estudiantes que suspenden sus estudios son posibles desertores. Para la casa de estudios, la definición de deserción es "el abandono voluntario y definitivo de los estudios, este puede ser explicado por diferentes causas, financiera, académica, vocacional, familiar, salud y servicio".

La falta de conocimiento previo sobre las variables que pueden influir en que un alumno deserte de la carrera que cursa es una de las mayores problemáticas por su complejidad de predecir, por lo tanto se hace necesario intervenir con algún tipo de mecanismo que pueda otorgar respuestas satisfactorias a las causas que provocan la deserción.

Son pocas las herramientas predictivas que pueden permitir a las universidades detectar cuáles son los estudiantes que tienen tendencia a abandonar una carrera o cambiarse a otra institución de educación superior.

Dadas las características de la problemática y la capacidad de obtención de datos asociados a los estudiantes, se pueden utilizar técnicas de minería de datos con el fin de detectar posibles desertores a partir de un modelo de deserción para la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

Debido a que la Universidad Central de Chile lleva un registro histórico de los datos de cada estudiante que ingresa, es posible conseguir esta información con el fin de obtener conocimiento útil y no trivial dentro del conjunto de datos y de esta forma crear una herramienta de ayuda para la toma de decisiones dentro de la Facultad.

CONCEPTOS Y MODELOS

La deserción universitaria es uno de los temas que más interesa a los planificadores e investigadores en educación. El establecimiento de la definición de lo considerado como deserción universitaria ha generado bastante discusión. Luis González define deserción como: "el proceso de abandono, voluntario o forzoso de la carrera en la que se matricula un estudiante, por la influencia positiva o negativa de circunstancias internas o externas a él o ella" (González, 2005).

En el año 1975, el sociólogo Vincent Tinto publicó su modelo de deserción universitaria, en el cual se incluyen distintos factores determinantes con los cuales el estudiante enfrenta sus estudios universitarios, entre ellos las metas que persigue para su educación y sus compromisos institucionales (ver Figura 1), otros investigadores proponen modelos basados en el de Tinto pero con características distintas dependiendo de cada una de las universidades en donde se ha enfocado el estudio de la deserción (Narvaez, 2013).

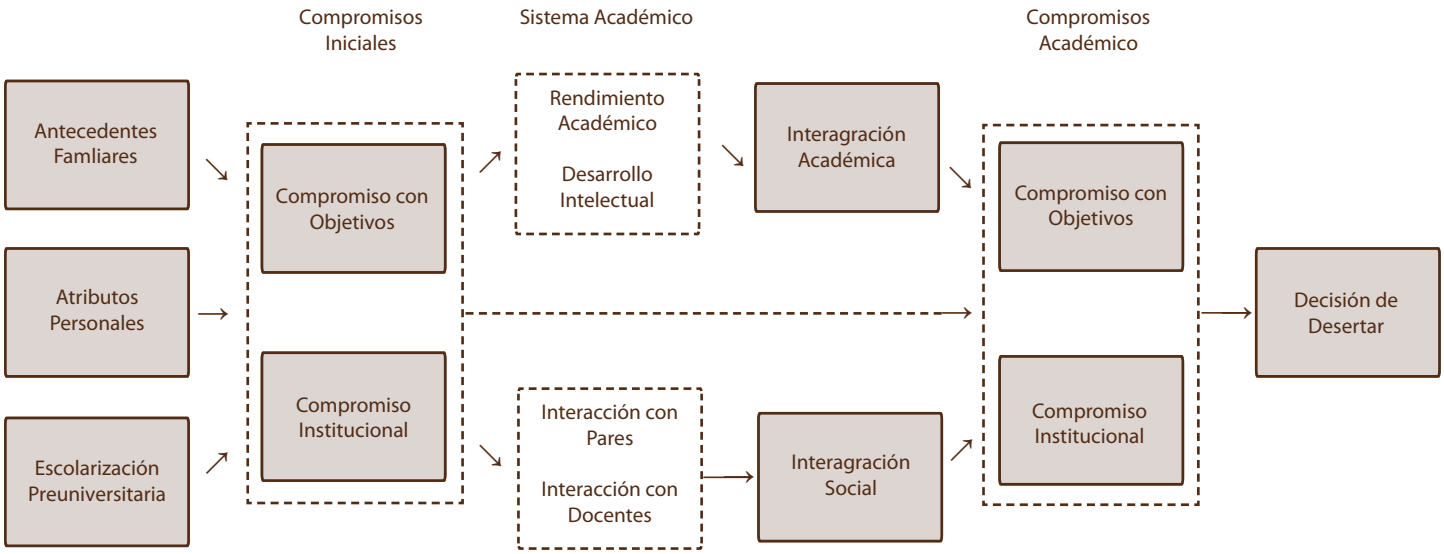


FIGURA 1

Modelo de deserción de Tinto (Narvaez, 2013)

Así como Tinto, existen otros autores que proponen modelos de deserción, tales como Ethington, Spady y Bean, centrándose este último en 4 grandes factores de relevancia, como lo son los factores académicos, factores psicosociales, factores ambientales y factores de socialización como se puede apreciar en la figura 2 (Narvaez, 2013).

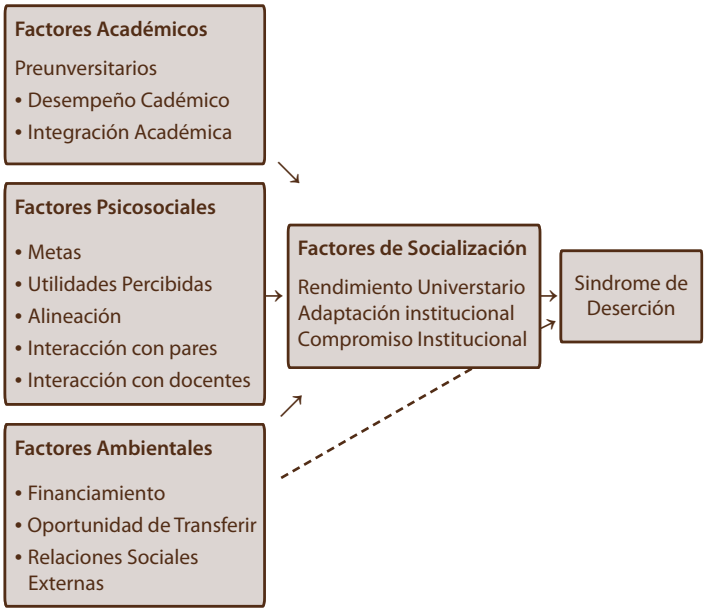


FIGURA 2

Modelo de deserción de Bean (Narvaez, 2013)

De acuerdo con el Modelo de Bean, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central se ha utilizado un esquema bastante similar, principalmente se ha utilizado Minería de Datos para el estudio de la deserción de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería, en donde el foco de la investigación se ha determinado bajo una secuencia de proyectos de título, en donde se han desarrollado modelos de deserción tanto predictivos como descriptivos, además de considerar análisis a nivel de carreras como a nivel de Facultad.

Los modelos desarrollados en la facultad se plantean en términos de factores académicos, factores ambientales y factores de socialización de acuerdo al modelo de Bean, faltando considerar factores psicosociales debido a la falta de datos al respecto, lo que a partir del modelo de tutorías de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central se intenta generar y que a través de un proyecto de título desarrollado por Caucott y Orellana pretende sistematizar la captura de estos datos.

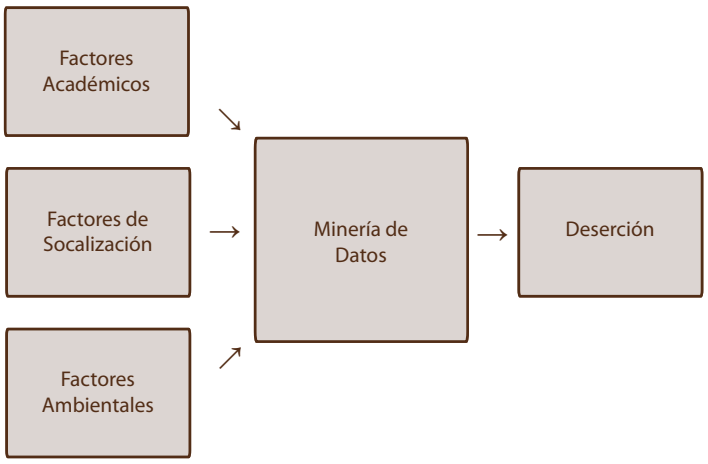


FIGURA 3

Modelo de deserción FING con Minería de Datos

Los datos obtenidos fueron otorgados por el área de Análisis Institucional de la Universidad Central de Chile y corresponden a estudiantes de la Facultad de Ingeniería desde el año 1985. Dentro de los atributos considerados en los distintos proyectos de título y acorde a los factores del modelo de deserción se tiene:

Factores Ambientales

- Domicilio de estudiante (comuna, región)
- Domicilio de colegio (comuna, región)
- Tipo de colegio
- Año Egreso Enseñanza Media

Factores Académicos

- Año ingreso a Universidad Central de Chile
- Notas PSU o PAA separadas por prueba
- Notas NEM

Factores de socialización

- Plan de Estudio
- Histórico de todas las notas finales de ramos cursados por cada estudiante
- Titulados

La minería de datos es la ciencia de extracción de conocimiento no trivial en grandes cantidades de datos, utilizando máquinas de autoaprendizaje y estadística. Para poder aplicar esta herramienta se aplica el proceso de extracción de conocimiento en bases de datos, más conocido como KDD (del inglés Knowledge Discovery in Data Base), este proceso se indica en la figura 4. Para este caso particular, los datos asociados a factores académicos, ambientales y de socialización son la entrada de este proceso, variando en algunos detalles de acuerdo al conjunto objetivo de estudiantes a analizar, que para este caso se ha realizado a la carrrera de Ingeniería Civil en Computación e informática, a la Facultad de Ingeniería y a Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería, también se tiene un estudio en proceso de la carrera de Ingeniería Civil Industrial.

Además de los distintos grupos de estudiantes objetivo, se ha considerado distintos tipos de modelo de minería de datos, ya sea un modelo predictivo (clasificación) o un modelo descriptivo.

Las fases de selección, procesamiento y transformación de datos fueron llevados a cabo a través de un proceso ETL (Extracción, Transformación y Carga) a través del software Kettle Data Integration y la fase de Minería de Datos a través del software Weka o el software Data Miner.

DESARROLLO DEL MODELO EN FING

El primer proyecto de título fue desarrollado en el año 2012 por Bustamante y Morales quienes aplicaron Minería de Datos sobre los datos de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil en Computación e Informática de la Universidad Central de Chile, desarrollando un modelo predictivo que caracterizó conductas de deserción en los estudiantes de la carrera (Bustamante y Morales, 2012).
El proceso ETL llevado a cabo con los datos se muestra en la figura

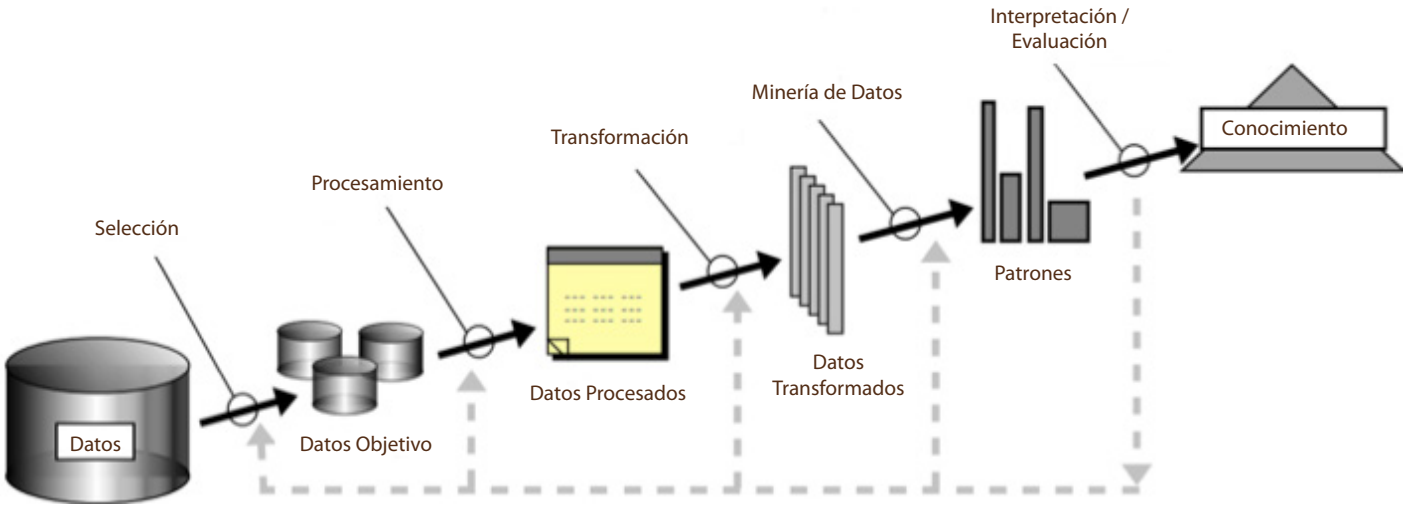


FIGURA 4
Fases del Proceso KDD

5, el cual automatiza el tratamiento de datos. Considerando la cantidad de datos, se desarrolló un modelo de deserción de primer año sobre un total de 182 estudiantes y un modelo de deserción de segundo año sobre un total de 37 estudiantes. Sobre las variables que crearon tranformaciones con el objetivo de mejorar la calidad de los datos, principalmente considerando promedios de notas por áreas o promedios acumulados, además de considerar variables de cantidad de reprobación. Dentro de los cálculos realizados están:

- **Promedio** acumulado notas de asignaturas de ciencias básicas
- **Promedio** acumulado notas de asignaturas de ingles
- **Promedio** acumulado notas de asignaturas de Ciencias de la computación e informática
- **Promedios** acumulados por asignaturas semestrales
- **Promedio** acumulado primer año, primer semestre
- **Promedio** acumulado primer año, segundo semestre
- **Promedio** acumulado segundo año, primer semestre
- **Ramos** reprobados
- **Ramos** reprobados primer año, primer semestre
- **Ramos** reprobados primer año, segundo semestre
- **Ramos** reprobados segundo año, primer semestre
- **Porcentaje** de ramos reprobados
- **Cantidad** de veces que dio las asignaturas por semestre
- **Cantidad** de veces primer semestre
- **Cantidad** de veces segundo semestre
- **Cantidad** de veces tercer semestre

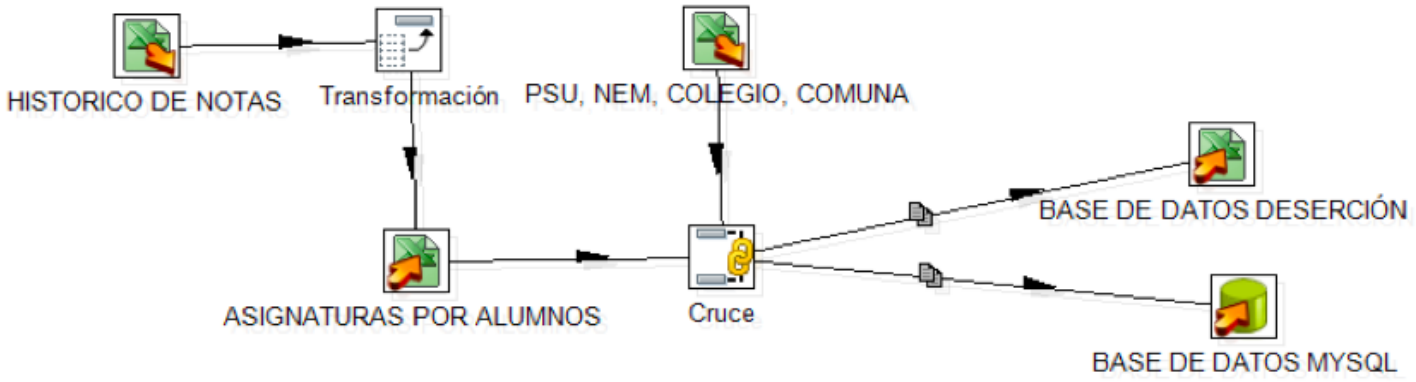


FIGURA 5

ETL para el modelo de deserción de la carrera de Ingeniería Civil en Computación e Informática (Bustamante y Morales, 2012)

Finalmente las variables a considerar en este modelo para estudiantes de primer año se muestran en la tabla 1, luego de análizar la relevancia de los atributos respecto de la variable de deserción y considerando los resultados de los estadísticos Chi Squared, Gain Ratio e Info Gain, el resto de las variables no fueron consideradas.

