

20  
23

VOLUMEN 13

# INGENIERÍA

## ALDÍA

### OBSERVANDO A TRAVÉS DE LAS INTERACCIONES MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA EN LA UCEN

(14)

#### Transformación electroquímica de CO<sub>2</sub> a compuestos de un alto valor agregado

Las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> son consideradas el principal indicador de cambio climático y su aumento en los últimos 50 años.

(24)

#### Detección e Identificación de Fallas en Sistemas Estocásticos usando la Varianza de la Transformada Wavelet Continua

Se presenta un novedoso método para detectar fallas en un proceso dinámico, basado en la Transformada Wavelet Continua (TWC)

(30)

#### Entrevista a Mauricio Riveros Rodríguez

Frente a la contaminación medioambiental los países del mundo han impulsado el uso de energías renovables y sostenibles para mitigar estos efectos, para conocer el estado actual de Chile y la planificación a futuro en este ámbito

(44)

#### Mujeres en STEAM, semblanza de Natacha Pino

Desde niña me cautivaron los números y las matemáticas, esto porque mis padres son profesores de matemáticas y por lo tanto siempre me inculcaron esa curiosidad no sólo por los números sino por la ciencia.

(58)



Universidad  
Central

---

## DIRECTOR EJECUTIVO

**Dr. Cristian Millán**, Decano Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Central de Chile.

---

## DIRECTOR EDITORIAL

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

---

## EDITOR EN JEFE

**Paulina Márquez**, Académica investigadora de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

---

## EQUIPO EDITORIAL

**Alejandro Riveros**, Académico investigador de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

**Juan F. Fuentealba**, Académico investigador de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

**Felipe Tejo**, Académico investigador de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

**Angie Barr**, Académica investigadora de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

**Juan Magaña**, Académico investigador de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

---

**Esteban Sánchez**, Periodista de la Dirección de Comunicaciones Corporativas.

---

**Sebastián Chandía**, Diseño gráfico

---

Presentamos el volumen N°13 de nuestra revista "Ingeniería al Día" (IAD), cuyo fin es difundir el quehacer de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, impulsando la divulgación de la ciencia y de la tecnología a través una sección de artículos de divulgación, buscando explicar sin mayores tecnicismos los trabajos de las diferentes áreas del conocimiento científico que se desarrollan en nuestra Escuela de Ingeniería, con el objetivo de facilitar la comprensión de los lectores e incentivar a la comunidad a acercarse a la ciencia. En este volumen usted emprenderá un viaje, guiado por el trabajo de nuestros equipos, desde el mundo de lo muy pequeño al ámbito de inmensidades cuyas dimensiones desafían nuestra comprensión, sobre el aporte imprescindible de la Mujer en Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas, sobre la aplicación del conocimiento ingenieril a optimización de procesos de relevancia para el cuidado del medioambiente y para enfrentar el cambio climático, acerca del desarrollo de sistemas robóticos que hacen uso de sofisticados procesos de aprendizaje artificial y por último sobre nuestro estado y perspectivas país en la adopción de fuentes de energía más amigables con el entorno, terminando con un análisis científico-cinematográfico a una película reciente muy premiada sobre el desarrollo de la tecnología nuclear en las postrimerías de la Segunda Guerra Mundial.

Iniciamos con el artículo de portada de este volumen, donde los autores explican cómo los potentes microscopios actuales, como por ejemplo, el microscopio de fuerza atómica (AFM) Jupiter Oxford instalado en la FINARQ, son capaces de "observar" a escala nanométrica, junto con presentar la gran versatilidad de aplicaciones que presenta este equipo. Cabe destacar que este microscopio fue el segundo concurso FONDEQUIP obtenido por nuestra Facultad, y el segundo de nuestra Institución, y desde este año ambos están operativos en su totalidad.

Siguiendo en la escala microscópica, en otro artículo nos encontramos con la palabra "magnones", pero ¿Qué son los magnones? Desde la Universidad de la Frontera el Dr. Vidal-Silva nos explica este concepto y cómo los magnones podrían ser aplicados en dispositivos para la transmisión de información a alta velocidad y de bajo consumo energético.

No cabe duda de que la nanociencia y la nanotecnología son relevantes en diferentes aplicaciones tanto computacionales, médicas como también para enfrentar problemas ambientales. Sin embargo, ¿Sabía usted de las aplicaciones de la nanociencia en la arquitectura? Para

conocer cómo la nanotecnología es usada en mejoras en infraestructura y en edificios los invitamos a leer "Nanociencia y Arquitectura".

Desde lo microscópico pasando a lo macroscópico, científicos de instituciones mexicanas nos revelan un Universo dominado por "bestias oscuras" indicando que el 95 por ciento del Universo está formado por la materia y la energía oscura. Además, los autores nos explican en qué consiste la energía y la materia oscura, así como también cómo se supo de su existencia.

Respecto a la importancia del legado científico de mujeres dedicadas a la ciencia destacamos el artículo sobre la vida de la profesora Emmy Noether y su particular viaje por las simetrías de la naturaleza para relacionar las simetrías con las leyes de la física. No cabe duda de que la profesora Noether ha dejado un legado importante para la ciencia.

Alineado con la importancia de las mujeres en ciencia, queremos destacar nuestra nueva sección denominada; mujeres en STEAM por siglas en inglés "Science Technology Engineering, Arts and Mathematics" acrónimo referente a la contribución de las mujeres a estas diferentes disciplinas de la ciencia y el arte. En esta línea presentamos la semblanza de Silva Zuñiga, gestora cultural y artista visual inspirada en la astronomía y a Natacha Pino Magíster en Ingeniería Avanzada actualmente rectora de la Universidad de Aysén.

Además, en IAD 13 también se presentan trabajos técnicos, como por ejemplo el trabajo en conjunto entre la Universidad Central de Chile y la Universidad de Chile en el cual los autores presentan un novedoso método para detectar y diagnosticar fallas de diversos tipos de plantas industriales, sin necesitar contar con un modelo explícito de la planta.

Otro artículo científico tecnológico realizado por académicos de la FINARQ está relacionado con con el aprendizaje automático ("machine learning") para el entrenamiento de un agente en el manejo de un dron por comandos de voz y aprendizaje por refuerzo interactivo, los cuales podrían ser aplicados para el manejo de vehículos aéreos no tripulados.

Respecto al avance y la importancia del uso de la ciencia para hacer frente al cambio climático el Dr. Landaeta nos presenta su trabajo hecho en colaboración entre la FINARQ e instituciones de Estados Unidos en el cual fabricaron un material capaz de reducir el dióxido de carbono transformándolo en acetato, método que podría ser utilizado para disminuir el aumento



**Dr. Cristian Millán**  
Decano (i)

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

de temperatura generado por el cambio climático avanzando hacia tecnologías sustentables con el medio ambiente.

Ante la relevancia del uso de energías renovables y sustentables para hacer frente a la contaminación medioambiental de un país, en IAD 13 entrevistamos al Jefe de la División de Energías Sostenibles del Ministerio de Energía de Chile, el Sr. Mauricio Riveros quien nos explica cómo se encuentra Chile actualmente en el uso de estos tipos de energías respecto a otros países de América y de Europa, junto con la planificación a futuro que tiene Chile para avanzar en los procesos de descarbonización.

En IAD 13 se incluyeron dos columnas de opiniones realizadas por académicos de la FINARQ. En la primera, el Dr. Rafael Melo nos comenta sobre los ganadores del premio Nobel de Química 2023 sobre los puntos cuánticos ("Quantum dots"). Asimismo, el Dr. Melo nos habla del impacto de estos materiales en el desarrollo actual de la tecnología. En la segunda columna opinión, el Dr. Francisco Cruz nos entrega su visión y análisis sobre modelos de inteligencia artificial, temática que cada vez toma mayor relevancia en nuestra vida cotidiana.

Finalmente, en nuestra sección ciencia pop, los académicos de nuestra facultad nos hablan de la película Oppenheimer, estrenada este año, y nos explican los elementos e indicios principales para que la bomba atómica fuera posible enfocándose en los avances de la física detrás de la bomba nuclear, explicando interesantes escenas de la película dirigida por Christopher Nolan.

Así, les invitamos con entusiasmo a que lean esta publicación, y a través de ella, verán una comunidad que disfruta su quehacer, que aporta al desarrollo de su universidad y su país. ¡Bienvenidas, bienvenidos, disfruten la revista!