Atributos	ChiSquared	GainRatio	InfoGain
Promedio ACUM	587.492	0.16797	0.25952
Promedio ACUM Primer Año 1s	548.654	0.16539	0.27748
Porcentaje Repr 1s	536.034	0.25019	0.2419
Promedio CB	511.991	0.21884	0.21812
Ra Reprobados 1 años 1s	436.308	0.06433	0.201
Promedio ACUM Ciencias Ingeniería	325.061	0.19229	0.15514
Matemáticas	306.378	0.11101	0.15153
Especifica	217.781	0.09735	0.09261
Pon Total	137.126	0.18285	0.07974
Ponderación Lenguaje Mateamática NEM	118.522	0.174009	0.06919
Ponderación Lenguaje Matemáticas	20.674	0.129952	0.0955

TABLA 1

Selección de datos de entrada al modelo de deserción de la carrera de Ingeniería Civil en Computación e Informática (Bustamante y Morales, 2012)

Las herramientas de Minería de Datos seleccionas fueron Árboles d e Decisión, Clasificador Bayesiano y Máquinas de Soporte Vectorial (SVM), los cuales se muestran en la tabla 2 con sus respectivas matrices de confusión.

De acuerdo con los resultados expuestos en la Tabla 2, el Árbol de Decisión fue el mejor clasificador con una efectividad 75,4%, ya que es el que mejor aprende de la conducta desertora.

Un segundo proyecto en el 2013 aplicó Minería de Datos sobre los datos de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile, desarrollando un modelo predictivo que caracterizó conductas de deserción en los estudiantes de la Facultad (Hurtado, 2013). En este estudio se propone la creación de un modelo de deserción al termino del primer año y un modelo de deserción al termino del segundo año, diferenciados principalmente por las asignaturas involucradas.

Al hacer un análisis comparativo de todas las carreras, sus mallas y asignaturas, se definieron los ramos comunes, los cuales se denominarán "Plan Común Ingenierías", ver la Tabla 3.

N°	Plan Común
1	Cálculo I
2	Cálculo II
3	Cálculo III
4	Álgebra I
5	Álgebra II
6	Ecuaciones Diferenciales
7	Introduccón a la Fisica
8	Mecánica
9	Ondas, Óptica y Calor
10	Electricidad y Magnetismo
11	Química General
12	Probabilidades y Estadística
13	Métodos Numéricos
14	Inglés Para Ingeniería I
15	Inglés Para Ingeniería II
16	Inglés Comunicacional
17	Transversal Institucional I
18	Transversal Institucional II

TABLA 3

Asignaturas comunes de las carreras de la Facultad de Ingeniería de la UCEN

Técnica	Arbol de Desición		Clasificador Bayesiano		SVM		
	No Desertor	Desertor	No Desertor	Desertor	No Desertor	Desertor	Total real
No Desertor	20	11	27	4	26	5	31
Desertor	4	26	8	22	7	23	30
Total Predicho	24	37	35	26	33	28	61

TABLA 2

Matrices de confusión para las 3 técnicas de minería de datos utilizadas en el modelo de deserción de primer año

Los modelos de deserción para la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile se muestran en las figuras 6 y 7 respectivamente, luego de validar la relevancia de cada atributo basado en los test estadísticos Chi Squared, Gain Ratio e Info Gain.

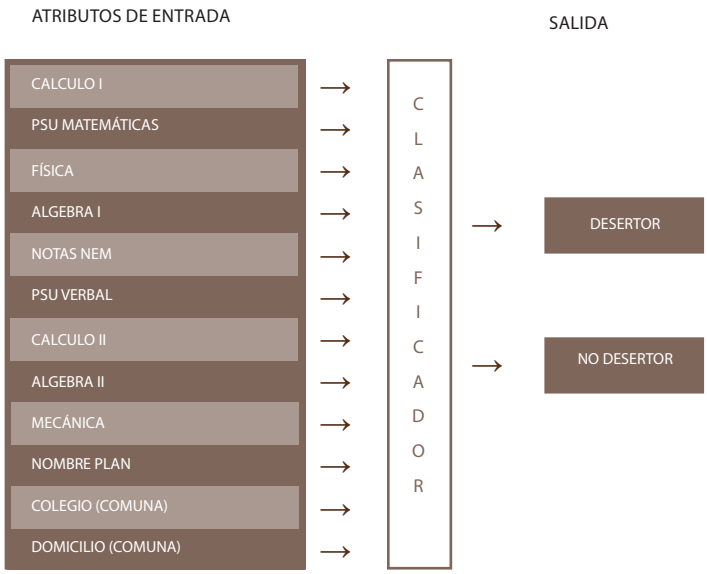


FIGURA 6

Modelo predictivo de deserción para primer año

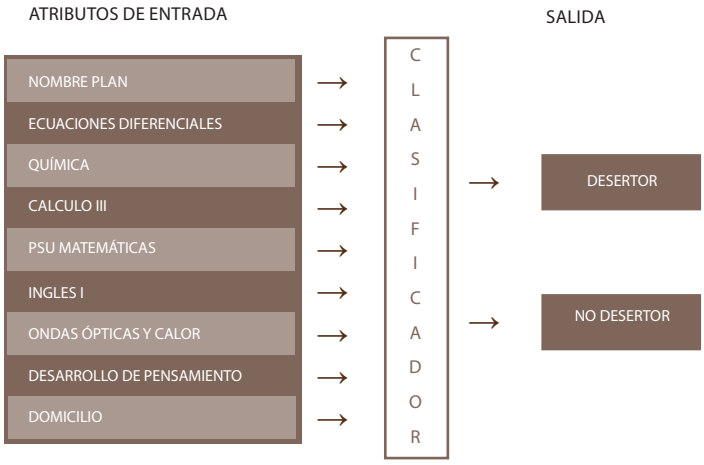


FIGURA 7

Módelo predictivo de deserción para segundo año

Los modelos definidos para estudiantes que han cursado primer año entregan los resultados presentados en la Tabla 4, la cual muestra la matriz de confusión generada posterior al entrenamiento y validación para cada una de las tres técnicas de minería de datos utilizadas en esta investigación, las cuales son: árboles de decisión, Máquinas de Soporte Vectorial (SVM) y Redes Neuronales Artificiales (RNA). En este caso el mejor modelo está asociado a la técnica de Redes Neuronales Artificiales, con un 61,5% de efectividad en los desertores. En este caso particular, además se comprobó con los 55 desertores propuestos por el modelo al siguiente año, lo cual generó un 100% de efectividad ya que los 55 estudiantes desertaron efectivamente.

La técnica de Redes Neuronales Artificiales se verificó comprobando si los 55 desertores propuestos por el modelo lograban completar su segundo año, lo cual reflejó que el 100% de ellos desertaron posteriormente.

CONCLUSIONES

La deserción estudiantil es un factor de importancia para la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile y pese a sus esfuerzos aún se mantiene en porcentajes que superan el 25% en primer año, por lo cual adquiere relevancia explorar nuevas formar de extraer conocimiento que ayuden a tomar mejores decisiones para lograr una mejor retención de estudiantes. En este sentido, la aplicación de minería de datos ha logrado entregar parte de esa información desconocida, reconociendo un porcentaje de estudiantes de manera anticipada.

Si bien las técnicas predictivas permiten anticiparse, cabe destacar que los mejores resultados se obtuvieron con técnicas denominadas de caja negra, lo que no nos permite saber el por qué sucede la deserción. Sin embargo, estas técnicas permiten predecir un mayor porcentaje de estudiantes.

Las técnicas de minería de datos son una gran herramienta de ayuda a la detección de deserción, sin embargo, no sirven de nada si no se acompañan de acciones de acompañamiento a los estudiantes, las cuales deben ser apoyadas a nivel de escuelas, departamentos o la unidad respectiva de apoyo académico. Dentro de los trabajos futuros, está la definición de acciones y la medición de efectividad éstas, con el objetivo de disminuir la deserción.

REFERENCIAS

Balmori, E., De la Garza, M., Reyes, E. (2009): El Modelo De Deserción De Tinto Como Base Para La Planeación Institucional: El Caso De Dos Instituciones De Educación Superior Tecnológica.

Bustamante, M., Morales, O. (2012): Modelo predictivo de deserción universitaria.

González, L. (2005): Estudio sobre la repitencia y deserción en la educación superior chilena. Santiago.

Hurtado, P. (2015): Modelo predictivo de deserción de estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

Técnica	Arbol de Desición		SVM		RNA		
	No Desertor	Desertor	No Desertor	Desertor	No Desertor	Desertor	Total real
No Desertor	568	30	556	42	543	55	598
Desertor	214	100	156	158	121	193	314

TABLA 4

Matrices de confusión para las 3 técnicas de minería de datos utilizadas en el modelo de deserción de primer año

INTERNET DE LAS COSAS
un desafío que debemos enfrentar

Erwin Fischer, *Ingeniero en Computación e Informática, MSc*

El término, Internet de las cosas (o IoT, de su sigla en inglés Internet of things), está en todas partes. Es la última palabra de moda para incluir en una conversación para ser visto como relevante. Internet de las cosas está irrumpiendo en todos los sectores industriales y de negocios, como de igual forma en la relación que tienen las personas con las cosas u objetos. Para la mayoría de los desarrolladores, sin embargo, Internet de las cosas es sólo un término más reciente, más de moda para algo que se ha estado desarrollando hace décadas en la industria: sistemas embebidos conectados. Esta dinámica de cambio ha sido impulsada por las nuevas tecnologías móviles tales como 5G con velocidades de Gbps y latencias bajísima a nivel de usuario, lo que complementado con Cloud Computing, Inteligencia Artificial, protocolo IPV6, la transformación digital de los procesos productivo, entre otros aspectos nos está llevando a un nuevo ecosistema Digital.

La internet de las cosas, se ha venido desarrollado desde hace más de 20 años, profesores dela Universidad Tecnológica de Massachusetts MIT describieron un mundo en el que las cosas (dispositivos y sensores) estarán conectadas y podrán compartir datos(1). Al principio los conceptos de IoT surgieron alrededor de las tecnologías que lo hicieron posible, tales como la identificación por radiofrecuencia o RFID, por sus siglas en inglés y redes de sensores inalámbricos.

Sin embargo, recientemente, el uso de los conceptos se ha extendido rápidamente a varios ámbitos, incluyendo la salud, el transporte, la energía, el comercio minorista, la gestión de edificios, la automatización de procesos, entre otros. Se han creado cientos de empresas start-up's en esta área, y la mayoría de las grandes corporaciones han anunciado sus plataformas y componentes del tipo IoT. Un estudio reciente enumera 115 plataformas cloud de IoT (2). Actualmente estamos presenciando un clásico "cruzando el abismo", un período en el que los ganadores finales no se han determinado todavía (3). Lo más probable es que en 2025 sólo permanezcan un puñado de plataformas dominantes y proveedores de plataformas IoT.

UN POCO DE HISTORIA

La primera aeronave no tripulada que intervino en la Primera Guerra Mundial fue desarrollada por la Marina de los Estados Unidos entre 1916 y 1917. Creada por Elmer Sperry y Peter Hewittque la concibieron como una bomba aérea teledirigida (9).

Nikola Tesla en una entrevista por John B. Kennedy Colliers el 30 de enero del año 1926 dijo (4);

"Cuando la tecnología inalámbrica se aplique perfectamente, toda la tierra se convertirá en un cerebro enorme, que en realidad es, todas las cosas son partículas de un conjunto real y rítmico. Podremos comunicarnos unos con otros instantáneamente, independientemente de la distancia. No sólo esto, sino que a través de la televisión y la telefonía nos veremos y oiremos tan perfectamente como si estuviéramos cara a cara, a pesar de las distancias intermedias de miles de millas; Y los instrumentos a través de los cuales podremos hacerlos serán asombrosamente simples en comparación con nuestro teléfono actual. Un hombre será capaz de llevar uno en el bolsillo de su chaleco"

Neil Gross, escribió en BusinessWeek, en agosto de 1999:

"En el próximo siglo, el planeta tierra tendrá una piel electrónica. Utilizará Internet como un andamio para sostener y transmitir sus sensaciones. Esta piel se compone de millones de dispositivos electrónicos que miden distintas cosas: termostatos, medidores de presión, detectores de contaminación, cámaras…etc, y monitorean rutas, ciudades, nuestras conversaciones, nuestros cuerpos…incluso nuestros sueños" (5).

Posiblemente el término Internet de las cosas fue propuesto por primera vez en el año 1999, por Kevin Ashton, un ingeniero y empresario británico que creó el centro de investigación Auto-ID delMIT. Ashton estaba seguro de que el IoT tenía "el potencial para cambiar el mundo tal y como lo hizo el Internet", a partir de la conexión de todos los equipos electrónicos que nos rodean, la medición de los parámetros externos a ellos y la automatización de muchas de las actividades que realiza el ser humano(6).

En nuestras casas, autos y fábricas, estamos rodeados de pequeños dispositivos inteligentes que capturan datos sobre cómo vivimos y qué hacemos. Ahora están empezando a hablar entre sí. Pronto podremos coreografiarlos para responder a nuestras necesidades, resolver nuestros problemas, incluso salvar nuestras vidas.

LA EMERGENTE ARQUITECTURA DE IOT

Lo interesante de estas ofertas IoT es su similitud conceptual. A pesar de la aparente diversidad y el gran número de proveedores que apuntan al mercado delIoT, está surgiendo una arquitectura de extremo a extremo para las soluciones delIoT, con una serie de elementos que son prácticamente los mismos en todos los sistemas. La figura 1 muestra los conceptos básicos, algunos de los cuales se resumen a continuación.

COSAS, OBJETOS Y DISPOSITIVOS CONECTADOS

Los dispositivos personales, los wearables (que son equipos compactos, especialmente pensados para que los puedas llevar puestos como si fueran ropa) o los sistemas embebidos son precisamente los elementos de hardware que recolectan datos de sensores o realizan actuaciones, con capacidades de comunicación segura incorporadas para enviar los datos recopilados al ecosistema más amplio delIoT. Estos son sensores y actuadores.

Los sensores proporcionan información sobre la entidad física que supervisan. Esta Información puede ir desde la identidad de la entidad física hasta las cualidades medibles tales como temperatura, humedad, presión, luminosidad, nivel de sonido, flujo de fluido, vibración y abrasión. Los sensores cuyo único propósito es facilitar un proceso de identificación se llaman etiquetas (tags).

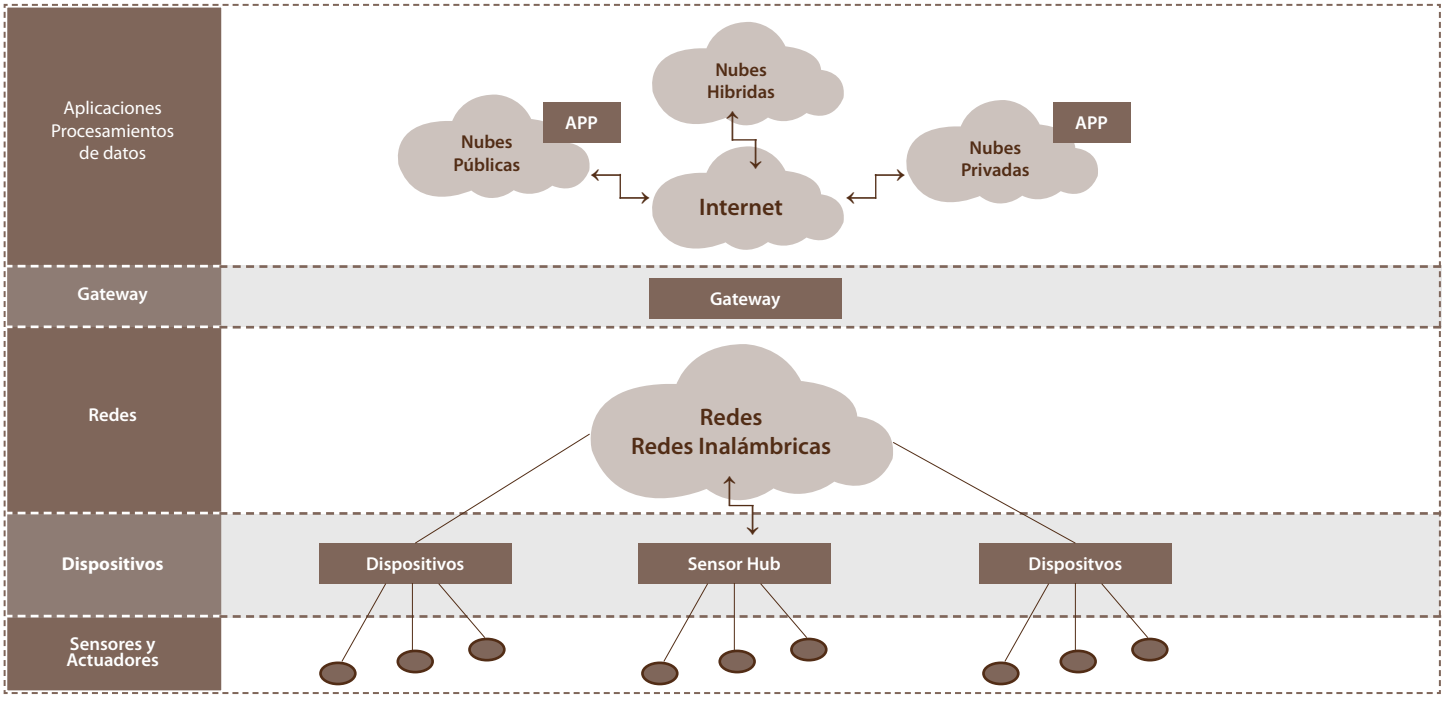


FIGURA 1

Componentes de la Arquitectura IoT

Los actuadores toman energía, generalmente transportada por aire, electricidad o líquido, y la convierten en un cambio de estado, modificando así una o más entidades físicas.

REDES

La conectividad en Internet (la nube) es la base que ha impulsado el desarrollo delIoT y en este aspecto se presentan enormes desafíos relacionados con la robustez, la tolerancia a fallas, seguridad entre otros aspectos. Si con IPv4 existía un número finito de direcciones IP, con el advenimiento de IPv6, que multiplicó su capacidad a 340 sextillones de direcciones, eso ya no es problema, por lo que la Internet de las cosas promete ser la mayor red que el ser humano haya creado jamás.

GATEWAYS

Los gateways (o hubs) recogen, procesan y transfieren datos de dispositivos tipo IoT y sus sensores, empleando diferentes protocolos de comunicación (generalmente inalámbricos) como Wi-Fi o Bluetooth Smart. Los Gateways proporcionan una traducción de protocolo segura entre dispositivos y la nube, y pueden soportar tareas como almacenamiento intermedio de datos de sensores y preprocesamiento, geolocalización, verificación y facturación de servicio. Los gateways también entregan las solicitudes de actuación de la nube a los dispositivos.

En algunos sistemas, los propios dispositivos pueden cargar datos de detección directamente a la nube y recibir solicitudes de actuación directamente desde la nube (por ejemplo, a través de redes Wi-Fi, 3G o 4G o (próximamente) NB-IoT (NarrowBandIoT) .Tales soluciones no requieren gateway dedicados. Además, los propios dispositivos actúan comúnmente como puertas de acceso a otros dispositivos, posiblemente formando topologías punto-a-punto (peer-to-peer) o de malla (mesh) a través de conectividad local.

PROCESAMIENTO DE DATOS

El internet de las cosas está generando una cantidad de datos increíbles y aquí se presenta el desafío de ser capaz de recolectar, almacenar y procesar la información para la toma de decisiones, de una manera inteligente, ojalá sin intervención humana.

LA NUBE

La computación en nube y las soluciones de almacenamiento y analítica basadas en la nube son fundamentales para la mayoría de las plataformas delIoT. En la arquitectura delIoT genérica de extremo a extremo, la nube desempeña tres funciones principales.

El primero es la adquisición, almacenamiento y acceso a datos. Una funcionalidad fundamental en los sistemas delIoT es la recolección y almacenamiento de datos de los sensores. Los dispositivos delIoT, con capacidades de detección, típicamente recogen una gran cantidad de datos que deben ser recolectados y almacenados en la nube para su posterior procesamiento y análisis. Las soluciones en esta área abarcan desde simples bases de datos locales hasta clústeres masivos de replicación, tolerantes a fallos y escalables. También se proporcionan las API de consulta y notificación para acceder a los datos recopilados.

El segundo papel es el análisis de datos. Esto se refiere al examen, la interconexión y la transformación de datos de sensores adquiridos para descubrir y presentar información útil, por ejemplo, para apoyar el intercambio de información remota y la toma de decisiones. Análisis en tiempo real se refiere a las funciones de análisis que se ejecutan inmediatamente después de que los datos se han recibido. El análisis offline se refiere a las operaciones de tipo por lotes que se producen después de que se hayan acumulado grandes conjuntos de datos. Las tecnologías y algoritmos de aprendizaje automático y minería de datos son importantes en esta área.

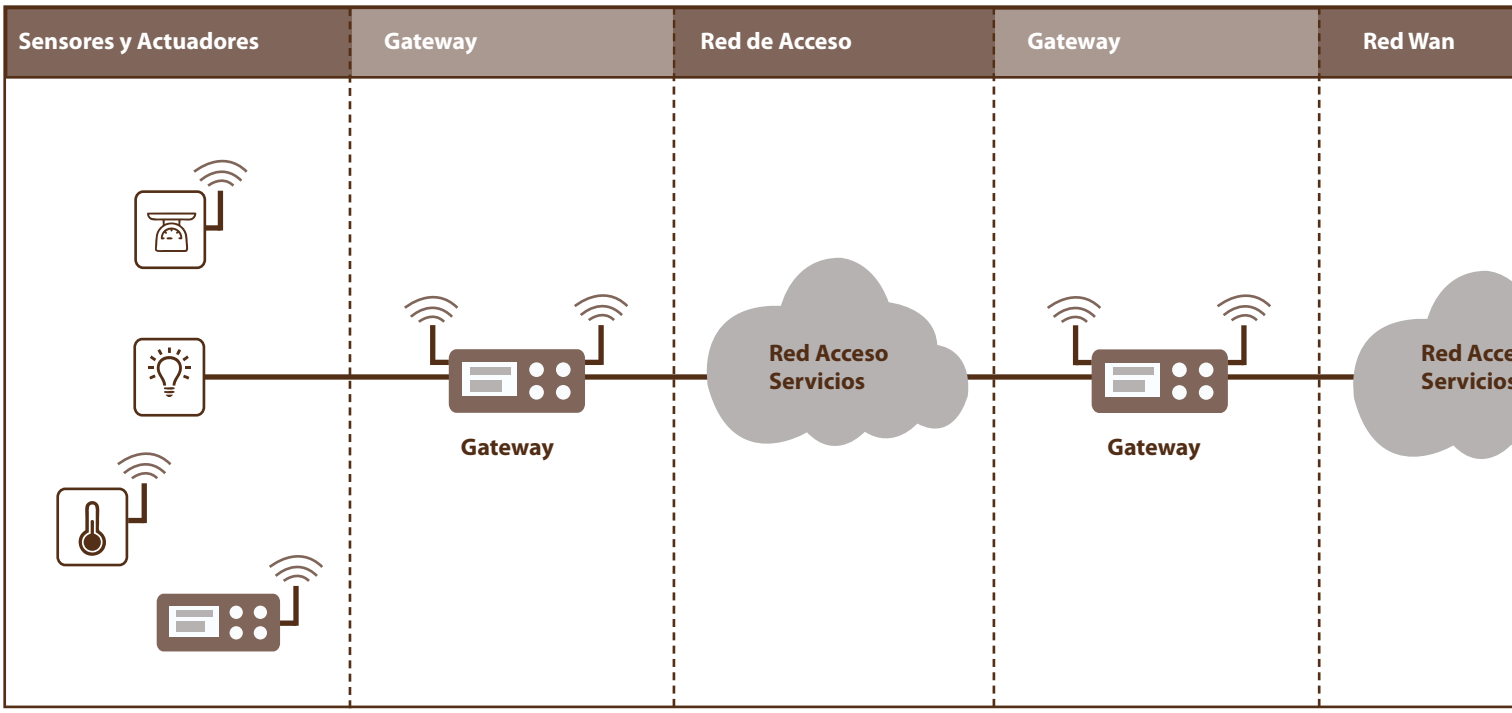


FIGURA 2

Gateway para comunicar a los dispositivos entre ellos y con la Nube

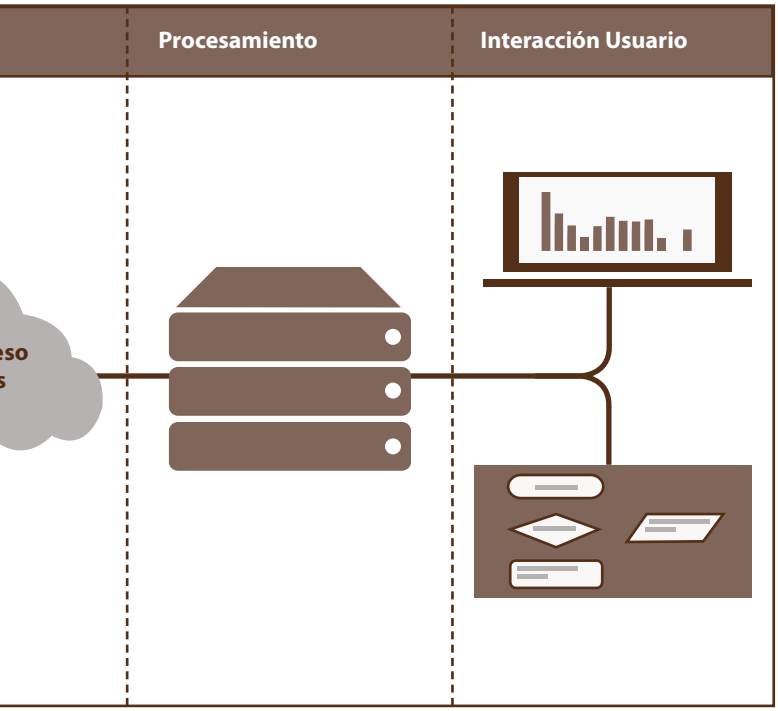
El tercer papel es el soporte de actuación. Los flujos de datos del sistema IoT no son sólo unidireccionales. Además de la recopilación de datos de los sensores desde los dispositivos a la nube, es importante el accionamiento seguro del dispositivo desde la nube a los dispositivos. Las capacidades de actuación son un elemento fundamental para la programación de dispositivos remotos.

Además, una solución de nube que soporta el IoT normalmente incluye funciones administrativas tales como administración de dispositivos, administración de cuentas de usuario, registro de uso, supervisión de estado de servidor y funciones de generación de informes.

LOS DESAFÍOS

Los avances de hardware impulsarán la transición hacia el mundo programable. Las capacidades de hardware IoT y los precios están alcanzando rápidamente un punto de inflexión en el que podremos ejecutar sistemas operativos completamente desarrollados como Linux o ejecutar lenguajes dinámicos en casi cualquier tipo de dispositivo. Las plataformas de bajo costo que tenemos disponibles hoy ya superan la capacidad de memoria y procesamiento de los teléfonos móviles que teníamos disponibles a finales de los 90, por lo que el desafío que se nos presenta ahora es en el software. Agregar inteligencia a los objetos cotidianos, dentro de un marco regulatorio que promueva la protección de los datos de las personasasegurando que las conversaciones entre humanos (H2M) y entre máquinas (M2M) sean más intuitivas, seguras y naturales, requiere un software mucho más complejo, de tal manera que las 'cosas' comiencen a ser capaces de tomar decisiones inteligentes en este nuevo ecosistema, orientadas a mejorar nuestra calidad de vida.

El futuro de la IoT reside en la capacidad de orquestar y programar topologías grandes y complejas de dispositivos IoT de forma remota. Una vez que los dispositivos están conectados a nubes públicas o privadas, con datos de sensores fluyendo y con capacidades de actuación ampliamente disponibles, el enfoque pasará de la recopilación y análisis de datos de sensores a capacidades de programación de aplicaciones para manipular complejos sistemas reales. Las capacidades de actuación ofrecidas por los dispositivos IoT constituyen la base para todo esto. Estas capacidades nos permiten comandar y controlar los objetos cotidianos en nuestro entorno (y potencialmente en todo el planeta) desde la comodidad de un entorno de programación o una aplicación frente a nosotros.



REFERENCIAS

[1] Internet of Things History
Postscapes, 2014

[2] IoT Cloud Platform Landscape
Postscapes, 2016

[3]Cruzando el abismo: Como vender productos disruptivos a consumidores generalistas
G. Moore, Gestión 2000, 2015

[3] An interview with Nikola Tesla by John B. Kennedy
Colliers, January 30, 1926

[4] The Earth Will Don An Electronic Skin
Neil Gross, August 30, 1999

[5] That 'Internet of Things' Thing, Kevin Ashton, June 22, 1999

[6] In the Programmable World, All Our Objects Will Act as One
B. Wasik, Wired, 14 May 2013

[7] A Roadmap to the Programmable World
InfoQ, 27 May 2017

[8] Los grandes avances tecnológicos que nos dejó la Primera Guerra Mundial
Xataka, 7 de julio de 2015.

MAGNETISMO y QUÍMICA CUÁNTICA

Luis Alvarez, *PhD en Físicoquímica Molecular*

La mayoría de las personas están familiarizadas, en algún grado, con el concepto de magnetismo en la materia. Un objeto magnético (imán) tiene la propiedad de atraer objetos de hierro o acero. En la naturaleza existen magnetos naturales los cuales están compuestos en su mayoría por minerales de hierro del tipo Fe3O4 llamado magnetita. Otros elementos tales como el níquel y cobalto también presentan esta propiedad llamada ferromagnetismo. Sin embargo, todas las sustancias muestran un cierto grado de magnetismo, aunque a una escala muchísimo menor que los materiales ferromagnéticos, siendo imperceptible para el humano. Los magnetos también pueden ser preparados en el laboratorio y se llaman magnetos artificiales. El lector también estará familiarizado con los polos norte y sur de un magneto. Los polos se pueden imaginar como los dos extremos del magneto donde el magnetismo está concentrado en su totalidad. Los polos siempre ocurren en pares y son de la misma magnitud (en unidades de tesla); polos iguales se repelen y polos distintos se atraen.
En los libros de texto de física, se describe un material magnético en términos de dominios magnéticos, donde el material está dividido en regiones magnéticas, cada una representando un pequeño imán apuntando en alguna dirección cualquiera. Cuando la mayoría de esos pequeños imanes logran alinearse en una dirección definida, entonces estamos en presencia de una material ferromagnético – el imán común y corriente.

Cuando un imán atrae un objeto de hierro, el imán ha ejercido una fuerza (magnética) sobre ese objeto. Notar que esta fuerza se ejerce "a distancia" y no hay contacto físico entre los dos objetos, de forma similar a como lo hace la fuerza de gravedad sobre objetos que caen. En ambos casos se usa el concepto de campo; campo magnético o campo gravitatorio.
Las leyes de la física que describen las fuerzas magnéticas están bien estudiadas y son parte de cualquier curso básico de electromagnetismo. ¿Qué es lo que produce el magnetismo?. Los campos magnéticos pueden ser producidos artificialmente por corrientes eléctricas en alambres conductores. Esto tiene su explicación a nivel microscópico donde una corriente está asociada con el movimiento de electrones en orbitales atómicos. Solo mencionaremos que esto es parte de una teoría complicada llamada mecánica cuántica que se estudia en cursos avanzados de física.

¿Cuál es el efecto de un campo magnético sobre nuestro cuerpo?. La respuesta es que esencialmente no hay efectos aparentes. Nosotros estamos expuestos a campos magnéticos todo el tiempo – recordar que la tierra es un gran imán. El título del artículo reza "magnetismo y química" y entonces vamos a describir el efecto de un campo magnético sobre las moléculas. Para ello debemos primero hablar sobre un fenómeno físico llamado ley de inducción de Faraday (Michael Faraday, 1791-1867). La figura 1 ilustra el caso macroscópico, donde tenemos un alambre conductor formando un circuito cerrado – espira – conectado a un amperímetro. Cuando movemos un magneto cerca de la espira se produce algo mágico, el campo magnético del imán induce una corriente eléctrica (I) en el circuito formado por el alambre y el amperímetro (recordar que la corriente eléctrica se mide en amperes). Esta corriente persiste solo mientras el magneto esté en movimiento. Lo interesante es que la corriente inducida se genera sin haber contacto físico entre el magneto y el circuito. Hay que recalcar que el circuito no está conectado a ninguna fuente de poder (pila, batería, etc); el amperímetro solo mide corriente, de hecho, podemos reemplazarlo por una ampolleta que se ilumina cuando hay una corriente. Otros científicos ya habían advertido de este fenómeno, pero fue Faraday quien formuló las ecuaciones que lo describen.