# ÍNDICE

---

**06** Emmy Noether: El asimétrico viaje de una mujer por las simetrías de la Naturaleza

→ *Cristián Erices*

---

**08** Un universo dominado por bestias oscuras

→ *Miguel Ángel García Aspeitia*  
→ *Yasmín Berenice Alcántara Pérez*

---

**10** Magnones: perturbaciones magnéticas que prometen revolucionar la tecnología

→ *Dr. Nicolás Vidal Silva*

---

**12** Nanociencia y Arquitectura

→ *Uwe Rohwedder G.*

---

**14** Observando a través de las interacciones Microscopía de Fuerza Atómica en la UCEN

→ *Juan Luis Palma*  
→ *Esteban Landaeta*

---

**24** Transformación electroquímica de CO<sub>2</sub> a compuestos de un alto valor agregado

→ *Esteban Landaeta*

---

DIVULGACIÓN 

CIENTÍFICO TECNOLÓGICO 

CIENCIA POP 

COLUMNA DE OPINIÓN 

MUJERES EN STEAM 

---

# 26

## Control autónomo de dron utilizando comandos de voz y aprendizaje por refuerzo asistido

→ *Francisco Cruz*

→ *Rubén Contreras*

---

# 30

## Detección e Identificación de Fallas en Sistemas Estocásticos usando la Varianza de la Transformada Wavelet Continua

→ *Gustavo E. Ceballos Benavides*

→ *Manuel A. Duarte Mermoud*

---

# 40

## Bomba atómica: un juego de billar dentro del átomo y la película Oppenheimer

→ *Alejandro Riveros*

→ *Juan Francisco Fuentealba*

→ *Felipe Tejo*

---

# 44

## Entrevista a Mauricio Riveros Rodríguez

---

# 48

## LA MAGIA DE LO INFINITESIMAL: El Premio Nobel de Química 2023

→ *Rafael Melo Freire*

---

# 50

## LLMs – Modelos de lenguaje grandes, Una discusión sobre modelos generativos en la academia

→ *Francisco Cruz*

---

# 52

## Semblanza

→ *Silvana Zúñiga Valdes*

---

# 56

## Semblanza

→ *Natacha Pino Acuña*

# EMMY NOETHER: El asimétrico viaje de una mujer por las simetrías de la Naturaleza



Cristián Erices  
Dr. En Ciencias Físicas

*Es incalculable el valor del legado de Emmy Noether para la física. Hoy, cualquier teoría fundamental es definida por simetrías.*

Nunca jugué tanto pool como en el verano del 2002. Las ganancias de las apuestas del grupo de amigos se invertían en cerveza y así podíamos pasar la calurosa tarde. Siempre había uno que otro grupo rival de los barrios aledaños. Aún recuerdo un partido cuando aposté contra un muchacho de la cuadra vecina, tanto o quizás mejor que yo. Solamente quedaba la bola 15 esperando que alguno de los dos la echara en la tronera. Era mi turno. Cuando la bola blanca colisiona la 15, la bola 15 queda rebotando entre los cantos de la tronera unas 7 veces. Cada rebote se hizo eterno, y en esa eternidad rezaba para que las leyes de la física me permitieran ganar; pero no. La bola 15 se detiene a escasos milímetros de la tronera, en una posición favorable para que el contrincante ganara el partido. Perdí, me fui derrotado a casa pero pensando: ¿Podrían ser las leyes de la física por un instante o en algún rinconcito distintas?

Mientras chilenos, bolivianos y peruanos se enfrentaban a cañonazos en pleno desierto de Atacama, y en Londres comenzaba a operar la primera planta eléctrica, el mundo recibía a quien fuera una de las mentes más brillantes del siglo XX. El 23 de marzo de 1882, nació en la ciudad bávara de Erlangen, Emmy Noether, hija de un matemático, Max Noether, e Ida Amalia Kaufmann, ambos descendientes de una familia de comerciantes judíos.

Cuando algo tiene la propiedad de verse igual desde distintas perspectivas decimos que aquello goza de una simetría. Una rueda de un auto, por ejemplo, puede ser girada en torno a su eje de simetría, es decir, aun cuando la rueda gira o está quieta, luce similar desde todos los ángulos. Si giramos un cuadrado en ángulo recto en torno a su centro, obtenemos exactamente la misma figura. Una estrella de mar de 5 puntas, puede ser girada en ángulos de 72 grados y se vería de la misma manera. Nosotros mismos tenemos una simetría respecto a un plano que pasa a lo largo de nuestra columna, como si nuestro lado derecho fuera la reflexión en un espejo del lado izquierdo y viceversa. El mismo tipo de simetría tiene la fachada del palacio de la Moneda. Tenemos la tendencia a asociar la simetría a la belleza, pero la simetría es linda en su justa medida. Poca simetría, hace que los objetos se vean desequilibrados; exceso de simetría en cambio los hace parecer repetitivos, sin gracia. En células, frutas, vegetales, animales y un sinfín de organismos modelados por la evolución, la si-

metría parece ser una característica común, y en su justa medida los dota de una belleza única. De hecho, hace poco más de trece mil millones de años, el Universo nunca exhibió tanta simetría a lo largo de su historia como en el Big Bang, donde era una sopa oscura, caliente, homogénea y aburrida.

En su paso por la Universidad de Gotinga, Emmy Noether conoció a Hermann Weyl, uno de los matemáticos más influyentes del siglo XX. A Weyl le debemos la primera definición matemática de una simetría: un sistema cualquiera tiene una simetría si podemos hacer una operación sobre él, de modo que su estado final es idéntico al inicial. El objeto será más simétrico mientras más operaciones podamos hacer. La simetría de nuestro cuerpo o el de la fachada de la Moneda permite solo una operación. Esta operación corresponde a dividir por la mitad mediante un plano imaginario e intercambiar uno de los lados por el otro. El resultado es idéntico al inicial.

En un cuadrado podemos realizar 8 operaciones de simetría. Podemos rotarlo en 90, 180, 270 y 360 grados. Además podemos realizar cuatro reflexiones distintas e independientes: dos de ellas con respecto a rectas que, pasando por el centro, dividen al cuadrado en dos rectángulos idénticos, y otras dos respecto de rectas que pasan por un par de vértices no consecutivos. El mismo ejercicio podemos hacer con una estrella de mar de 5 puntas y obtendríamos 10 operaciones posibles. Es sencillo comprobar que si uno realiza dos de estas operaciones, consecutivamente, siempre se obtiene otra de las aquí descritas. Esto define lo que en matemática se conoce como un grupo y Weyl fue uno de los grandes autores que contribuyeron a construir la poderosa Teoría de Grupos.

La simetría de rotaciones de la rueda de un auto es continua, es decir, la podemos rotar en cualquier ángulo entre 0 y 360 grados y obtenemos lo mismo. Son infinitas posibilidades, tantas como números reales entre 0 y 360, y por lo tanto, no podemos ni siquiera numerarlas. En los ejemplos del cuadrado y la estrella de mar, se habla de simetría discreta porque el número de operaciones es finito.

Si usted analiza cualquier ley física se dará cuenta que estas gozan de simetrías. Por ejemplo, las leyes de Newton ampliamente



utilizadas en ingeniería son las mismas en cualquier parte. Si quisiéramos construir nuestra Facultad en Marte, podemos trasladar la maquinaria necesaria asegurándonos de llevar todas las piezas, y esta funcionará de idéntica forma. Se dice entonces que las leyes de Newton gozan de simetría ante traslaciones espaciales.

En física, las leyes resultan ser simétricas ante traslaciones temporales: no importa si comenzamos a construir el edificio hoy o en dos años, utilizaremos las mismas leyes físicas.

A la edad de 36 años, Emmy Noether publicaría su artículo Problemas de variación invariantes, donde formula uno de los teoremas más lindos y elegantes en la historia de la física-matemática. Dice lo siguiente [1]: por cada simetría continua de un conjunto de leyes físicas, existe una cantidad que se conserva.

Según este teorema, la conservación de la energía por ejemplo, es una consecuencia de la simetría bajo traslaciones temporales de la que hablamos más arriba. Una manera de ilustrar esto es la siguiente.

Supongamos que todos los lunes al mediodía la constante de gravitación universal disminuyera un 15% durante una hora. Además de bajar a mi peso ideal, Enel aprovecharía esa hora para bombear agua a sus represas con un gasto de energía menor a la energía que entregaría al dejar caer la misma cantidad de agua una hora más tarde. ¡Obtendrían energía gratis!, posibilidad que contradice al principio de conservación de la energía. Es decir, en un Universo donde la constante de gravitación universal variara, la energía no se conservaría, pues de acuerdo al teorema de Noether, ésta se conserva sólo si las leyes de la física se mantienen constantes en el tiempo.