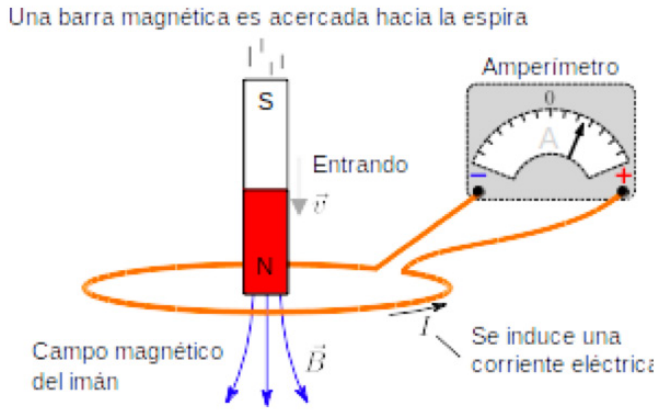


FIGURA 1

Esquema de la ley de inducción de Faraday.
Un magneto se mueve en las cercanías de una espira (sin tocarla) y se produce una corriente inducida.

Tal vez el lector ya habrá adivinado que este es el mismo principio de los generadores eléctricos. Un caso muy conocido es el dínamo de una bicicleta (figura 2). Aquí un alambre, enrollado alrededor de un núcleo de hierro (bobina), está en presencia de un imán que gira accionado por la fuerza mecánica ejercida por el ciclista. Entones se genera – induce – una corriente eléctrica que alimenta una ampolleta. La ampolleta estará encendida mientras el ciclista siga pedaleando. El mismo principio físico se aplica en una central hidroeléctrica o en un generador eólico. Otras aplicaciones que se derivan de la ley de Faraday son los electroimanes, los motores eléctricos y los transformadores. Dado lo anterior, podemos decir que las consecuencias de esta ley son fundamentales para la vida moderna.

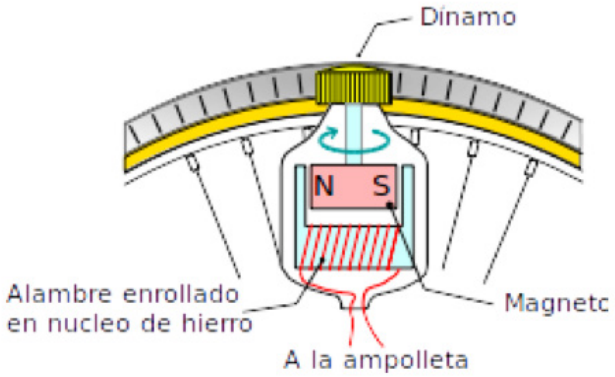


FIGURA 2

La ley de inducción de Faraday explica el funcionamiento de un dínamo. La fuerza ejercida por el ciclista hace girar un magneto tiene como consecuencia la inducción de una corriente que alimenta una ampolleta.

Ahora surge la pregunta si la ley de inducción de Faraday es válida o no a nivel molecular, es decir, a nivel microscópico. La respuesta es sí. ¿Pero acaso existen alambres moleculares?. Aquí estamos hablando de distancias muy pequeñas, del orden de ångströms (1 ångström = 0.0000000001 metros = 0.1 nanómetros). Cabe mencionar que las leyes de la física a nivel atómico o molecular son misteriosas y son distintas a las leyes

que rigen a nivel macroscópico, en realidad son leyes muy raras y se estudian en cursos avanzados de física o química cuántica. Para aplicar la ley de Faraday debemos tener un circuito cerrado como el de la figura 1. Un circuito molecular puede ser pensado como átomos enlazados entre sí, formado una cadena o anillo que simula un circuito cerrado. El ejemplo típico es el benceno, una molécula muy estudiada en cualquier curso de química general. El benceno – descubierto por Faraday en 1825 – es un hidrocarburo compuesto por seis átomos de carbono y seis átomos de hidrógeno (C6H6), formando una estructura exagonal (figura 3). Las líneas que unen los átomos de carbono, en realidad no existen, pero representan enlaces atómicos y dan la idea de formar un circuito cerrado o anillo. El benceno es conocido por los químicos por ser una molécula aromática – en realidad tiene olor. El concepto de aromaticidad en química es muy importante y se aplica a una gran variedad de moléculas cíclicas. Sin embargo, el término aromaticidad solo tiene un origen histórico pues fue concebido a partir del estudio del benceno; de hecho hay moléculas aromáticas que no tienen olor. Otra manera de describir aromaticidad en química es mediante la llamada deslocalización electrónica. Sabemos que los átomos poseen electrones asociados, pero cuando estos átomos se unen o enlazan para formar una molécula, los electrones de cada átomo no necesariamente quedan asociados al átomo original; algunos de estos electrones empiezan a "vagar" dentro de la molécula, entonces se dice que estos electrones están deslocalizados y son libres de moverse dentro de la molécula. El principal interés de los químicos por este tipo de moléculas estriba en que estas poseen una excepcional estabilidad en las reacciones químicas. Surge la pregunta entonces, ¿cómo se podría determinar el grado de aromaticidad de una molécula?. Tal vez el lector estará familiarizado con el término «pH» de una sustancia. El pH es una escala numérica entre 1 y 14 que mide el grado de acidez de una sustancia. En forma análoga se puede crear un índice de aromaticidad de una molécula, basado en la propiedad magnética descrita anteriormente, la ley de inducción Faraday.

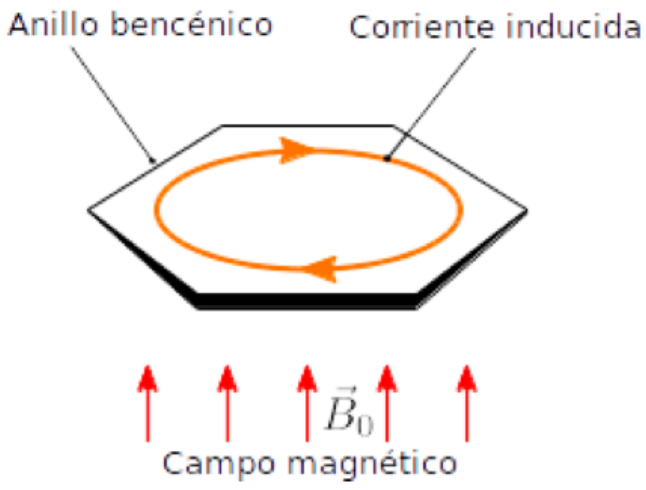


FIGURA 4

Esquema de la molécula de benceno cuando es sometida a un campo magnético (líneas verticales rojas). La ley de inducción de Faraday es válida a nivel molecular, pues se induce una corriente alrededor del anillo.

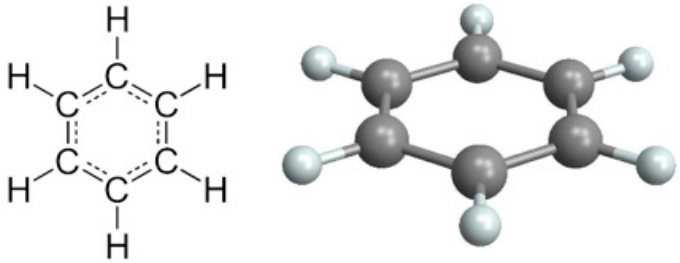


FIGURA 3

La molécula de benceno tiene forma exagonal y está formada por átomos de carbono y hidrógeno. A la izquierda se muestra una representación en el plano; a la derecha se muestra una representación en perspectiva 3D.

Debemos aclarar al lector, que en física o química existen dos metodologías de investigación; una experimental y otra teórica. La experimental involucra equipamiento y a veces grandes recursos económicos. La teórica involucra resolver muchas ecuaciones que modelen el mundo físico o químico. En este artículo hablaremos de un método teórico.

Después de esta larga introducción, vamos a considerar la molécula de benceno como ejemplo y haremos una simulación (estudio teórico) del efecto del campo magnético sobre ella. La teoría que resuelve este tipo de problemas se llama química cuántica, que es la ciencia que describe los fenómenos químicos a nivel molecular. Notar que efectuaremos un experimento virtual, es decir, vamos a resolver ecuaciones muy complicadas que describen las propiedades de la molécula. Para ello se necesitan computadoras de gran rendimiento, que estén dotadas de una gran cantidad de memoria RAM y además posean múltiples procesadores trabajando en paralelo; estos son los llamados

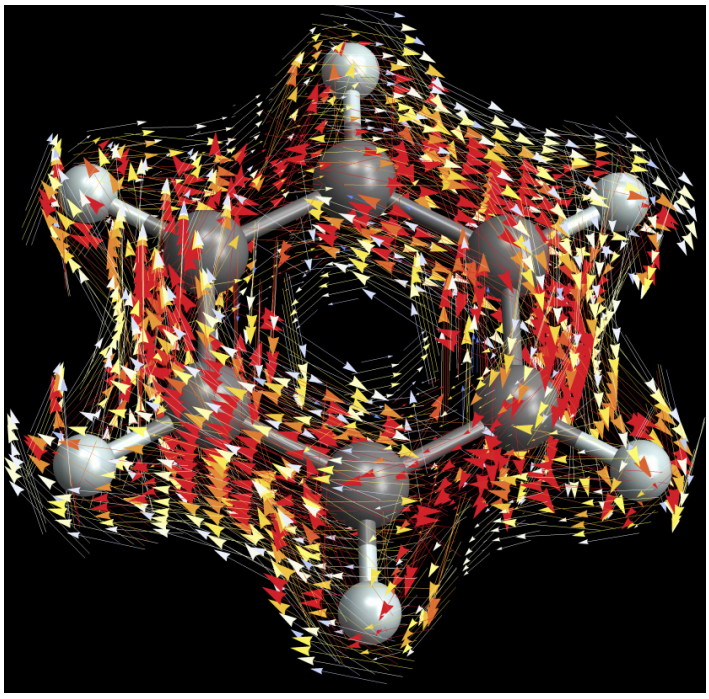


FIGURA 5

Representación 3D del resultado de la simulación computacional. Se pueden observar corrientes (flechas) generadas por la circulación de los electrones móviles de la molécula. Notar que hay dos direcciones, a saber, una exterior en dirección horaria (diatrópica) y una interior en dirección antihoraria (paratrópica).

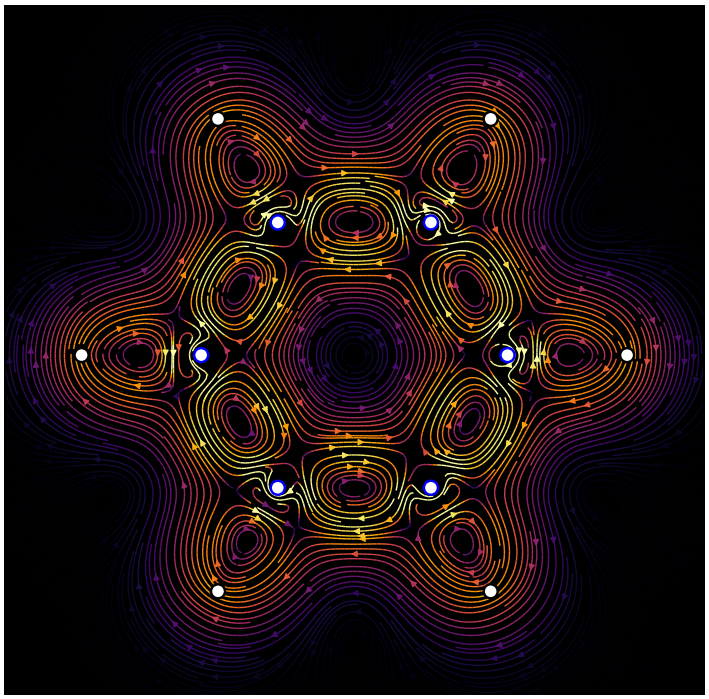
supercomputadores o clusters de computadores. Dependiendo del tamaño de la molécula, estos cálculos pueden tardar horas, días o hasta incluso semanas.

La figura 4 esquematiza la idea de nuestro experimento teórico. El anillo bencénico forma un circuito molecular análogo al de la figura 1. Según la ley de Faraday, el campo magnético debería inducir una corriente eléctrica en los alrededores de la molécula. Esta corriente no es otra cosa que un flujo de electrones dentro de la molécula. La figura 5 muestra una representación 3D del resultado de una simulación. Da la impresión de que algo está fluyendo dentro de la molécula. Este tipo de representación se llama gráfico de densidad de corriente inducida y muestra patrones de flechas que representan las magnitudes y direcciones de la corrientes inducidas dentro de la molécula. Esto da indicios de que la ley de Faraday es aplicable a moléculas. Pero aquí es donde empiezan las diferencias con el caso macroscópico. En efecto, en la figura 5 se visualizan corrientes en dos direcciones principales: una exterior al anillo, en sentido horario (diatrópica) y una interior al anillo, en sentido antihorario (paratrópica). Es claro que es un poco difícil hacer un análisis de este tipo de gráficos dibujados sobre un papel – en un computador es posible mover y rotar el gráfico 3D a voluntad y visualizarlo desde cualquier punto. Existe una alternativa de visualización que consiste en efectuar "cortes" transversalescortes" transversales de la molécula, de forma similar a las tomografías de resonancia magnética nuclear. Lo usual es hacer un corte en el plano molecular – incluyendo los 12 átomos – y otros cortes paralelos a diferentes distancias. Así la estructura 3D puede ser analizada mediante capas 2D. La figura 6, muestra dos casos donde se puede ver, en mayor detalle, la distribución de las corrientes. A la izquierda se muestra un corte transversal en el plano molecular: aquí son notorias las corrientes diatrópicas y paratrópicas mencionadas anteriormente. A la derecha se muestra otro corte, pero a una distancia de 0.5Å del plano molecular. Aquí el patrón de corrientes cambia considerablemente, ahora la corriente en sentido horario (diatrópica) es dominante y la paratrópica ha prácticamente desaparecido.

Sin embargoembargo, los gráficos solo representan el aspecto cualitativo de este tipo de estudio. Nos interesa cuantificar las corrientes para poder efectuar comparaciones entre diferentes moléculas (recordar la escala pH). De hecho, estas corrientes también se pueden "medir" o calcular mediante un "amperímetro cuántico". El valor de estas corrientes es lo que llamamos el índice de aromaticidad. Así, por ejemplo, en el benceno la corriente neta que atraviesa un enlace carbono-carbono es de aproximadamente 12 nA (nanoampèeres), una cantidad muy pequeña dado que estamos trabajando con moléculas. El benceno es una de las moléculas orgánicas que tiene el mayor índice de aromaticidad, y por lo general es usado como referencia.

Por lo general, cualquier estudio teórico es mucho más barato que uno experimental. Sin embargo, debemos advertir que el modelamiento teórico de la realidad está aunaún lejos de obtener resultados 100% satisfactorios. La dificultad estriba principalmente en resolver ecuaciones demasiado complicadas, incluso para los supercomputadores más poderosos del mundo. Para aleviaraliviar esta dificultad, se deben hacer simplificaciones a la teoría con el fin de obtener resultados aproximados. A veces esto implica un riesgo, es por ello que el científico experimental tiene que considerar los estudios teóricos solo como referencia, porque le pueden dar ciertos indicios para descartar ciertas rutas y dirigir los esfuerzos a aquellas que podrían ser más plausibles.

En resumen, la ley de inducción electromagnética fue inicialmente formulada por Faraday para casos macroscópicos donde se puedan efectuar experimentos reales. En el caso microscópico esta ley sigue siendo válida, pero hay diferencias notables con el caso macroscópico. Esta metodología teórica está muy de moda hoy en día.



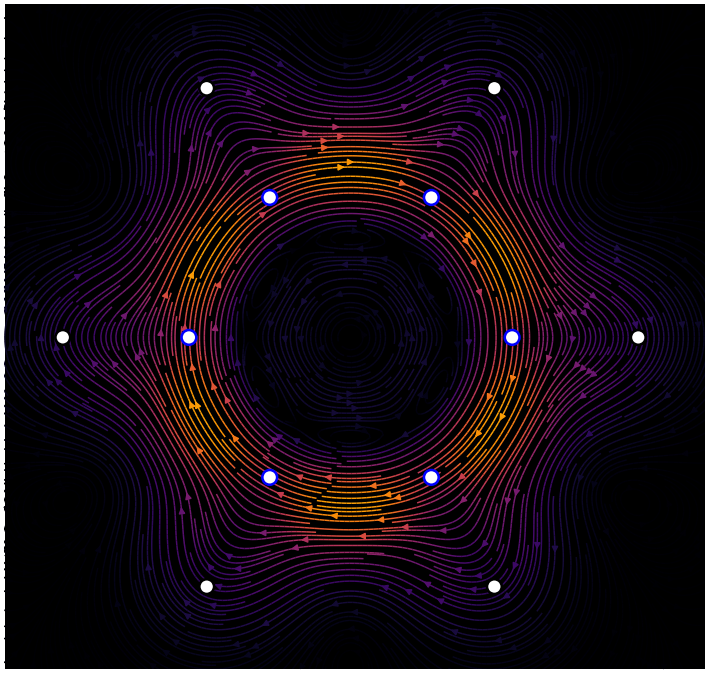


FIGURA 6

A la izquierda se muestra un corte transversal en el plano molecular de la molécula. Notar que hay dos corrientes importantes, una en sentido horario que fluye por afuera, y otra en sentido antihorario que fluye por dentro de anillo. A la derecha se muestra un corte a una distancia de 0.5Å del plano molecular. El patrón de corrientes cambia considerablemente, ahora la corriente en sentido horario (diatrópica) es dominante.