Note que con el teorema de Noether, no es necesario invocar un principio sobrenatural ni nada trascendente, tampoco declarar más postulados. El mismo Albert Einstein al estudiar el trabajo de Noether comenta a David Hilbert, director de la tesis doctoral de Weyl [2], "Ayer recibí de la señora Noether un artículo muy interesante. Estoy muy impresionado de que estas cosas puedan ser entendidas de una manera tan general. ¡La vieja guardia de Gotinga debería tomar algunas lecciones de la señora Noether!"

La gran ironía en la vida Emmy Noether es que debió lidiar con una constante asimetría en el trato que recibió en su vida. A principios del siglo pasado, mientras estudiaba en la Universidad de Erlangen, se dictó una norma que prohibía a las mujeres ser parte del alumnado regular. Al mudarse a Gotinga, conoció a los matemáticos más brillantes de la época, y después de graduarse, trabajó durante años sin recibir un peso. Solo después de obtener la fama que su productiva carrera le otorgó, pudo por un tiempo restaurar la simetría que su trato merecía, en el hostil ambiente que el mundo académico dominado por los hombres ofrecía a una mujer.

Cuando el ser mujer dejó de ser un problema, por si fuera poco, una nueva asimetría golpeó su vida. Por el hecho de ser judía en 1933 es expulsada de la universidad según las nuevas reglas de la dictadura nazi. Finalmente se refugia en Estados Unidos, donde es reclutada por el college de mujeres de Bryn Mawr. Aquí enfrentaría la última asimetría de su vida en el año 1882; una muerte a la temprana edad de 53 años, a menos de tres años de su llegada a Pensilvania. La muerte le daría esa simetría constante que en vida jamás consiguió.

Las simetrías constituyen un eje central en la construcción de teorías fundamentales, ya que al dictar sus cantidades conservadas restringe sus posibilidades dinámicas. Si observamos en el mundo microscópico este tipo de simetrías son de una belleza sublime y elegante, que en su manifestación macroscópica, a través del teorema de Noether, dan cuenta de las cantidades conservadas que observamos en la Naturaleza, tales como la carga eléctrica y generalizaciones más sofisticadas que no vamos a detallar acá. No sorprende que Einstein, uno de sus más grandes admiradores rindiera un homenaje en su funeral [2]: "La señora Noether fue el más significativo de los genios matemáticos creativos que hasta ahora se ha producido desde que se estableció la educación superior para mujeres."

Por mucho que yo quisiera que las leyes de la física cambiaran por un segundo en ese rinconcito de la mesa de pool, y me permitieran ganar, ellas son y serán las mismas en toda la mesa, en todas las mesas del local, en todas las mesas del mundo, en todas las esquinas, en todo el Universo. No advertí en ese entonces que mi ingenuo delirio invocaba una de las más importantes expresiones de libertad, creatividad y perseverancia que haya conocido el siglo pasado.

Siempre con una sonrisa materna, Emmy Noether transformó la discriminación, el horror y la muerte, en una de las obras más elegantes y profundas de nuestra historia intelectual. Ella supo tomar las pequeñas oportunidades que le ofrecía el mundo de su época. Tomó las migajas, los caminos más largos y difíciles. Yo, un simple mortal, tomé el camino a casa, derrotado por las simetrías de las leyes de la física. Emmy, inmortal, al mismo tiempo me sonreía en todas partes.

[1] Noether, E. Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Mathematisch-Physikalische Klasse. (1918) 235–257.

[2] Rowe, David E. "Emmy Noether-Mathematician Extraordinaire" (2021).



Universidad  
Central



PROGRAMA  
**ADVANCE**  
ADMISIÓN 2024

ESTRENA TU TEMPORADA CON UNA  
**NUEVA CARRERA**

**INGENIERÍA  
COMERCIAL**

MODALIDAD

**Online**

# UN UNIVERSO DOMINADO POR BESTIAS OSCURAS

↙ **Miguel Ángel García Aspeitia**

*Doctor en Ciencias con especialidad en Física, Universidad Iberoamericana, Ciudad de México, México.*

↘ **Yasmín Berenice Alcántara Pérez**

*Maestra en Ciencias en Física, Estudiante de la División de Ciencias e Ingenierías de la Universidad de Guanajuato, León Guanajuato, México.*

*La materia y energía oscura ocupan el 95 por ciento de nuestro Universo, entenderlas y describirlas es fundamental para la comprensión de esta parte "oscura". En este escrito, describimos que son estas entidades y como fueron encontradas mediante técnicas modernas. Así mismo, discutimos los esfuerzos que realiza la comunidad Chileno-Mexicana-Francesa para entender el destino y evolución de nuestro Universo debido a la presencia de estas bestias oscuras.*

## Introducción

Cuando damos una mirada al cielo nocturno lejos de las grandes ciudades que nos opacan la visión de las millones de estrellas que se ven a simple vista, nos damos cuenta que el Universo es más vasto y luminoso de lo que suponemos. Sin embargo, nuestra visión esta sesgada a que los ojos humanos solo están diseñados evolutivamente para ver una pequeña región en el óptico, incapaz de ver la luz en otras longitudes de onda, como son el ultravioleta, el radio, el infrarrojo, los rayos X y gama. Es decir lo que hay en el Universo es más de lo que nuestros sentidos pueden detectar. Y de manera muy extraordinaria, muchos de los eventos más interesantes que suceden en nuestro Universo tales como la muerte de las estrellas, la luz proveniente del inicio de nuestro Universo, entre otras, emiten luz en donde ni siquiera seríamos capaces de observar con nuestros propios ojos.

Pero como siempre, nuestro Universo es más misterioso de lo que incluso podríamos ser capaces de imaginar. Es así que armados con las más grandes teorías hasta ahora conocidas, las cuales son la teoría cuántica y la relatividad general de Einstein es que hemos sido capaces de introducirnos a la maquinaria interna de como funciona nuestro Universo.

Algo que sin duda causo una gran impresión, fue, que a pesar de ver miles de millones de estrellas en el cosmos, esto es apenas un cinco por ciento del total de lo que lo compone, siendo el otro noventa y cinco por ciento entidades oscuras [1], que parece ser que solo actúan mediante la bien conocida fuerza de gravedad. ¿Cómo le llamamos a estas entidades oscuras? Y ¿Porqué supimos que existen si no las podemos ver en el sentido tradicional? Pues bueno, aunque la historia es larga, resumiré algunos detalles básicos de sus descubrimientos.

La primera entidad tiene el nombre de materia oscura, y fue teorizada por el astrónomo Fritz Zwicky en 1933 ya que la velocidad orbital de los cúmulos galácticos no se ajustaba con lo esperado, pareciese que había un exceso de masa que no podía ser detectada con los telescopios de la época. Posteriormente, Vera Rubin y Kent Ford entre los años 1960 y 1970 hicieron observaciones junto con un análisis de la velocidad con la que rotaban las galaxias, por su puesto suponiendo que tenían bien entendida la distribución de masa en ellas, junto con la poderosa matemática de Newton para la gravedad. Cuando Rubin y Ford compararon lo que observaban junto con sus análisis teóricos, de ninguna manera empataban, principalmente conforme se alejaban del centro galáctico. La solución a este problema tenía dos posibilidades,

una es que no se entendía bien donde se distribuía la masa de la galaxia y la segunda es que la teoría Newtoniana fallaba a escalas galácticas (este tipo de teorías son conocidas como modificaciones a la teoría Newtoniana o MOND por sus siglas en inglés [2]).

Ambos enfoques fueron abordados por las comunidades científicas, sin embargo el que ha sobrevivido a las rigurosas pruebas y experimentos, es aquel en el que un exceso de masa hace falta y que no somos capaces de detectar de manera directa, increíblemente, esta masa que nos está faltando es al menos cinco veces más grande que la de toda la masa de la galaxia. Simulaciones en computadoras y modelos teóricos nos sugieren que su presencia aunque invisible es dominante sobre todo el Universo y además gracias a ella es que nuestro Universo tal como lo vemos es posible (ver figura 1). Actualmente, parte de los esfuerzos en conocer a la esquiva materia oscura es en capturar una de sus partículas que la componen, hemos teorizado a la fecha nombres tan extraños como neutralinos, higgsinos, axiones, fotones oscuros, entre otros, pero hasta ahora esta extraña partícula que compone la materia oscura se nos ha escapado de las manos.

Al tratar de concordar observación con teoría, nos ha llevado a concluir que su presencia ocupa aproximadamente el 27 por ciento del total de nuestro Universo, siendo solo aproximadamente el 5 por ciento dominado por toda la materia conformada por átomos [1].

Pero todo esto no acaba aquí, ya que a finales de los años noventa un grupo de astrónomos dedicados a observar un tipo particular de supernovas conocido como supernovas del tipo Ia [4,5], es que se dio cuenta que nuestro Universo no está desacelerando después del impulso inicial producido en el Big Bang, si no que está increíblemente acelerando, este resultado por su puesto es totalmente inesperado, ya que se esperaba que la gravedad que siempre es atrayente redujera la tasa de expansión de nuestro Universo-esto no sucede- algo más está jugando un papel en la evolución de nuestro Universo y su comportamiento y naturaleza es misteriosamente extraña, además de que nuestros telescopios son incapaces de detectarla directamente. En esencia sería algo así como una hermana de la materia oscura pero que su interacción es repulsiva gravitacionalmente. Lo primero que uno nota es que este objeto que llamaremos energía oscura, es inconsistente con la Relatividad General (RG) de Einstein a menos que se suponga que el fluido tiene una presión negativa, esto a su vez, es extremadamente extraño, ya que las presiones en general deberían de ser positivas. Otra posibilidad es que la RG ya no es válida y existe una teoría más profunda que explica esta aceleración de nuestro Universo. Antes de adentrarnos en conocer a la energía oscura, permítanme explicarles algunos detalles del hecho de que nuestro Universo este acelerando. Primero que nada, esta aceleración está sucediendo recientemente después de miles de millones de años de evolución y eso nos lleva a preguntarnos ¿Porqué ahora? ¿Porqué no antes? De hecho hasta ahora no tenemos una respuesta a este suceso; así mismo, la aceleración provocará que el Universo se convierta en un enorme desierto sin galaxias, planetas ni nada que observar, una constante y estacionaria nada, un triste final sin duda para nuestro Universo.

¿Pero quién es esa así llamada energía oscura? pues bueno, suponemos que el mejor candidato es una entidad conocida como constante cosmológica que de hecho cumple con el requisito de tener una presión negativa, pero su física es desconocida para nosotros. Aquí en este caso parece no ser posible capturar su partícula responsable, al parecer solo podemos trazar su influencia en la dinámica de las galaxias y en la forma en como hace evolucionar al cosmos. Como nota al querido lector, la energía oscura es aún más esquiva que la materia oscura. Aún más, basados en nuestros modelos teóricos junto con observaciones de precisión, señalan que la energía oscura compone aproximadamente el 68 por ciento del total de las componentes de nuestro Universo. En

esencia nuestro Universo es casi en su mayoría oscuro a diferencia de lo que siempre habíamos pensado (Ver Figura 2).

Todos estos misterios han volcado a la comunidad científica internacional a abordarlos desde diferentes enfoques. En particular el grupo al que pertenezco el cual es un grupo internacional formado por profesores de nacionalidades como Chile, México y Francia, hacemos esfuerzos sin precedentes desde hace más de una década en intentar comprender estas entidades oscuras. Nuestros esfuerzos nos han llevado a explorar energías oscuras tan exóticas que hacen que nuestros corazones palpiten con fuerza. Entre ellas hemos explorado modelos como los Cardassianos, Viscosos, Entrópicos; así como modificaciones a la RG tales como modelos unimodulares, dimensiones extras, etcétera (Ver Ref. [6] para una compilación de modelos de energía oscura). Cabe resaltar que el apoyo que actualmente nos ha dado el proyecto REDES ANID nos volverá a unir en la Universidad de Valparaíso en Chile, con la finalidad de discutir y seguir enfocando nuestros esfuerzos en encontrar y describir quién es alguna de estas misteriosas entidades oscuras.



Figura 1

Simulación de la red cósmica basado en el modelo estándar cosmológico. En azul se muestra la simulación de distribución de materia oscura y en los colores anaranjado y amarillo la distribución de materia basada en los átomos así como su dinámica. Créditos: Colaboración Illustris [3].

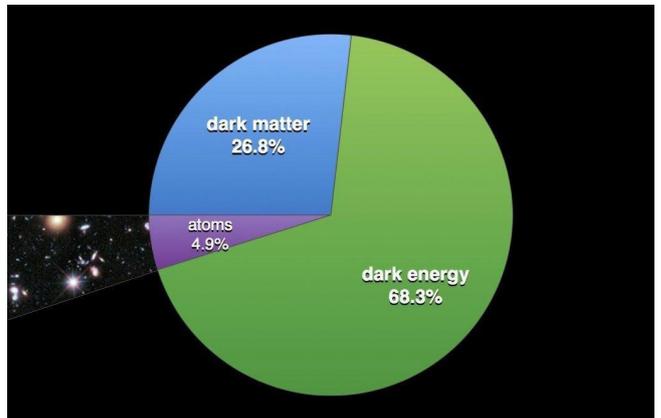


Figura 2

Pie cósmico: Descripción de las cantidades de materia y energía oscura así como de materia común en nuestro Universo. Créditos: @AstroKatie/Planck13.

- [1] Aghanim, N. et.al., Astronomy and Astrophysics, Vol. 641, A6 (2030).
- [2] Milgrom, M. Astrophysical Journal, Vol. 270 (1983), pp.371-383.
- [3] Vogelsberger M. et.al., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Vol. 444, 2 (2014) pp. 1518-1547.
- [4] Riess, A. G. et.al., The Astronomical Journal Vol. 116, 1009 (1998).
- [5] Perlmutter, S, et.al., The Astrophysical Journal Vol. 517, 565 (1998).
- [6] Motta, V. et.al., Universe Vol. 7, 163 (2021).

# MAGNONES: PERTURBACIONES MAGNÉTICAS QUE PROMETEN REVOLUCIONAR LA TECNOLOGÍA

Dr. Nicolás Vidal Silva

Dr. en Ciencias mención Física

Académico de la Universidad de La Frontera.



*Los magnones podrían mejorar el transporte de información y ayudar a la creación de dispositivos más eficientes energéticamente.*

La electrónica ha sido el motor de la tecnología durante décadas. Desde la invención del transistor en 1947 [1], esta ciencia ha permitido el desarrollo de dispositivos electrónicos cada vez más pequeños, transformando el mundo en que vivimos. Sin embargo, la electrónica convencional tiene sus limitaciones debido a que ésta se basa en el uso de corrientes eléctricas para su funcionamiento. Una corriente eléctrica está asociada a una disipación de energía en forma de calor, lo cual la convierte en un proceso poco eficiente a gran escala. Naturalmente, esto ha llevado a la búsqueda de nuevas formas de procesar y almacenar información. Los encargados de transportar la corriente eléctrica son los electrones. Estas partículas se caracterizan no solo por su carga y su masa, sino que también por su espín. El espín de un electrón es una propiedad cuántica y relativista de estas partículas que, entre otros efectos, permite caracterizar a los electrones por la respuesta que éstos tienen en presencia de un campo magnético. En otras palabras, los electrones pueden ser considerados como pequeños imanes. Más aún, si consideramos que los electrones están presentes en todos los átomos que componen nuestro mundo, podemos afirmar que estamos rodeados de pequeños imanes de tamaño atómico.

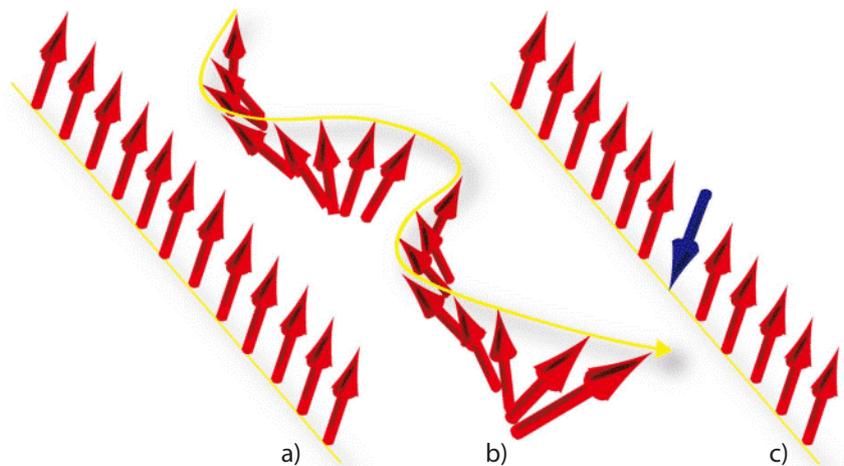
Desde hace algunas décadas, la electrónica convencional comenzó a utilizar tanto la carga eléctrica como el espín del electrón para determinados procesos. Esto dio inicio a la espintrónica [2]. En particular, dentro de esta rama de la física, los fenómenos espintrónicos que ocurren en materiales ferromagnéticos presentan mucho interés en la comunidad científica. Un material ferromagnético es aquel que

presenta una magnetización espontánea, es decir, presenta magnetismo sólo por el hecho de existir. Un ejemplo de esto son los imanes del refrigerador o algunos materiales como el Hierro (Fe), Cobalto (Co) o Níquel (Ni). Desde el punto de vista microscópico, un material ferromagnético se caracteriza por tener un ordenamiento de espines, es decir, los pequeños imanes que mencionamos anteriormente se encuentran ordenadas y, además, son capaces de alinearse con un campo magnético externo (Ver Figura 1a). La pregunta ahora es: ¿Cómo podemos transportar, almacenar y controlar información en este tipo de materiales? La respuesta proviene de la perturbación al magnetismo.