¿CÓMO INTERACTÚAN DOS NANOIMANES?

Juan Luis Palma, *Ingeniero en Física, PhD*

Este artículo está reescrito y re-editado del artículo original: Micromagnetic Simulations of Permalloy Double-Dot Structures, publicado en Journal of Magnetism and Magnetic Materials de Elsevier, de los autores Felipe Tejo, Rosa M. Corona, Claudia Arenas, Juan Luis Palma y Juan Escrig (Doi: 10.1016/j.cap.2017.02.021)

RESUMEN

En el siguiente estudio, hemos investigado a través de cálculos numéricos, el cómo interactúan dos pastillas magnéticas de dimensiones nanométricas. Los imanes producen un campo magnético en su vecindad que puede interactuar con otros objetos magnéticos, cambiando así la configuración de sus momentos magnéticos. En este estudio nos centramos en la configuración de dos pastillas magnéticas que las acercamos a distintas distancias, incluso las solapamos entre sí. Se observa un vórtice (como un remolino) de los momentos magnéticos de los imanes, el cual puede ser estable dependiendo de la distancia a la que se encuentren los nanoimanes.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas nanométricos con tamaños menores que la escala mesoscópica (que es la escala comprendida entre los 100 nanómetros y 1 micra) son interesantes debido a que estos elementos tienen un largo que es similar a los largos característicos que otorgan las propiedades físicas y químicas a los sistemas que con ellos se construyan.

En nuestro caso; el largo característico será el tamaño que tenga un dominio magnético. Pero, ¿Qué es esto?... Bueno, imaginemos un imán, y vamos a la estructura interna del material; este imán está compuesto por momentos magnéticos que los podemos pensar como una flecha (vector). Existen regiones en el imán donde todas estas flechas apuntan en una misma dirección, esto se conoce como dominio magnético, el tamaño de esta región queda determinada por la compensación entre las energías involucradas. En una estructura que comprenda longitudes bajo los 100 nanómetros, solo cabe un dominio magnético; es decir son estructuras monodominio.

Por esto, para entender mejor este fenómeno, pensaremos en un imán el cuál produce un campo magnético; es bien conocido que un imán se puede pegar a un material metálico, pero no a cualquier metal, si no que específicamente a uno ferromagnético. Pensemos en un imán común, como el que se pega comúnmente en el refrigerador; si acercamos algo de cobre (una moneda) este no se pegará al imán, ya que el cobre es diamagnético. Si le acercamos una aguja (de hierro) está se pegará al imán, ya que el hierro es ferromagnético.

La propiedad física del magnetismo, se debe en sus orígenes al espín del electrón, incluso, a la distribución de cargas en el átomo. Y a gran escala lo observamos, por ejemplo, cuando un imán se pega a un metal ferromagnético. Dependiendo de la distribución y el ordenamiento de espines en el material, podremos saber si es un material magnéticamente fuerte (ferromagnético) o magnéticamente débil (diamagnético, paramagnético), o tiene algún orden más extravagante (antiferromagneto, ferrimagneto), en lo que no queremos profundizar ahora. Los materiales ferromagnéticos, generan un campo magnético externo alrededor de ellos, el cuál se llama campo desmagnetizante. Alguna vez Si dos estructuras magnéticas se acercan, entonces el campo magnético generado por una de esas estructuras afectará a la configuración magnética de la otra estructura magnética y viceversa. Es por esta razón, que se vuelve necesario estudiar la interacción entre nanoimanes.

Entonces, ¿De qué factores depende este campo desmagnetizante? Principalmente, depende del orden que tengan los momentos magnéticos dentro del imán, y a nivel de la nanoescala, uno de los factores más preponderantes es la forma del imán. Si se tiene un nanoimán con la forma de una lenteja, este imán preferirá ordenar sus espines en el plano de la lenteja. Por otro lado, si se tiene un imán con la forma de un arroz, los momentos magnéticos preferirán alinearse en el eje más largo de esta geometría.

En general las estructuras cuadradas, rectangulares o polígonos, no se utilizan mucho en aplicaciones debido a que en las esquinas de la estructura se forman configuraciones de dominio magnético que son complejas [6,7].

Por lo expuesto anteriormente, muchos grupos de investigación a nivel mundial están interesados en estudiar materiales en la nanoescala que tengan formas circulares, como puntos [8] (llamados en inglés dots o nanodots, que tienen la forma de una pastilla como la aspirina), y también anillos nanométricos [9]. Este tipo de estructuras se pueden sintetizar debido a los recientes avances en las técnicas de litografía electrónica [10], técnica que nos permite obtener un control preciso de la forma geométrica y la separación entre elementos. Para ciertos parámetros geométricos de los nanodots la configuración magnética estable que exhiben es un vórtice, como si todos los momentos magnéticos dibujaran un remolino en tres dimensiones, con su centro en el centro de este nanodot [11], con lo cual se genera un campo desmagnetizante muy bajo, muy débil. Cuando dos nanodots están muy cerca, el campo desmagnetizante de un nanodot puede alterar las propiedades magnéticas del otro nanodot, y cambiar su configuración magnética; en otras palabras: desarmaría este remolino de momentos magnéticos [12, 13]. Por estas razones se espera que los nanodots sirvan como los elementos de un dispositivo de almacenamiento magnético [14], así como los Compact Disks (CD's comunes), como un disco duro de un computador, e incluso como elementos de un dispositivo de memoria magnética, así como la memoria RAM de un computado.

Las propiedades magnéticas de los nanodots han sido investigadas intensivamente [15-17], sin embargo, no se han investigado las propiedades de las estructuras compuestas por dos nanodots, y es importante desde un punto de vista de las aplicaciones. Varios grupos de investigación han estudiado las propiedades magnéticas de nanoanillos, arreglos de nanoanillos e incluso las propiedades de resonancia de nanodots [18 - 21]. Por esto, el objetivo de nuestro estudio, es investigar las propiedades de una estructura de compuesta de dos nanodots de un material metálico y magnético (Permaloy; el cuál es una mezcla de otros dos metales magnéticos, el Níquel (80%) y el Fierro (20%)), y estudiar el magnetismo de estas estructuras como función de la separación (llamaremos a esta distancia D) entre los centros de estas estructuras. Este parámetro D es crucial para el diseño de nuevos dispositivos de almacenamiento y lógicos [22, 23].

Para investigar el magnetismo en estas estructuras, obtendremos una curva que caracteriza las propiedades magnéticas de estas estructuras, llamada curva de histéresis magnética. Esta curva nos entrega información acerca de la magnetización, e indirectamente del ordenamiento de los espines dentro del nanoimán. Por ejemplo, supongamos que en el eje Y (vertical) queremos medir el grado de magnetización, con un valor máximo de 1 y un valor mínimo de -1, y en el eje X (horizontal) queremos medir el campo magnético externo aplicado a la estructura. Entonces, imaginemos que todos los espines (estas flechas que describimos anteriormente) apuntan hacia la dirección del campo magnético, digamos: hacia la derecha, entonces la magnetización será máxima y tendrá valor 1. Supongamos otro valor de campo, menos intenso que el anterior, digamos que cercano a cero; luego si la mitad de los espines apunta a la derecha y la otra mitad a la izquierda: entonces se restan sus contribuciones al valor de la magnetización y la magnetización será cero, por ejemplo. Por otro lado, si el campo apunta en la dirección opuesta a la que apuntaba inicialmente entonces los espines apuntarán en esta nueva dirección, digamos, para ser consecuentes: izquierda. Esto nos daría el valor de mínima magnetización, es decir -1. Entonces, lo que debemos rescatar de aquí, es que, por medio de la curva de histéresis magnética, podemos hacernos una idea de las propiedades magnéticas y del ordenamiento de los espines al interior del nanoimán.

SIMULACIONES MICROMAGNÉTICAS

Investigamos las curvas de histéresis mediante cálculos numéricos, específicamente, mediante simulaciones micromagnéticas utilizando un software de libre acceso [24]. Las estructuras de nanodots dobles, están compuestas por dos nanodots con un diámetro (d) de 80 nanómetros, y una altura (h) de 20 nanómetros. La distancia entre los centros de los nanodots (D) puede variar desde D=d; cuándo los nanodots están juntos, tocándose, hasta que D se hace infinita. Para esto introduciremos un parámetro que nos dirá que tan juntos están los nanoimanes, γ=d/D , donde γ=0 cuando los nanoimanes están infinitamente separados y γ=1 cuando los nanoimanes se están tocando en un punto. Si los imanes se superponen un sobre el espacio que ocupa el otro, entonces definiremos un parámetro nuevo; δ=D/d , donde δ=1 si los nanoimanes están juntos y tocándose en un punto, y δ=0 si los nanoimanes están puestos uno sobre el espacio del otro. Es decir, forman un solo nanodot.

El esquema en la figura 1 ilustra lo explicado anteriormente.
Hemos considerado una aleación de dos metales magnéticos, de Níquel y de Fierro, llamada Permaloy la cual tiene una magnetización de saturación de MS=$860\ x\ 103\ \ A/m$, y una constante de rigidez (magnéticamente hablando) de A=$13\ x\ 10\text{-}12\ \ J/m$. Para las simulaciones micromagnéticas, hemos dividido las estructuras en pequeños cubos de 1 nanómetro de lado, los cuales representarán un macroespín, un conjunto de espines apuntando en una misma dirección. Esto es válido, siempre que este cubo tenga un largo menor a largo que alcanza la interacción de intercambio entre espines cercanos, esta longitud característica se conoce como *"largo de Exchange"*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuando el campo magnético externo se aplica en la dirección horizontal, se pueden observar curvas de histéresis como las que se muestran en la figura 2. En particular, en la figura 2a, se observan las curvas de histéresis de un nanodot aislado (δ=0) hasta que los dots se empiezan a separar, quedando juntos y en contacto de un punto (δ=γ=1). La figura 2b muestra desde

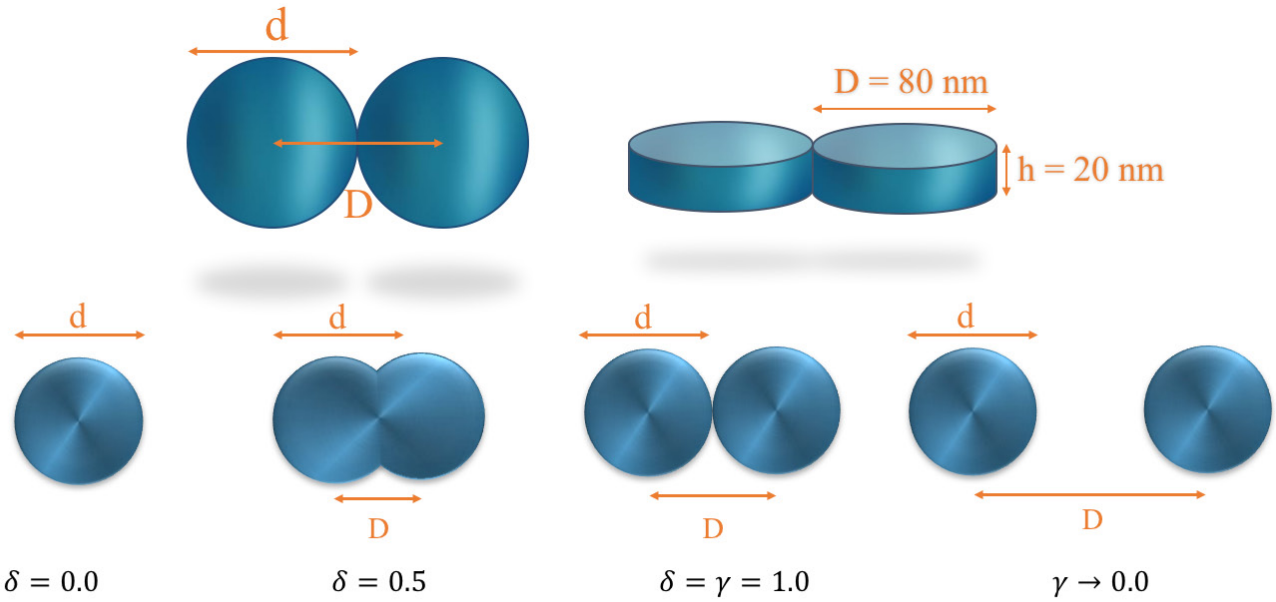


FIGURA 1

Esquema de la geometría de un nanodot, y la distribución espacial de dos nanodots.

que los dots están juntos hasta que se empiezan a separar por lo menos una distancia de 10 veces su diámetro (γ=0.1). Para las curvas de histéresis mostradas en la figura 2, se observa un cuello bien definido, lo que corresponde al comportamiento típico de la nucleación, propagación y aniquilación de una configuración del tipo vórtice de los momentos magnéticos en la nanoestructura de doble-dot. Para el caso δ<1, se observa la propagación de un solo vórtice, mientras que para el caso de γ<1, se observan dos vórtices. Un caso especial se representa cuando δ=γ=1, en donde la configuración se asemeja a un vórtice, pero sin un núcleo bien definido. Esta última configuración es menos estable que las otras que se generan, ya que la repuesta de la inversión de la magnetización ocurre a campos más bajos. Y cuando los parámetros γ y δ se hacen más pequeños, la configuración se hace más estable ya que las estructuras tienen un núcleo más definido.

Para entender mejor este comportamiento, se muestran en la figura 3 las configuraciones para los distintos casos descritos, en donde los colores indican la dirección hacia donde apuntan los espines. El color rojo, indica que todo ese grupo de espines apunta en la dirección del campo aplicado, que en este caso es la dirección horizontal en +x, por lo que los espines rojos apuntan hacia la derecha, tal como en el caso de la figura 0 que ilustra un vórtice. El caso del color azul, es cuando los espines apuntan en la dirección contraria a la que se aplicó el campo magnético externo, es decir, en este caso el grupo de espines que se encuentra dentro de la zona azul está apuntando hacia la izquierda. Las zonas verdes son las que no tienen una dirección horizontal, a esto se le conoce como que no tienen una proyección sobre el campo aplicado, por lo que pueden apuntar hacia arriba o hacia abajo. Con esta información se puede imaginar un vórtice, tal como el mostrado en la figura 0, la que corresponde al caso de la figura 3a.

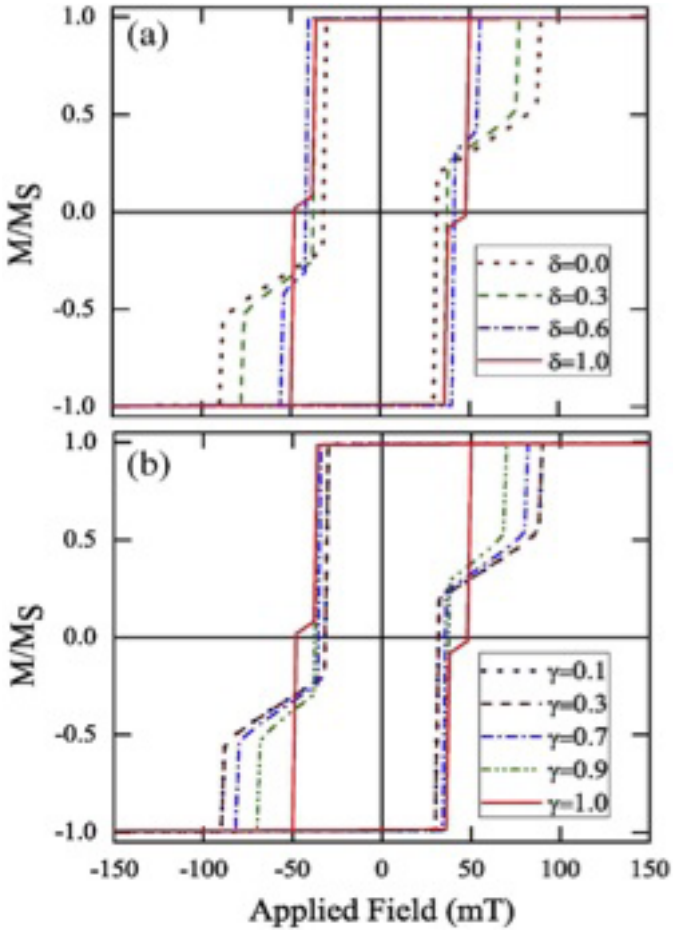


FIGURA 2

Curvas de histéresis de las estructuras de dobledot, cuando el campo se aplica en la dirección horizontal de la estructura.

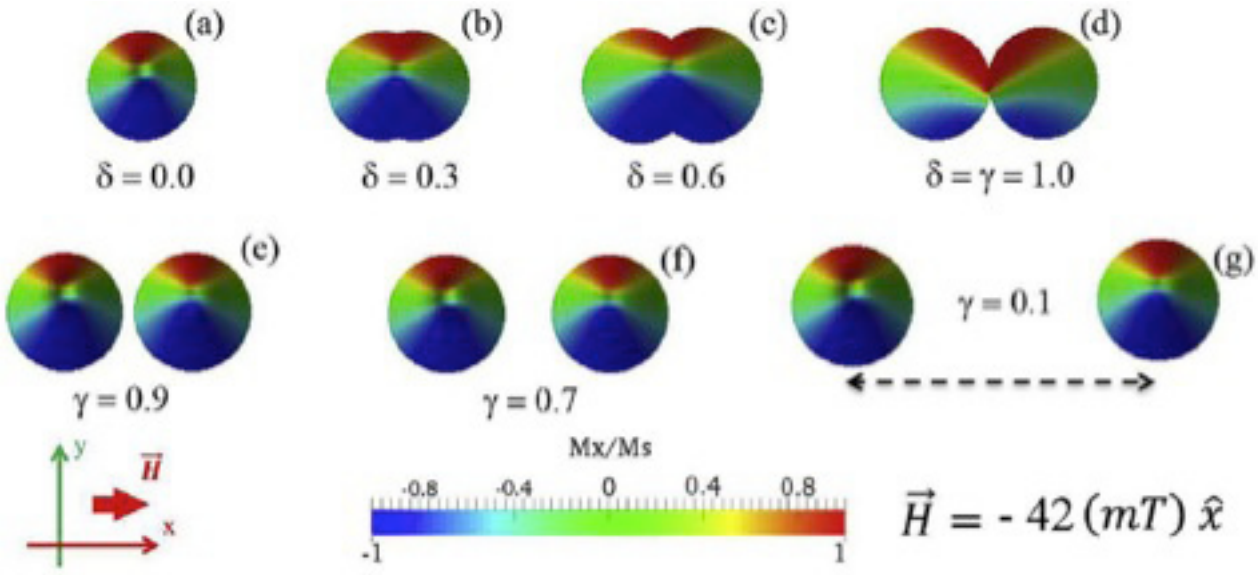


FIGURA 3

estructura de doble-dot, con distintas separaciones entre los nanoimanes. El campo magnético externo se aplicó en la dirección del eje X, la dirección horizontal. En las zonas rojas los espines apuntan hacia la derecha, en las zonas azules apuntan hacia la izquierda y en las zonas verdes los espines apuntan hacia arriba o hacia abajo.

Otra característica que se puede rescatar son las propiedades magnéticas de estos sistemas, en este caso nos referimos al campo coercitivo y a la magnetización remanente. Empecemos por el campo coercitivo; cuando la magnetización se invierte, es decir, cuando en la curva de histéresis se pasa del valor 1 al valor -1, existe una transición que en algún punto intersecta al eje horizontal, al eje del campo aplicado. Este punto de intersección representa el campo coercitivo, y está relacionado con el campo que se necesita para invertir la magnetización de la estructura, es decir, que todos los espines que apuntaban a la derecha, al aplicar un campo con la intensidad del campo coercitivo, ahora se invertirán y apuntarán hacia la izquierda. Si una curva de histéresis es más ancha, entonces tiene un campo coercitivo mayor, y es más difícil invertir la magnetización de ese sistema. Por otro lado, si una curva de histéresis es más delgada, este campo coercitivo es menor, y representa la posibilidad de invertir más fácilmente la magnetización del sistema.

La magnetización remanente, es la magnetización que permanece en el nanoimán cuando se le quita el campo magnético externo aplicado. Es decir, cuando el campo aplicado tiene un valor 0, es cuando la curva de histéresis intersecta al eje vertical, y este valor representa la cantidad de imanación del nanodot cuando se retira el campo aplicado.

En la Figura 4 se observa el comportamiento del campo coercitivo y la magnetización remanente para el caso en el que el campo se aplica en la dirección horizontal. Se observa de esta figura que cuando los nanoimanes están solapados, el campo coercitivo es mayor. Esto quiere decir, que se debe aplicar un campo más intenso para invertir la magnetización, nos costará más energía pasar de que los espines apunten de la derecha hacia la izquierda. Por otro lado, cuando los nanoimanes están separados, cuesta menos energía invertir la magnetización.

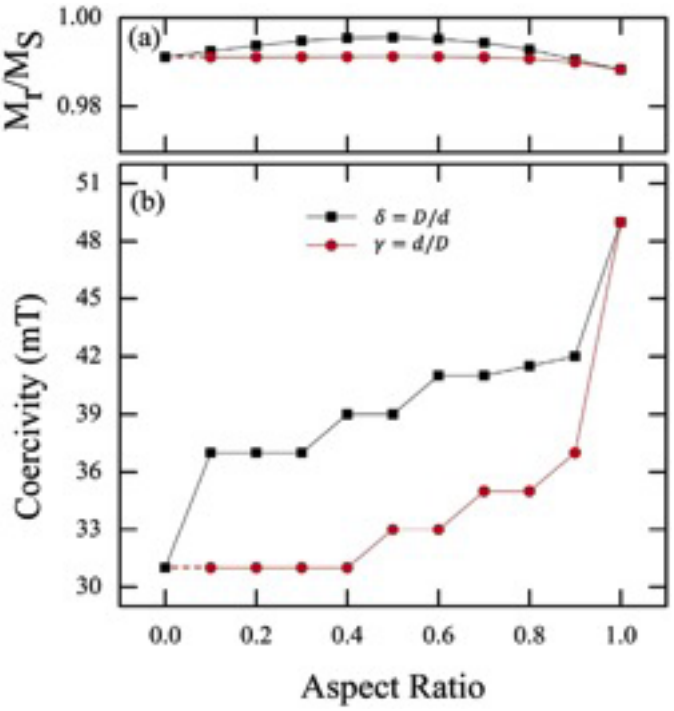


FIGURA 4

comportamiento del campo coercitivo y de la magnetización remanente en función de la separación entre los nanoimanes.

La magnetización remanente, en cambio, se mantiene casi constante para ambos casos; cuando los nanoimanes están solapados y cuando están separados. Aunque, se observa una pequeña diferencia y se puede observar que los nanoimanes solapados quedan un poco más imanados que los separados.

Los momentos magnéticos de los átomos en un nanoimán, se auto-configuran como vórtices en ciertas configuraciones geométricas y de campo magnético externo aplicado.

Además del caso en que el campo magnético, se aplica en el eje X, también se estudió el caso en el que el campo magnético se aplica en el eje Y. En este caso, se forman dos vórtices en las estructuras y estos vórtices comienzan a moverse a lo largo de la dirección X, es decir, se mueven perpendicularmente a la dirección de campo aplicado. Para este caso las curvas de histéresis lucen considerablemente distintas, debido a estas nuevas configuraciones magnéticas y a que el campo se está aplicando en una dirección que no es preferencial para el sistema. A estas direcciones preferenciales se les conoce como, anisotropía magnética, y radica en la forma, la estructura cristalina y otras propiedades de las partículas. Para una descripción más detallada los invito a leer la publicación original.

CONCLUSIONES

Hemos investigado el comportamiento de una estructura compuesta por dos nanoimanes con forma de pastilla, llamados nanodots. Hemos estudiado la configuración magnética, la anisotropía del sistema, y el acoplamiento magnetostático de las estructuras (es decir, como el campo generado por un nanoimán afecta al otro nanoimán). Los resultados muestran que la geometría y distribución del sistema afectan fuertemente a las propiedades magnéticas, donde en las curvas de histéresis magnética aparece un cuello bien pronunciado, lo que evidencia una reversión tipo vórtice. Solo en un caso, cuando los nanoimanes están juntos y se tocan en un punto, no se tiene un vórtice. Solo se tiene algo que se asemeja a un vórtice, pero sin un núcleo bien definido. Además, que los sistemas en los que los nanoimanes están solapados, es más difícil revertir la magnetización que en los sistemas de nanoimanes que están separados. Este tipo de estudio es muy útil a la hora de diseñar dispositivos lógicos o de almacenamiento de información, por lo que es aplicable a nuevas tecnologías que van a la vanguardia en el campo de dispositivos que ayuden a la informática y al renombrado Internet de las cosas (Internet of Things).

REFERENCIAS

[1] R.P. Cowburn, M.E. Welland, Science 287 (2000) 1466.

[2] M.M. Miller, G.A. Prinz, S.F. Cheng, S. Bounnak, Appl. Phys. Lett. 81 (2002) 2211.

[3] J.G. Zhu, Y. Zheng, G.A. Prinz, J. Appl. Phys. 87 (2000) 6668.

[4] J. Akerman, Science 308 (2005) 508.

[5] M. Klaui, C.A.F. Vaz, W. Wernsdorfer, Phys. Rev. Lett. 90 (2003) 097202.

[6] R.P. Cowburn, J. Phys. D 33 (2000) R1.

[7] H. Wang, H. Hu, M.R. McCartney, D.J. Smith, J. Magn. Magn. Mater. 303 (2006) 237.

[8] G. Shimon, A.O. Adeyeye, C.A. Ross, Phys. Rev. B 89 (024302) (2014).

[9] M. Zhu, C. Mathieu, W. Scholz, S. Dubbaka, M. Kautzky, J. Appl. Phys. 113 (2013) 17B905.

[10] A.O. Adeyeye, N. Singh, J. Phys. D 41 (2008) 153001.

[11] A. Fernandez, C.J. Cerjan, J. Appl. Phys. 87 (2000) 1395.

[12] J. I. Martin, J. Nogues, Kai Liu, J. L. Vicent, Ivan K. Schuller, J. Magn. Magn. Mater. 256 (2003) 449.

[13] M.Natali,A.Popa,U.Ebels,Y.Chen,S.Li,M.E.Welland,J.Appl.Phys.96(2004) 4334.

[14] Y. Li, T.X. Wang, J. Magn. Magn. Mater. 322 (2010) 2773.

[15] M. Natali, I.L. Prejbeanu, A. Lebib, L.D. Buda, K. Ounadjela, Y. Chen, Phys. Rev. Lett. 88 (2002) 157203.

[16] K.Y. Guslienko, A. Hoffmann, Phys. Rev. Lett. 97 (2006) 107203.

[17] J.E. Villegas, C.-P. Li, Ivan K. Schuller, Phys. Rev. Lett. 99 (2007) 227001.

[18] H. Shu-Ting, C. Shuang-Quan, S. Hui-Gang, Chin. Phys. B 20 (2011) 127503.

[19] Q. Ye, S. Chen, K. Zhong, Z. Huang, Phys. B 407 (2012) 790.

[20] S. Jain, H. Schultheiss, O. Heinonen, F.Y. Fradin, J.E. Pearson, S.D. Bader, V. Novosad, Phys. Rev. B 86 (2012) 214418.

[21] F. Lopez-Urias, J.J. Torres-Heredia, E. Munoz-Sandoval, Phys. B 483 (2016) 62.

[22] A. Imre, G. Csaba, L. Ji, A. Orlov, G.H. Bernstein, W. Porod, Science 311 (2006) 205.

[23] X. Zhu, J.-G. Zhu, IEEE Trans. Magn 39 (2003) 2854.

[24] M.J. Donahue, D.G. Porter, OOMMF User's Guide, Version 1.2a3, 2002. http://math.nist.gov/oommf.

Postgrados tan **Flexibles** como tú necesitas

Oferta
2do. Trimestre
2017

Programas flexibles articulados y modulares

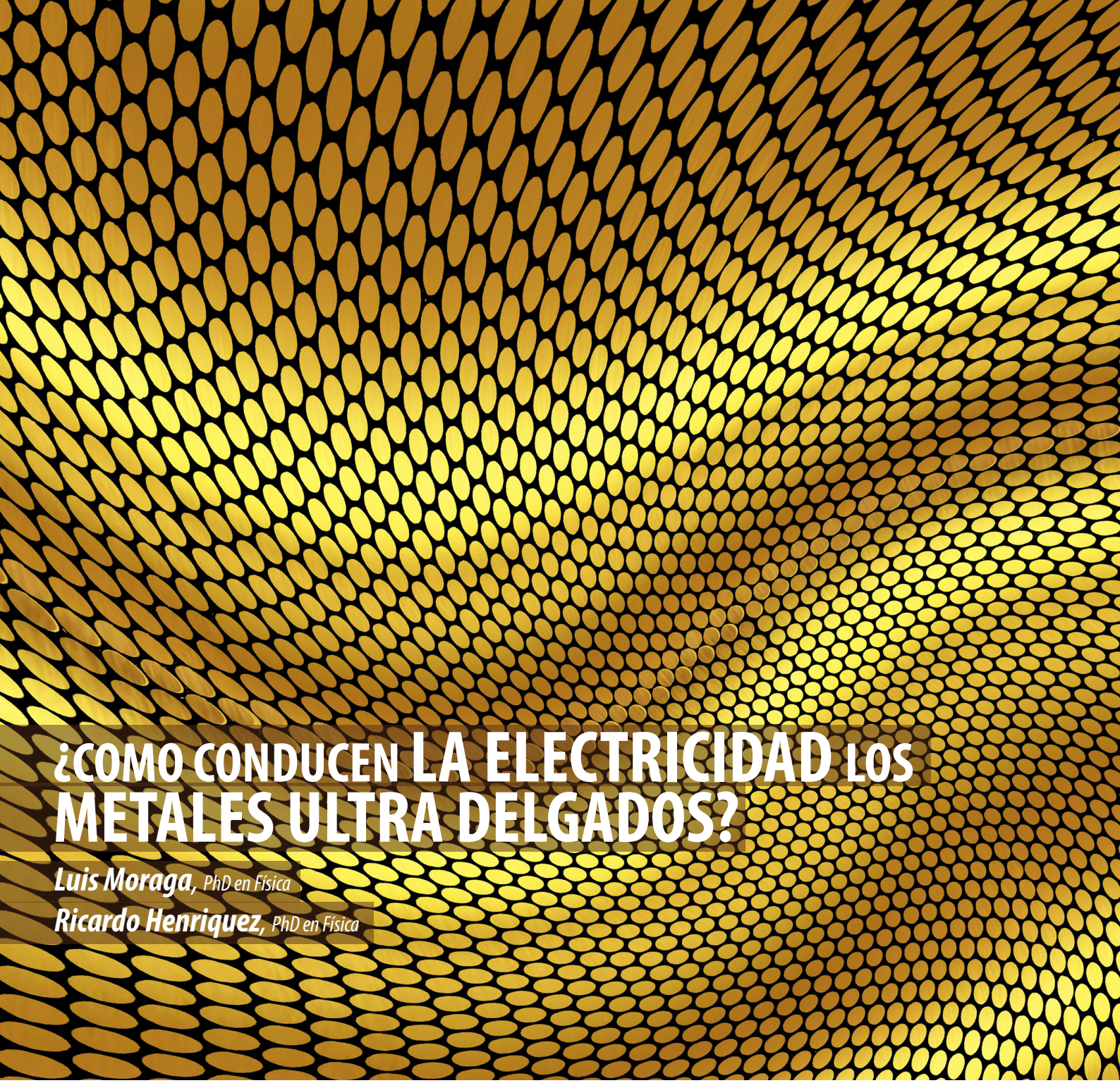
- Diplomados y postítulos.
- Magíster en 1 año y medio. 5 trimestres de 11 semanas c/u.
- Salidas intermedias con 3 diplomados internos.