Cuando un material ferromagnético se perturba bajo ciertas condiciones a través de un medio externo, los espines del

material comienzan a oscilar de forma coherente dando lugar a ondas magnéticas, comúnmente llamadas ondas de espín. Desde el punto de vista de la mecánica cuántica, estas ondas tienen su análogo cuántico, definiendo así una pseudo partícula llamada magnón.

Por lo tanto, en analogía a las ondas electromagnéticas (luz) y su pseudo-partícula cuántica, el fotón, las ondas de espín tienen su descripción cuántica a través de la definición de magnón (ver Figura 1b y 1c). Los magnones cobran sentido cuando un sistema de muchos espines comienza a oscilar debido a la perturbación de su orden magnético. En este artículo, hablaremos sobre cómo los magnones, pequeñas partículas magnéticas, podrían revolucionar la tecnología de la información [3].



**Figura 1**

Representación esquemática de ondas de espín. En a) se encuentra un sistema con ordenamiento magnético completo. En b) el ordenamiento se ha perturbado y se representa la propagación de una onda de espín. Finalmente, en c) se representa la presencia de un magnón desde un punto de vista clásico, considerado como una única desviación de un espín. Imagen extraída de [4]

A diferencia de los electrones, los magnones poseen mecanismos distintos de disipación de energía, lo cual permite que puedan transportarse una distancia mayor sin perder información. Por ejemplo, el camino libre medio de un electrón se define como la distancia que un electrón puede viajar sin interactuar y/o colisionar con otra partícula que cambie sustancialmente su movimiento. Típicamente, en un metal el camino libre medio de los electrones es del orden de unos pocos nanómetros [5] ( $10^{-9}$  metros, o bien una mil millonésima parte de un metro). Sin embargo, debido a la naturaleza de los magnones, estos poseen un camino libre medio del orden de los micrómetros ( $10^{-6}$  m) [6] o en algunos casos llegando incluso a los milímetros ( $10^{-3}$  m).

Es decir, ¡Los magnones podrían transportar información sobre distancias de hasta un millón de veces más grandes que los electrones! Por lo tanto, estas cuasipartículas presentan una ventaja comparativa con respecto a los electrones para su potencial uso en el transporte de información.

Además, muy recientemente, se ha descubierto una característica fundamental de los magnones presentes en ciertos tipos de materiales ferromagnéticos, los llamados magnones topológicos. Este tipo de magnones se encuentran presentes al perturbar el orden magnético de un material que se encuentra en una fase topológica. En términos muy simples, los magnones topológicos son aquellos que pueden propagarse sin ser afectados por las perturbaciones externas, es decir, poseen un camino libre medio sustancialmente mayor a los magnones regulares. Estos magnones están protegidos por la topología del material en el que se propagan, lo que significa que la información que transportan no se pierde debido a los defectos o irregularidades del material. Los magnones topológicos tienen un gran potencial para la creación de dispositivos magnónicos estables y resistentes

a perturbaciones. Además, en términos prácticos, los magnones topológicos se caracterizan por propagarse solamente a través de los bordes de un material magnético, mientras que dentro del material su propagación se encuentra sujeta a energías mucho mayores, por lo que está prohibida (ver Figura 2). En otras palabras, los magnones topológicos son robustos ante perturbaciones externas y además se propagan físicamente por caminos exclusivos, lo que permitiría transportar y manejar información en potenciales dispositivos magnónicos.

Las potenciales aplicaciones de los magnones son numerosas. Se podrían utilizar para el desarrollo de dispositivos de memoria magnónica, que podrían ser más rápidos y eficientes que los dispositivos de memoria convencionales. También podrían utilizarse para la creación de dispositivos de procesamiento de información magnónica, como los transistores basados en magnones, que podrían superar las limitaciones de los transistores electrónicos convencionales.

Sin embargo, todavía hay importantes desafíos a futuro que enfrentar para lograr una tecnología magnónica viable. Uno de los mayores desafíos es la pérdida de energía que se produce cuando los magnones se propagan a través de los materiales magnéticos. Esto se debe en gran parte a la resistencia de los materiales a la propagación de magnones debido a la presencia de otros magnones, imperfecciones del material, electrones, deformaciones, etc. Para superar este obstáculo, los investigadores están trabajando en el desarrollo de materiales magnéticos con una menor resistencia a la propagación de magnones.

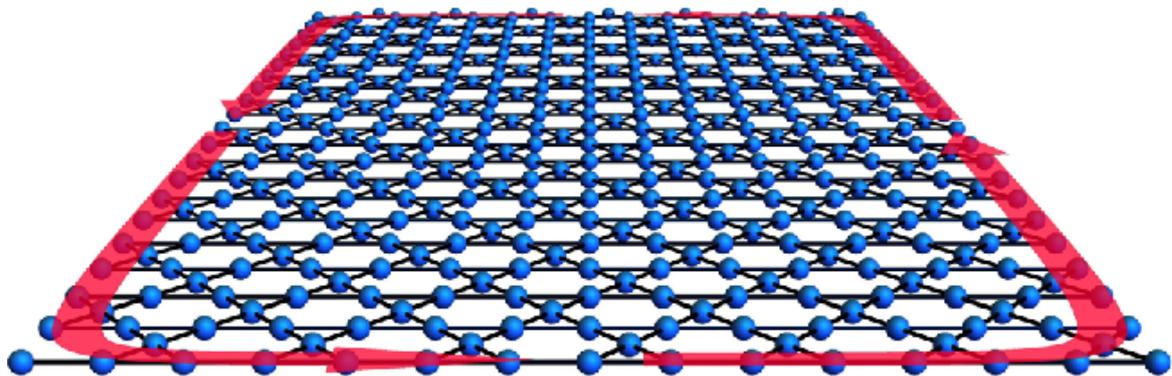
Otro desafío importante es la generación y detección eficiente de magnones. En la actualidad, la generación y detección de magnones se realiza principalmente a través de métodos de microondas, que son limitados en términos de eficiencia y pre-

cisión. Investigadores de todo el mundo trabajan actualmente en el desarrollo de nuevos métodos de generación y detección de magnones que sean más eficientes y precisos.

En conclusión, los magnones son cuasipartículas que describen las ondas de espín en los materiales magnéticos. El estudio de los magnones ha llevado a una mejor comprensión de la dinámica de los materiales magnéticos y ha abierto nuevas posibilidades para aplicaciones tecnológicas. Los dispositivos magnónicos podrían ser utilizados para la transmisión de información a alta velocidad y con un consumo de energía reducido, y los magnones topológicos tienen el potencial de ser utilizados en la creación de dispositivos magnónicos más robustos y eficientes energéticamente. La magnónica entonces es un campo de investigación emocionante con importantes aplicaciones potenciales en la tecnología de la información. Los materiales magnéticos y la mecánica cuántica son fundamentales para la comprensión y aplicación de los magnones en la tecnología magnónica. Aunque todavía existen importantes desafíos a futuro que deben superarse, los avances recientes en la comprensión y manipulación de magnones prometen un futuro prometedor para la tecnología de información.

## Referencias

- [1] Ross, I. M., Proceedings of the IEEE 86, 7-28 (1998).
- [2] Bader, S. D. et. Al., Annu. Rev. Condens. Matter Phys., 1(1), 71-88 (2010).
- [3] Pirro, P., et.al., Nature Reviews Materials, 6(12), 1114-1135 (2021)
- [4] Nakata, K., et.al., Journal of Physics D: Applied Physics, 50(11), 114004 (2017).
- [5] Sondheimer, E. H, Advances in physics, 50(6), 499-537 (2001).
- [6] Boona, S. R., et.al., Physical Review B, 90(6), 064421 (2014).
- [7] Cornelissen, L. J., et.al., Nature Physics, 11(12), 1022-1026 (2015).
- [8] Chisnell, R., et.al., Physical review letters, 115(14), 147201 (2015).



**Figura 2**

Representación esquemática de magnones topológicos propagándose exclusivamente por el borde de un material magnético bidimensional. Desde un punto de vista de la mecánica cuántica, estos magnones tienen prohibido propagarse a través del material. Imagen extraída de [8].

# NANOCIENCIA Y ARQUITECTURA

Uwe Rohwedder G.

Arquitecto y Magíster en Pedagogía Universitaria

En la búsqueda y el encuentro de la interdisciplina aparecen temas relacionados entre el espacio físico construido y la nanotecnología.

La investigación centrada en la nanotecnología estudia, diseña, crea, sintetiza para aplicar en materiales y sistemas funcionales a través del control de la materia a nano escala y promete soluciones vanguardistas y más eficientes para los problemas ambientales que enfrenta la humanidad incluyendo también nuevas aplicaciones médicas. Las aplicaciones en la construcción son sorprendentes ya que puede desarrollar materiales más resistentes que el acero con sólo un 10% de su peso, lo cual significa un cambio profundo aportando mejoras en infraestructuras y edificios. Esto permitirá una reducción de los recursos naturales, dado que la cantidad de material que se empleará logrando las mismas formas será mínima. En consecuencia, con lo anterior, contribuirá a reducir la generación de residuos.

Por la relevancia del tema y sus contribuciones a mejorar la calidad de vida se encuentran en desarrollo varios centros que desde su función y programa arquitectónico son denominados edificios interdisciplinarios. Un muy buen ejemplo lo constituye el Centro Mascaro para la innovación sostenible por Edge Studio en Pittsburgh, Estados Unidos por el nuevo enfoque colaborativo que adquirió la Escuela de Ingeniería Swanson en nanotecnología, bioingeniería e investigación de materiales para el siglo XXI. En otros centros similares que buscan el desarrollo de innovación por las nanociencias se incorporan el desarrollo de materiales avanzados, energías limpias y biotecnología.

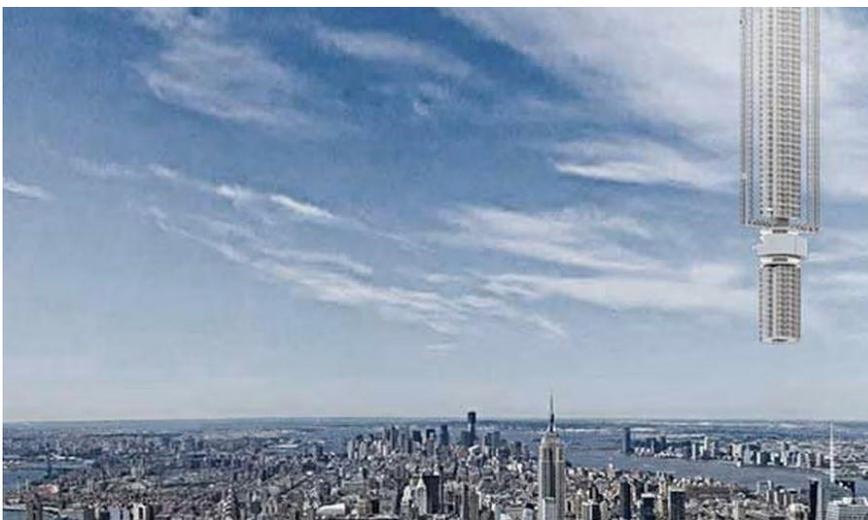
En el artículo "Arquitectura Atómica: Nanotecnología y Ciencias de la Construcción" escrito por el académico Eric Baldwin en Ref. [1] el autor menciona ante la pregunta:

**"¿Cómo el campo de la nanotecnología, que investiga la materia a escala atómica, molecular y supramolecular, influye en el diseño arquitectónico?"**

La arquitectura está diseñada a través de escalas y refleja los desarrollos en ciencia e investigación. Investigando materiales en escalas atómicas, moleculares y supramoleculares, el campo de la nanotecnología ahora ha comenzado a informarse sobre el diseño arquitectónico. A su vez, las estructuras para las ciencias de la construcción y la investigación se han expandido rápidamente. A medida que los arquitectos y diseñadores adoptan esta tipología en los sectores público y privado por igual, el estudio y la evolución de la nanotecnología reflejan desarrollos más amplios en el florecimiento de las ciencias. Combinando la ciencia, la ingeniería y la tecnología realizadas a nano escala, el campo se centra en una escala de 1 a 100 nanómetros. A una escala tan pequeña, los nanomateriales comienzan a exhibir propiedades únicas que afectan el comportamiento físico, químico y biológico. Mediante la manipulación de la materia, la nanotecnología puede crear nuevas estructuras, materiales y dispositivos. Tomando un estudio más cercano al diseño de estructuras y edificios para la nanotecnología y la investigación,...." (extracto de Ref.[1]).

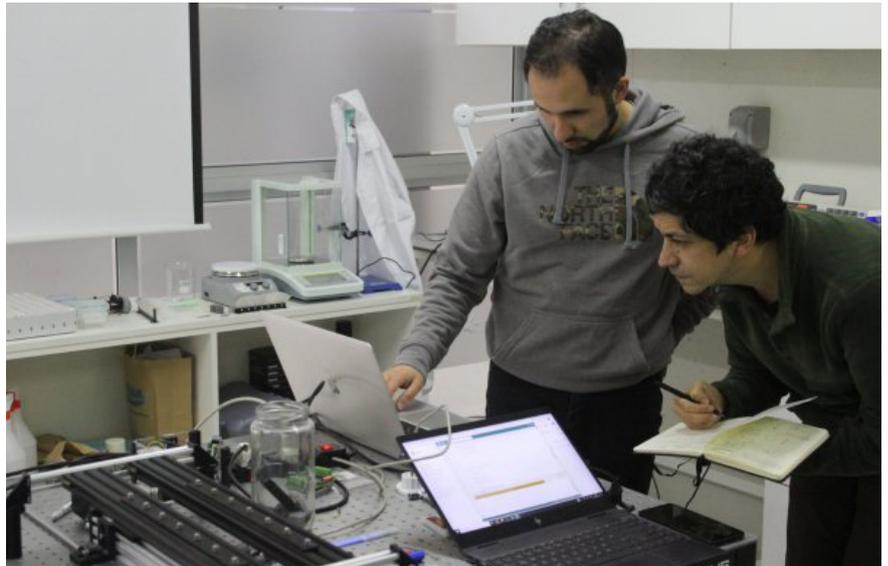
La imagen de un mega edificio vertical anclado a un asteroide no sería imaginable para un grupo de arquitectos de Nueva York sin que los materiales tengan la resistencia y peso gracias a la nano ciencia.

[1]: Eric Baldwin "Arquitectura Atómica: Nanotecnología y Ciencias de la Construcción", Architizer.



# Entre Chile y Francia: Los avances en las investigaciones que lidera, desde la U. Central, el profesor Juan Francisco Fuentealba

*El miembro del Instituto de Investigación y Postgrado de la Finarq nos cuenta sobre dos de sus recientes trabajos indagatorios que lidera, en uno de ellos, como contraparte chilena a lo desarrollado por la Escuela Superior de Física y de Química Industriales de París, Francia.*



El trabajo internacional entre Francia y Chile denominado CNRS project FEI “Programming Flexural Waves for Soft Robotics”, tiene como director de la contraparte chilena, al miembro del Instituto de Investigación y Postgrado de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Juan Francisco Fuentealba, colaboración que lo ha hecho viajar a Francia, así como recibir en el Laboratorio de Sistemas No Lineales de la Finarq al Dr. Alejandro Ibarra, investigador Postdoctoral de la Escuela Superior de Física y de Química Industriales de París (ESPCI).