Comisión Nacional de Acreditación CNA-Chile
3 años acreditada
DESDE DICIEMBRE 2014
HASTA DICIEMBRE 2017
GESTIÓN INSTITUCIONAL / DOCENCIA DE PREGRADO

600 6000 177
postgrados@ucentral.cl
www.ucentral.cl/postgrado

UNIVERSIDAD CENTRAL
INDEPENDENCIA • PLURALISMO • COMPROMISO

DIRECCIÓN DE COMUNICACIONES CORPORATIVAS



¿COMO CONDUCEN LA ELECTRICIDAD LOS METALES ULTRA DELGADOS?

Luis Moraga, *PhD en Física*
Ricardo Henriquez, *PhD en Física*

ABSTRACT

La posibilidad de controlar las variables que determinan la resistencia eléctrica en los conductores metálicos muy delgados tiene actualmente una vasta importancia tecnológica. A menudo estos conductores son películas o alambres que carecen de una estructura continua y están formados en cambio por una acumulación de granos débilmente acoplados. Así, el transporte de electrones es un proceso discontinuo, dominado por las limitaciones del efecto túnel, el que a su vez está determinado por las fluctuaciones de carga. Además, este transporte por túnel no consiste en una sucesión de eventos individuales, sino que en una danza coherente —denominada cotúnel— en que participan concertadamente varios electrones. Por otra parte, especialmente en las etapas iniciales de su fabricación, los granos están tan separados que no existe una ruta directa para el transporte de carga de un extremo al otro del conductor. Por el contrario, el proceso es semejante a la percolación de un líquido a través de un material poroso. A pesar de que todos estos procesos resultan de la interacción dinámica de muchas partículas —y su comprensión está, por lo tanto, situada en la frontera del tratamiento teórico de la ciencia actual— es posible obtener resultados importantes a partir de consideraciones elementales. Estas se refieren especialmente a la dependencia de la conductividad eléctrica como función de la temperatura, cuya investigación es una de las herramientas de mayor interés experimental. En este trabajo revisaremos algunos de estos resultados teóricos con la intención de proponer las bases para la interpretación de las investigaciones experimentales actualmente en progreso.

INTRODUCCIÓN

A fines del siglo pasado nació un nuevo campo de estudio, usualmente conocido como nanociencia, cuyo explosivo crecimiento continúa hasta hoy. Este campo se extiende a través de la química, la física y la ingeniería y comprende desde problemas fundamentales hasta aplicaciones tecnológicas (en cuyo caso la ciencia se denomina usualmente nanotecnología). El propósito de esta nueva ciencia consiste en entender, construir y controlar objetos cuyo tamaño se extiende a unos pocos nanómetros y, por lo tanto, están compuestos de unos pocos átomos.

Los materiales de la nanociencia son, por tanto, intermediarios entre los átomos y moléculas y la materia de tamaño macroscópico. Para comprender sus propiedades, que son a menudo imprevisibles desafíos a la intuición, es necesario utilizar las herramientas de la mecánica cuántica de muchas partículas —lo que usualmente sitúa estos problemas en las fronteras de la investigación teórica actual. Además, tanto la fabricación, la manipulación como la investigación experimental de estos nanomateriales implica problemas prácticos que son altamente no triviales. Como, por otra parte, las propiedades de estos nanomateriales dependen, de una manera substancial de sus dimensiones o de la temperatura, se abren así oportunidades novedosas de estudio o de control.

Gran parte de los avances contemporáneos en informática han resultado de una miniaturización continuada de los componentes electrónicos, con un progreso que ha alcanzado una velocidad prodigiosa. Como cada generación de componentes ha disminuido progresivamente en tamaño, se tiene que tanto los dispositivos como las interconexiones están ya constituidos por pocos átomos. Por lo tanto, el problema del transporte de carga en estas nanoestructuras tiene una relevancia importante. Dependiendo de su estructura detallada, estos materiales pueden exhibir un amplio espectro de diferentes procesos, que van desde conductividad por saltos hasta aquellos característicos de los líquidos de Fermi confinados. Los detalles de muchos de estos procesos son todavía misterios cuya solución constituye hoy una interesante área de investigación. Además, sin duda, existen allí ocultos nuevos y, quizás, sorprendentes fenómenos en espera de sus descubridores.

Los efectos del bloqueo Coulombiano

Las películas metálicas muy delgadas o los alambres muy finos no tienen un espesor uniforme, sino que están formados por islotes alargados, distribuidos de manera ramificada y de forma irregular. En las etapas iniciales de formación del material, los islotes no se tocan entre sí, si no que están separadas por brechas de largo L igual a pocos nanómetros. Los electrones pueden atravesar estas barreras —con una probabilidad que decrece muy rápidamente con L— mediante un proceso puramente cuántico, llamado efecto túnel. Para poder hacer esto, existe un obstáculo adicional —llamado bloqueo Coulombiano que cada electrón debe remontar. Cuando un electrón abandona un grano metálico deja tras de sí una carga positiva y agrega una negativa al grano al cual llega. Para esto requiere adquirir una energía de bloqueo Coulombiano (o de carga) Ec. Finalmente, como los electrones son partículas de Fermi y dos de ellos no puede ocupar un mismo estado, la probabilidad de transición entre el grano de la izquierda i y el de la derecha d depende de la probabilidad combinada de que el estado inicial de energía E esté ocupado —lo que ocurre con probabilidad f(E)— y el final esté desocupado —lo que ocurre con probabilidad $1 - \mathrm{f}\,(\xi - \mathrm{E_c} + \mathrm{eV})$; en donde f es la distribución de Fermi-Dirac

$$1 - f(\mathcal{E} - E_c + eV)$$

en donde f es la distribución de Fermi-Dirac

$$f(\mathcal{E}) = \frac{1}{1 + e^{(\mathcal{E}-\mathcal{E}_F)/k_B T}}$$

T es la temperatura, ξ_F es la energía de Fermi en el metal y V es el voltaje aplicado al material. Al restar la corriente producida por los electrones que saltan en sentido opuesto, tenemos que la corriente neta I está dada por

$$\begin{aligned} I &= \frac{4\pi e}{\hbar} \sum_{i,d} |T_{i,d}|^2 \left\{ f(E_i - eV) \left[1 - f(E_d - E_c)\right] \right. \\ &\quad \left. - f(E_d) \left[1 - f(E_i - eV - E_c)\right] \right\}, \end{aligned}$$

en donde *e* es la carga del electrón y la suma es sobre todos los niveles de energía E_i e E_d de las nanopartículas de la izquierda y derecha, respectivamente. La cantidad $T_{i,d}$ es la matriz de la transición —que, por describir un proceso elástico, es nula si $E_i \neq E_d$.

Las consideraciones que siguen están basadas en las referencias [1] a [5]. Debido a que en una partícula de tamaño nanoscópico los niveles de energía están muy próximos y que, por otra parte, tanto eV como la energía del bloqueo Coulombiano E_c son mucho menores que la energía de Fermi E_F , la suma de la ecuación de I mostrada anteriormente se puede aproximar por una integral

$$\begin{aligned} I &= \frac{4\pi e}{\hbar} |T(\mathcal{E}_F)|^2 \rho^2(\mathcal{E}_F) \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ f(\mathcal{E} - eV) \left[1 - f(\mathcal{E} - E_c)\right] \right. \\ &\quad \left. - f(\mathcal{E}) \left[1 - f(\mathcal{E} - eV - E_c)\right] \right\} d\mathcal{E}, \end{aligned}$$

en donde $\rho(E_F)$ es la densidad de estados en el nivel de Fermi. La integral puede ser extendida desde menos a más infinito porque (para temperaturas razonables) las funciones f(E) son diferentes de cero o uno sólo en un intervalo estrecho de la variable E.

La integral sobre E debe ser realizada con cuidado, porque es singular. En efecto,

$$\begin{aligned}
&\int_{-\infty}^{\infty} f(\mathcal{E})\,[1-f(\mathcal{E}-eV-E_c)]\,d\mathcal{E}\\
&= \frac{1}{e^{(eV+E_c)/k_BT}}\int_{-\infty}^{\infty}[f(\mathcal{E}-eV-E_c)-f(\mathcal{E})]\,d\mathcal{E}\\
&= \frac{1}{e^{(eV+E_c)/k_BT}}\int_{-\infty}^{\infty}\mathcal{E}\left\{\left[-\frac{\partial f}{\partial \mathcal{E}}(\mathcal{E}-eV-E_c)\right]-\left[-\frac{\partial f}{\partial \mathcal{E}}(\mathcal{E})\right]\right\}d\mathcal{E}\\
&= \frac{eV-E_c}{e^{(eV+E_c)/k_BT}},
\end{aligned}$$

en donde se ha integrado por partes y utilizado el hecho que $[-\partial f(E)/\partial E] \simeq \delta(E - E_F)$.
De este modo, la corriente eléctrica I es

$$I = \frac{4\pi e}{\hbar}\,|T(\mathcal{E}_F)|^2\,\rho^2(\mathcal{E}_F)\left[\frac{E_c+eV}{1-e^{(E_c+eV)/k_BT}}-\frac{E_c-eV}{1-e^{(E_c-eV)/k_BT}}\right]$$

Si $eV \ll E_c$, la corriente obedece a la ley de Ohm.

$$I = \frac{4\pi e^2}{\hbar}\,|T(\mathcal{E}_F)|^2\,\rho^2(\mathcal{E}_F)\left[\frac{1-(1-e^{E_c/k_BT})e^{E_c/k_BT}}{(1-e^{E_c/k_BT})^2}\right]V$$

La forma de la conductividad adimensional $g(E_c/k_BT)$

$$g(x) = \frac{1-(1-e^x)e^x}{(1-e^x)^2}$$

está ilustrada en la figura 1. Notamos que, a bajas temperaturas $k_BT \ll E_c$, $g(E_c/k_BT) \approx \exp(-E_c/k_BT)$ mientras que, a temperaturas altas $g(E_c/k_BT) \approx \exp(-E_c/3k_BT)$.

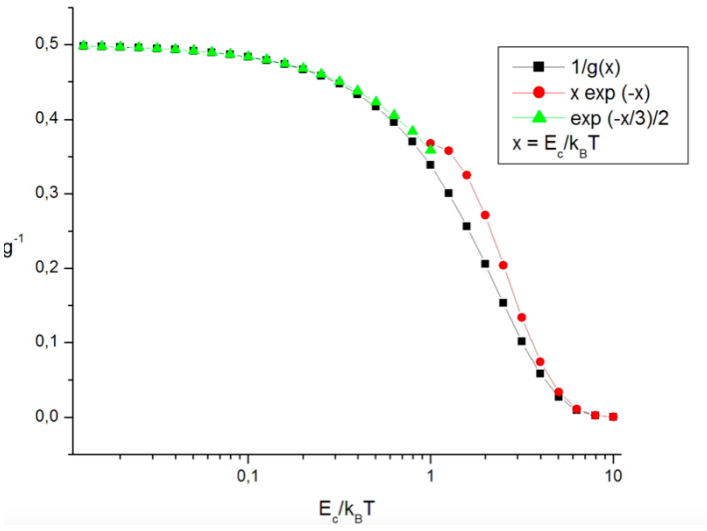


FIGURA 1

La conductividad adimensional g como función de la temperatura (ecuación (6)). Tanto a temperaturas altas ($g \simeq \exp(-E_c/3k_BT)$) como a bajas ($g \simeq \exp(-E_c/k_BT)$) el proceso se parece a uno gobernado por una energía de activación.

La Percolación

La conductancia total G de una red de conductores desordenados es

$$G = G_0 e^{-\xi_c},$$

donde ξ_c es el valor de ξ en el umbral de percolación, es decir, el punto en que aparecen los primeros caminos conductores —quizás largos y complejos— que conectan un extremo de la muestra con el otro. El punto no es desentrañar la forma del prefactor independiente de la temperatura G_0, si no que averiguar cómo depende ξ_c de la temperatura. La manera de hacer esto está descrita en las referencias [2, 4]. Si f_c es la fracción de conductores presentes en el umbral de percolación y $P(\xi)$ la densidad de probabilidad de encontrar dos nanopartículas vecinas con conductancia G0e–ξ, entonces ξ_c está dado por

$$f_c = \int_0^{\xi_c} P(\xi)d\xi$$

Suponiendo que L y E_c son variables no correlacionadas

$$P(\xi) = (1-f_v)\int P_\lambda(\lambda)P_{\mathcal{E}}(\mathcal{E})\delta\left[\xi-\lambda-\ln g(\mathcal{E})\right]d\lambda d\mathcal{E},$$

en donde f_v es la fracción de sitios vacíos y $P_\lambda(\lambda)$ y $P_E(E)$ son, respectivamente, las densidades de probabilidad de que exista un par de nanopartículas vecinas separadas por una brecha de longitud L y energía de Coulomb E_c. En esta ecuación g es la función definida en (6); con

$$\lambda = L\exp\sqrt{\frac{8mU_0}{\hbar^2}};\quad \mathcal{E} = E_c/k_BT;$$

m es la masa efectiva de los portadores y U_0 la intensidad de la barrera de potencial que separa las nanopartículas. La fórmula final es

$$f = \frac{f_c}{1-f_v}\int_0^\infty d\mathcal{E}P_{\mathcal{E}}(\mathcal{E})\int_0^{\xi_c}d\xi P_\lambda\left[\mathcal{E}-\ln g(\mathcal{E})\right].$$

Como la forma exacta de estas probabilidades es desconocida, Müller et al. [2, 4] suponen que son distribuciones uniformes; es decir

$$P_\lambda(\lambda) = \begin{cases}(\Delta\lambda)^{-1} & \text{si } \bar\lambda-\frac{1}{2}\Delta\lambda \le \lambda \le \bar\lambda+\frac{1}{2}\Delta\lambda\\ 0 & \text{en caso contrario,}\end{cases}$$

$$P_{\mathcal{E}}(\mathcal{E}) = \begin{cases}(\Delta E)^{-1} & \text{si } \bar E-\frac{1}{2}\Delta E \le \mathcal{E} \le \bar E+\frac{1}{2}\Delta E\\ 0 & \text{en caso contrario.}\end{cases}$$

La dependencia de ξ_c con la temperatura está ilustrada en las figuras 2 a 5. De acuerdo con la tabla 1 de la referencia [4], hemos supuesto que, uniforme- mente, $\bar{\lambda} = 2$. Como $0 \leq f \leq 1$, se ha computado en cada caso curvas para los valores f = 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8. La figura 2 ilustra el caso en que las sean grandes tanto la dispersión típica ΔL de la longitud de las brechas L como ΔE_c, la dispersión típica de las energías de bloqueo Coulombiano Ec. La figura 3 muestra el caso opuesto, en que estas dispersiones típicas son pequeñas en comparación con los valores medios de L y E_c. Finalmente, la figura 4 ilustra el caso en que ΔL es pequeño, pero ΔEc es grande mientras que la 5 muestra el caso opuesto en que ΔL es grande y ΔE_c es pequeño.

La manera como depende ξc (y, por lo tanto, la conductancia y la corriente) de la temperatura puede ser extraída de estas figuras. Notamos que ξ_c es proporcional a $(E_c/k_BT)^{\alpha}$; en donde el exponente α toma distintos valores a temperaturas bajas y altas, ejecutando una transición suave a una temperatura intermedia. A altas temperaturas, el exponente es semejante a uno y, en todo caso, sus valores son sólo débilmente dependientes de la temperatura y del tamaño del parámetro f.

EL EFECTO TÚNEL COHERENTE

Los procesos de conducción basados en pasos a lo largo de sucesivos granos utilizando el efecto túnel no son muy efectivos, porque la probabilidad de atravesar cada barrera disminuye rápidamente con la distancia entre grano y grano. En contraste, el efecto túnel coherente (o cotúnel) —descubierto por primera vez por Averin y Nazarov— es mucho más eficaz porque en él se mueven de una manera cooperativa varias cargas electrónicas sólo entre granos vecinos. [6] Por ejemplo, para transportar un electrón entre el grano número cero y el grano

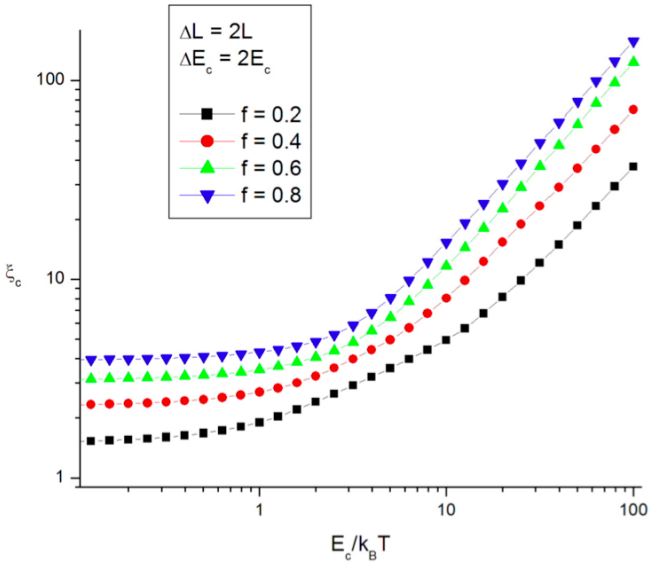


FIGURA 2

Valores de ξ_c en el umbral de percolación como función de la temperatura para diferentes valores de $f = f_c/(1 - fv)$ (ecuación (11)) en el caso en que las dispersiones típicas tanto de L como de Ec son grandes. A temperaturas altas $\xi_c \simeq E_c/k_BT$, pero a temperaturas bajas $\xi_c \simeq (E_c/k_BT)a$, en que el exponente a depende sólo débilmente de f. La transición entre una y otra conducta es suave.