Al respecto el profesor Fuentealba nos explica:

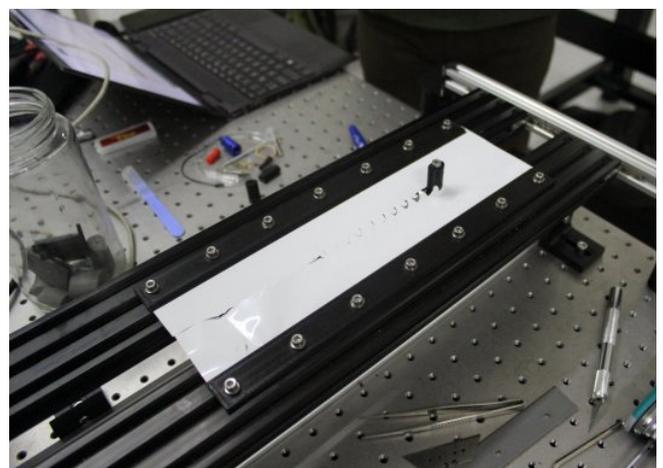
“Uno de los proyectos está relacionado con un problema de robots blandos. Estamos tratando de entender algunos mecanismos de locomoción presentes en animales los cuales a través de la oscilación de una o más membranas elásticas en su cuerpo consiguen desplazarse. Para este propósito estamos diseñando e implementando prototipos que nos ayuden a modelar algunos de estos mecanismos observados en la naturaleza”.

“El segundo proyecto tiene relación con fracturas en láminas delgadas, más específicamente en el análisis de la trayectoria de una fractura oscilante la cual es empujada unidireccionalmente por un cilindro sólido”, complementa Fuentealba.

Con respecto a los resultados detenidos a la fecha, el investigador comenta que “ambos casos son interesantes, en el primer experimento de fractura, de acuerdo a nuestros análisis, creemos que es posible relacionar la oscilación de la trayectoria con la geometría del objeto que produce la fractura, mientras que en el segundo experimento utilizando el concepto de exceso de longitud hemos diseñado algunos prototipos que emulan algunos de los comportamientos que deseamos estudiar”.

Publicaciones en revistas científicas indexadas, charlas en congresos nacionales e internacional, la posibilidad de vincular estas investigaciones con nuestros estudiantes a través de trabajos de titulación o pasantías/prácticas científicas en el laboratorio son los resultados a los que pueden conducir investigaciones como estas. Por eso no es menor la visita del Dr. Ibarra, según cuenta el profesor Juan Francisco Fuentealba.

“La importancia que un investigador como el Dr. Ibarra visite nuestra universidad es que, además de prestigiar nuestra institución, nos permite colaborar y establecer relaciones científicas con centros de investigación de primer nivel mundial”, concluye el profesor Fuentealba.



# OBSERVANDO A TRAVÉS DE LAS INTERACCIONES

## MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA EN LA UCEN

Juan Luis Palma

Doctor en Ciencias Mención Física

Esteban Landaeta

Doctor en Química

¿Qué es observar? Parece una pregunta simple, pero si lo pensamos bien, la observación como la concebimos a diario es mucho más que recibir luz a través de nuestros ojos. La luz es una onda electromagnética propagándose a través de un espacio que interactúa con unos receptores en la parte posterior de nuestro globo ocular. Estos receptores transforman esta interacción en pulsos eléctricos que nuestro cerebro percibe e interpreta como "la visión". Entonces, observar es una forma de interacción de las ondas electromagnéticas con la materia, la cual es transformada en pulsos eléctricos e interpretadas por una especie de computador que procesa los datos y los interpreta, este computador es el cerebro. Así, a través de las interacciones podemos observar muchos efectos naturales, y mediante esta caracterización se pueden controlar ciertos efectos para ser aplicados a nuevas tecnologías. En este artículo revisaremos los aspectos más comunes, e introduciremos la historia de la microscopía por fuerza atómica, y si, tal como acabas de leer, esta es una microscopía distinta la cual basa su observación por la fuerza de interacción entre átomos, y otras interacciones.

Para comenzar a entender esta microscopía, pensemos primero en una sonda, una punta unida a una barra plana. Esta barra plana técnicamente se conoce como cantiléver, y esta punta va "tocando" una muestra que puede medir centímetros, pero va generando un mapa microscópico de la topografía de la superficie. Para aterrizar un poco el concepto, podemos

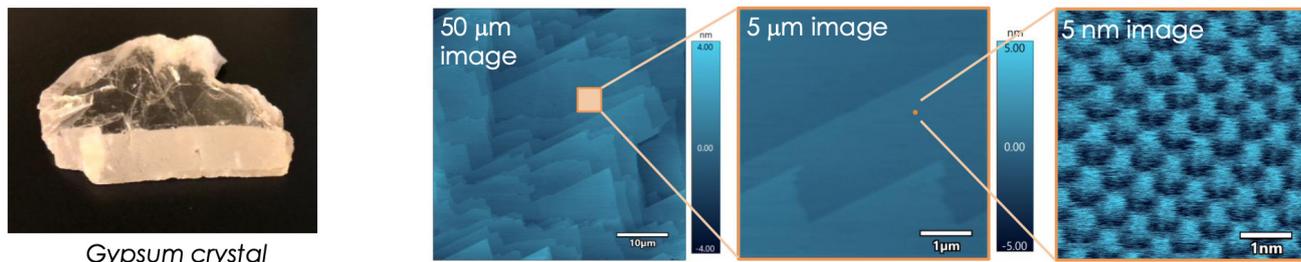
pensar en este sistema como algo similar al sistema que utiliza un tocadiscos. Imaginemos que la punta que quiere sondear la muestra (que quiere tocar e interactuar con la muestra) es la aguja del tocadiscos, e imaginemos que el disco es la muestra. El principio de la microscopía por fuerza atómica, es similar al efecto que produce la aguja cuando pasa por los surcos del disco, claro que en vez de producir un sonido como ocurre en el tocadiscos, el microscopio por fuerza atómica produce una imagen topográfica de lo que va "tocando".



*Cantiléver observado con un microscopio óptico con un aumento de 1500 veces el tamaño real del cantiléver. Se puede observar la punta, que termina en un radio de curvatura de 7 nm, pero que en esta imagen no se puede distinguir ese radio de curvatura, para eso necesitamos una imagen de un microscopio FESEM (Field Emission Electron Beam Microscopy) con aumentos de 200 mil.*

Las imágenes que se pueden obtener con este tipo de microscopía son del orden

de nanómetros, y a veces se obtiene una resolución sub-nanométrica. Recordemos que un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro. Para entender mejor esta escala, imaginemos lo siguiente; considere un grano de sal promedio, un grano de sal promedio tiene de ancho cerca de un milímetro, lo que corresponde a un millón de nanómetros. Así, si bajamos en la escala de medida, podemos llegar al tamaño de una célula de sangre; un glóbulo rojo, el cual mide cerca de dos mil nanómetros, una bacteria puede rondar entre dos mil a quinientos (500) nanómetros, un virus como el coronavirus mide cien nanómetros, las cadenas de proteínas o el ADN están en la escala de uno a decenas nanómetros, y las moléculas de 1 nm hacia abajo. Un microscopio de sonda de barrido puede obtener imágenes en todas estas escalas, bueno desde cien mil nanómetros hacia abajo, y podemos resolver hasta bajo un nanómetro. Un microscopio no detecta más de 100 micras, porque tomaría mucho tiempo y generaría mucha información. Con un microscopio con lentes ópticas, solo podemos alcanzar resoluciones máximas que tienen que ver con la longitud característica de la luz, es decir el rojo tiene una longitud de onda cercano a los 700 nm, y el azul nos permite ver hasta un rango de 400 nm, cercano al UV visible. Para bajar de esta escala, debemos observar con otro tipo de microscopios, conocidos como microscopios de electrones. Los microscopios de electrones, como su nombre lo indica, disparan electrones a una muestra y luego los electrones son eyectados de la muestra y se reciben en



Gypsum crystal

Figura 1

Cristal de Gypsum. Imagen de 50 micrómetros, 5 micrómetros y 5 nanómetros, en dónde es posible observar el ordenamiento atómico de la estructura. [1].

un detector del microscopio, el cual genera una señal que permite reconstruir la imagen. Pero no es tema de este artículo, quizás en una edición futura podamos hablar de este tipo de microscopios que fueron inventados ya hace más de 100 años.