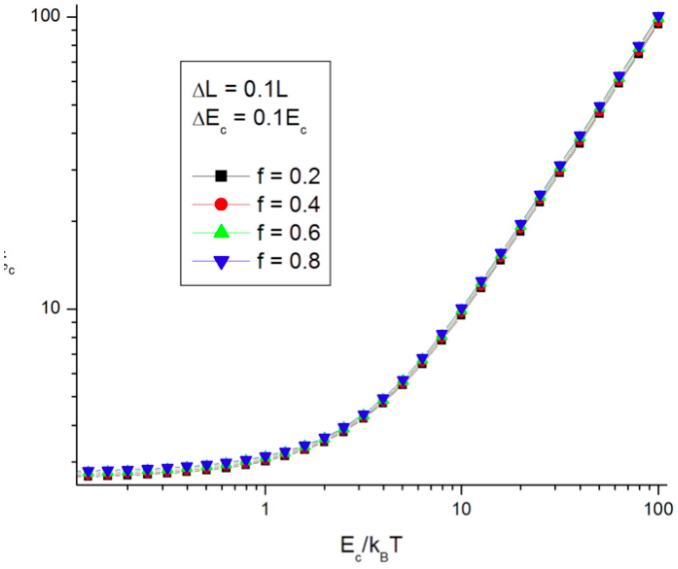


FIGURA 3

Valores de ξ_c en el umbral de percolación ´n como función ´n de la temperatura (ecuación (11)) en el caso en que la dispersión típica tanto de L como de E_c son pequeñas. Aquí ξ_c casi no depende de $f = f_c/(1-f_v)$. A temperaturas altas $\xi c \simeq E_c/k_BT$, pero a temperaturas bajas $\xi_c \simeq (E_c/k_BT)a$. La transición entre una y otra conducta es suave.

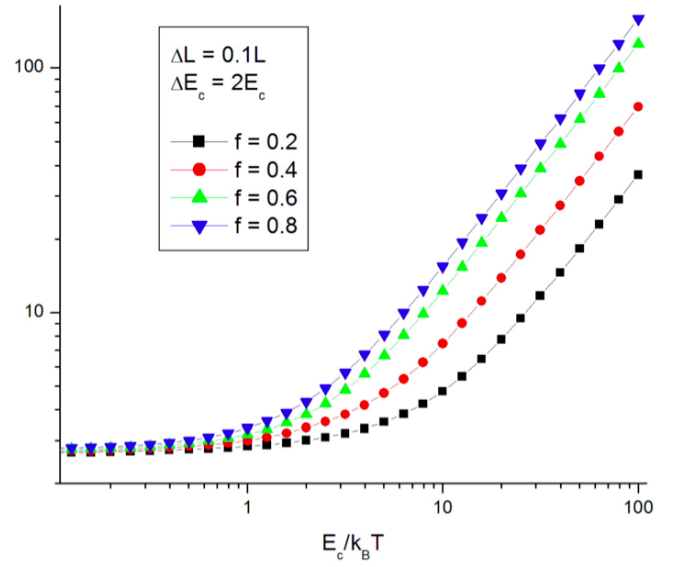


FIGURA 4

Valores de ξ_c en el umbral de percolación como función de la temperatura (ecuación (11)) en el caso en que la dispersión típica de L es pequeña, mientras que la de Ec es grande. Aquí el grado en que ξ_c depende de $f = f_c/(1 - f_v)$ aumenta en la medida que disminuye la temperatura. De nuevo, a temperaturas altas $\xi_c \simeq E_c/k_BT$, pero a temperaturas bajas $\xi_c \simeq (E_c/k_BT)a$. La transición entre una y otra dependencia es suave.

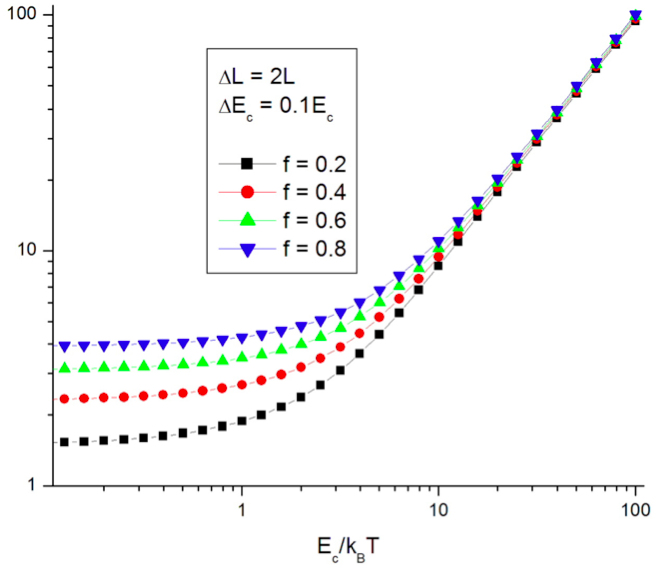


FIGURA 5

Valores de ξ_c en el umbral de percolación como función de la temperatura (ecuación (11)) en el caso opuesto en que la dispersión típica de L es grande, mientras que la de Ec es pequeña. Aquí el grado en que ξ_c depende de $f = f_c/(1 - f_v)$ disminuye cuando disminuye la temperatura. De nuevo, a temperaturas altas $\xi_c \simeq E_c/k_BT$, pero a temperaturas bajas $\xi_c \simeq (E_c/k_BT)^a$. La transición entre una y otra dependencia es suave.

número cinco mediante efectos túnel sucesivos habría que considerar el paso del grano cero al primer grano, de allí al segundo; etc. En cambio, en el cotúnel, se transporta al mismo tiempo, por túnel, un electrón desde el grano cero al primero, un otro electrón desde el primero al segundo, etc. —todo ello gobernado por una sola función de onda de cinco partículas. El efecto neto es el mismo; pero las probabilidades son bien diferentes.

Como este es un proceso eminentemente cuántico, sólo puede ocurrir para partículas que se encuentran en regiones espaciales de tamaño menor que la longitud de coherencia ξ_{in} —una cantidad que disminuye a medida que aumenta la temperatura.

En el caso del cotúnel, la probabilidad Pin que un electrón sea transportando desde un grano i_0 con energía E_0 hasta el grano i_{N+1} con energía E_{N+1} es [7, 8]

$$P_{in} = \frac{w}{4\pi k_B T}\frac{\bar{g}^{N+1}}{\pi^{N+1}}\left[\frac{4\pi k_B T}{\bar{E}}\right]^{2N}\frac{|\Gamma[N(1+ix)]|^2}{\Gamma(2N)}e^{-\Delta/2k_BT},$$

en donde

$$w = f(\mathcal{E}_0)[1 - f(\mathcal{E}_{N+1})],$$

$\bar{}$ y E $\bar{}$ son las conductancias y energías de excitación partícula-laguna promediadas a lo largo del camino recorrido por el cotúnel,

$$\Delta = \mathcal{E}_{N+1} - \mathcal{E}_0$$

es la diferencia de energías entre el estado final y el inicial,

$$x = \frac{\Delta}{2\pi N k_B T},$$

y Γ(x) es la función gamma. De acuerdo con el procedimiento de las referencias [7] y [8], es conveniente

escribir esta probabilidad como

$$P_{in} = P_0 e^A,$$

en donde la acción es

$$A = -\frac{2N}{\xi_{in}} + \ln\Gamma\left[N(1+ix)\right] + \ln\Gamma\left[N(1-ix)\right] - \frac{\Delta}{2k_BT},$$

y ξin es la longitud de localización

$$\xi_{in}^{-1} = \tfrac{1}{2}\ln\left(\frac{\bar{E}^2}{16c\pi\bar{g}k_B^2T^2}\right),$$

que depende débilmente de la temperatura. (c es una constante de orden de magnitud uno.)

Como existen muchos caminos posibles entre el grano inicial y el final, que conducen todos en paralelo, el proceso de conducción está dominado por el camino más corto. El paso siguiente consiste en minimizar el valor de la acción (14) con respecto a variaciones de N, bajo la restricción de mantener constante la cantidad b, definida por

$$\frac{Na\Delta\tilde{\kappa}}{e^2} = b,$$

es decir, dΔ/dN = −Δ/N. Aquí $\tilde{\kappa}$ denota la constante dielétrica del medio en el que están inmersos los granos y a es el diámetro típico de un grano. Para simplificar esta minimización conviene utilizar la aproximación asintótica de Stirling

$$\ln\Gamma(x) \sim (x - \tfrac{1}{2})\ln x - x + \tfrac{1}{2}\ln(2\pi).$$

Despreciando algunos términos de orden N −1 y un irrelevante ln 4, la condición de minimización de A es

$$\frac{2}{\xi_{in}} = \ln(1+x^2) + \pi x\left(1 + \frac{2}{\pi}\arctan x\right).$$

De acuerdo con las ecuaciones precedentes el valor de la acción A en este mínimo es

$$-A\sqrt{C\xi_{in}k_BT} = \tfrac{1}{2}\sqrt{\pi\xi_{in}x}\left(1+\frac{2}{\pi}\arctan x\right),$$

con la constante C dada por

$$C = \frac{a\tilde{\kappa}}{8be^2},$$

y la relación entre ξ_{in} y x está dada por (22). La dependencia de A en x (y, por lo tanto, en temperatura) dada por esta ecuación está ilustrada en la figura 6. Es interesante notar que −A es esencialmente proporcional a $(1/\xi_{in}k_BT)^{1/2}$, con la constante de proporcionalidad variando débilmente, en las cercanías de uno, dentro de un amplio intervalo de temperaturas.

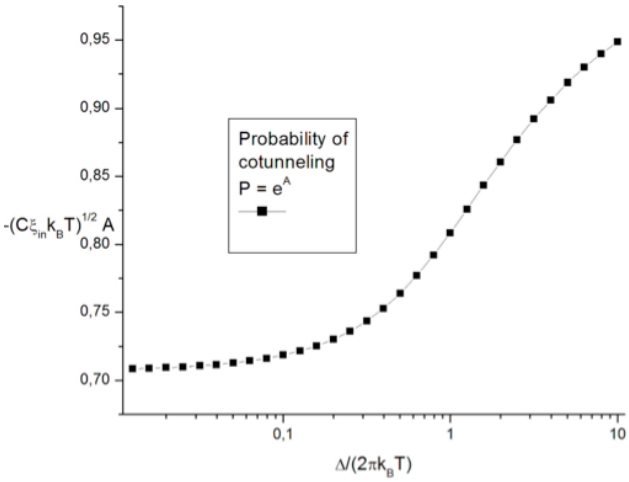


FIGURA 6

La probabilidad de transmisión por cotúnel (y por lo tanto, la conductividad y la corriente) es proporcional a exp(A). El cálculo de la dependencia de la acción A con la temperatura (de acuerdo con la ecuación (23)) muestra que $-\xi_{in}k_BTA$ es esencialmente independiente de la temperatura; y que, por lo tanto, $P \simeq exp(-T0/\xi_{in}T)$.

CONCLUSIONES

Cuando se mide la conductividad eléctrica de películas metálicas delgadas o alambres finos, se encuentra tres distintos cartabones de conducta. Para mues- tras de tamaño mayores que unos cientos de nanómetros las propiedades son esencialmente las del metal en grueso. Si la sección de la muestra es de decenas de nanómetros, se encuentra que la conductividad disminuye porque las dimensiones de la muestra son menores que el libre camino medio de los porta- dores. Finalmente, cuando el metal tiene unos pocos nanómetros de espesor, la conductividad se reduce en varios órdenes de magnitud y el coeficiente de resistividad con la temperatura es negativo. Es este el tipo de material que nos interesa aquí.

A partir de las investigaciones más tempranas se sabe que las muestras metálicas tan delgadas consisten en una superposición de islotes pequeños y separados unos de otrs por brechas de tamaño nanoscópico [9, 10]. El hecho que el coeficiente de resistencia con la temperatura sea negativo sugiere un proceso de activación térmica, con probabilidades de salto proporcionales a exp(–T0/T). Mediciones precisas han confirmado este tipo de conducta [1]. Sin embargo, investigaciones posteriores mostraron la presencia de otros procesos con probabilidades proporcionales a exp(– T1/T). Esta variedad de conductas es el resultado de la multiplicidad de procesos de conducción que conviven en este tipo de muestras.

En este trabajo hemos determinado la dependencia en la temperatura de los procesos de bloqueo Coulombiano, la percolación y el cotúnel. (Notamos que la dependencia con la temperatura de este último proceso sólo había sido obtenida en el pasado para el caso de temperaturas altas.) Además, la proporción con que cada uno de estos procesos contribuyen a la conductividad total puede ser estimada experimentalmente. Por ejemplo, a partir de microfotografías de las muestras, se puede determinar la distribución estadística de la separación y el tamaño de los granos (la que, a su vez, determina la distribución de energías Ec).

Al presente hemos medido la conductividad eléctrica, a temperaturas que varían desde 4 a 300 K, de un buen número de películas metálicas ultradelgadas, preparadas bajo condiciones que aseguran una morfología precisa. Las consideraciones del presente trabajo permitirán entender cuáles son los diferentes procesos en juego; y en qué proporción contribuye cada uno.

BIBLIOGRAFÍA

[1] C. A. Neugebauer y M. B. Webb, J. Appl. Phys. 33, 74 (1962).

[2] K.-H. Mu¨ller, J. Herrmann, B. Raguse, G. Baxter, y T. Reda, Phys. Rev. B 66, 075417 (2002).

[3] M. M. A. Yajadda, K.-H. Mu¨ller, y K. Ostrikov, Phys. Rev. B 84, 235431 (2011).

[4] K.-H. Mu¨ller y M. M. A. Yajadda, J. Appl. Phys. 111, 123705 (2012).

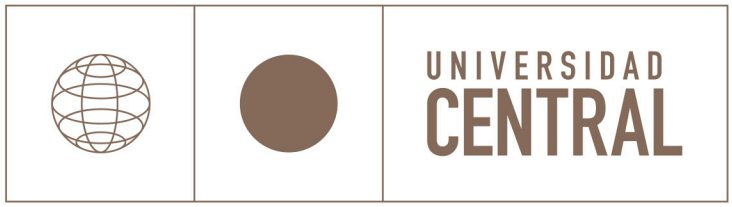
[5] M. M. A. Yajadda, J. Appl. Phys. 116, 153707 (2014).

[6] D. V. Averin y Y. V. Nazarov, Phys. Rev. Lett. 65, 2446 (1990).

[7] I. S. Beloborodov, A. V. Lopatin y V. M. Vinokur, Phys. Rev. B 72, 125121 (2005).

[8] I. S. Beloborodov, A. V. Lopatin, V. M. Vinokur, y K. B. Efetov, Rev. Mod. Phys. 79, 469 (2007).

[9] H. J. Levinstein, J. Appl. Phys. 20, 306 (1949). [10] R. S. Sennett y G. D. Scott, J. Opt. Soc. Am. 40, 203 (1950).



INDEPENDENCIA · PLURALISMO · COMPROMISO

UNIVERSIDAD CENTRAL

INDEPENDENCIA · PLURALISMO · COMPROMISO

ADSCRITA al SISTEMA ÚNICO DE ADMISIÓN del CRUCH

92,3% de carreras acreditadas
del total de carreras acreditables

5 años promedio de acreditación de carreras

67% de académicos
con grado de doctor o magíster, de un total de 1.200 docentes

17 centros de investigación

85,3% empleabilidad promedio
al primer año de egreso

201 convenios internacionales
con América, Europa y Asia

Comisión Nacional de Acreditación CNA-Chile

ACREDITADA
3 años. Gestión Institucional. Docencia de Pregrado.
HASTA DICIEMBRE 2017

www.ucentral.cl