Volviendo al microscopio de sonda de barrido, este fue diseñado en 1982 por el físico suizo Heinrich Rohrer en conjunto con el físico alemán Gerd Binnig, ambos trabajaban en la empresa IBM en Zurich, e investigaban acerca de microscopios ópticos y electrónicos. Ambos desarrollaron el microscopio STM (Scanning Tunneling Microscope, microscopio de escaneo basado en efecto Túnel) que es un microscopio de efecto túnel, el cual permite ver átomos individualmente. El efecto túnel, es un efecto cuántico, es decir un efecto que ocurre a dimensiones muy pequeñas, del orden de las dimensiones del átomo y de partículas subatómicas. Las partículas de este tamaño no obedecen a la mecánica clásica convencional a la que estamos más acostumbrados a entender, y a esa escala las partículas se pueden comportar como una partícula de materia o como una onda que se propaga por el espacio y ... ¿Cuándo se transforman a una onda o a una partícula? bueno, la respuesta es "cuando lo requieran". Esta capacidad de transformarse en ondas les permite atravesar barreras que están en su camino, conocidas en física como "barreras de potencial". La barrera potencial no hay que pensarla como una pared, aunque la similitud es interesante, ya que el concepto de potencial viene de la descripción de energía, y la primera energía potencial que se analizó fue la energía potencial

gravitatoria que tiene que ver con la altura (recordemos la fórmula de nuestros primeros cursos de física  $U = mgh$ ), por lo que al pararme en una pared más alta, tendré más energía potencial. Si me lanzo de esa pared, mi energía potencial se empieza a transformar en energía cinética debido al movimiento que voy adquiriendo con la caída. Entonces, una partícula cuántica puede transformarse en onda, y esto le permite atravesar una barrera potencial, es decir barreras que son mayores a la energía cinética de la partícula cuántica. Un ejemplo, caricaturesco de este efecto, es pensar en camión que debe pasar por una montaña, para poder hacerlo, el camión debe subir la montaña y luego descender por la otra cara de la montaña. Si el camión fuese una partícula cuántica, puede transformarse en onda al llegar a los pies de la montaña y atravesar como si estuviese pasando por un túnel, solo que el túnel no existe. En este ejemplo, la altura de la montaña es la energía potencial, o barrera de potencial, la energía cinética se representa con el esfuerzo que debe hacer el camión para subir y bajar por encima de la montaña, y el efecto túnel es el efecto de no necesitar subir y bajar la montaña, si no que el camión se transforma en onda para poder atravesar la montaña a través de su base, como si hubiese un túnel.

Las partículas cuánticas tienen comportamientos tan extraños como este, que aún no logramos entender ni descifrar del todo, pero algo interesante es que sin poder descifrar estos efectos, ya podemos utilizarlos. Y los utilizamos diariamente en nuestros computadores o smartphones. Ya lo decía quién fue nombrado el padre

de la nanotecnología, el profesor Rychard Feynman, en una de sus cátedras: "no hay leyes físicas que nos impidan controlar los átomos de manera individual", y una de sus frases más célebres "Hay mucho espacio en el interior" (There's a plenty room at the bottom). La frase del profesor Feynman hacía referencia a que el control de los átomos es difícil de hacer, pero no imposible, nos cuesta porque somos algo grandes para esa escala, y también algo torpes. Pero con el pasar de los años, hemos podido avanzar de manera increíble, a mi parecer, en el control de estructuras del orden de los nanómetros. Una prueba de esto, es la tecnología de 7 nm que usamos hoy en día en nuestros procesadores. Los profesores, Heinrich Rohrer y Gerd Binnig recibieron el premio nobel en 1986 por sus descubrimientos acerca de la microscopía STM. Más información de estos descubrimientos, y de cómo se expandió la técnica de esta microscopía a través de Europa y el mundo se puede ver en el siguiente documental "40 años viendo átomos", preparado por unos queridos colegas y colaboradores de España; disponible en el link de la Ref. [2] o escaneando el siguiente código QR:

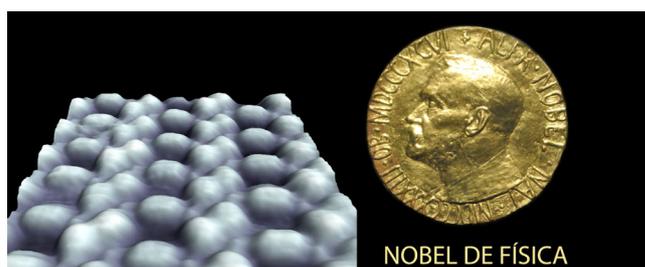
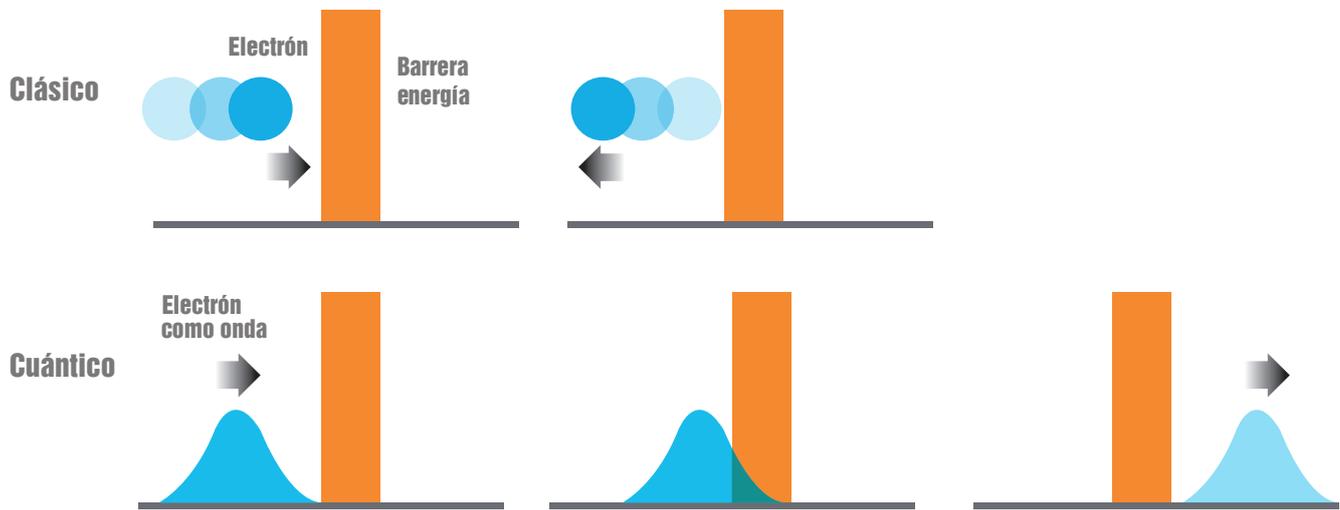


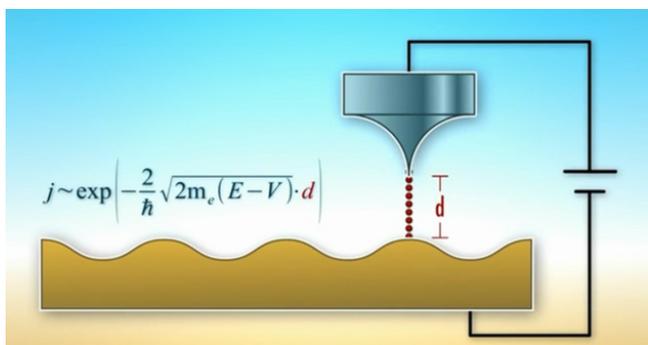
Figura 2

Primera imagen de átomos en una superficie, obtenida en 1982 por los ganadores del Nobel en física, H. Rohrer y G. Binnig. "40 años viendo átomos" Ref [2].



**Figura 3**

Representación gráfica del efecto túnel, en donde se puede ver como una partícula clásica, una pelota: rebota con una pared cuando se enfrenta a ella. Sin embargo, una partícula cuántica representada por un paquete de ondas, puede atravesar esta pared [3].



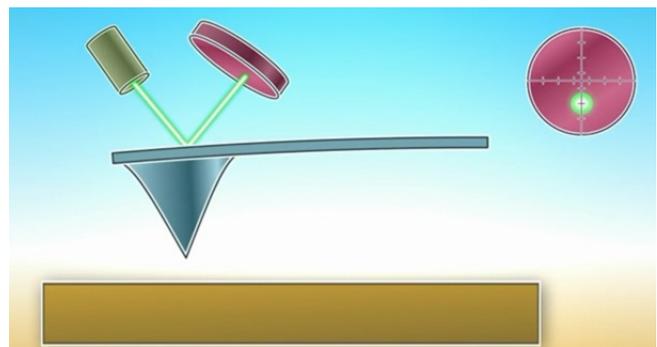
**Figura 4**

Solución a la ecuación de Schrödinger, que expresa la corriente de túnel en función de la distancia de la punta a la muestra [3]

En 1986, los descubridores del microscopio de efecto túnel, inventaron lo que hoy conocemos como Microscopio por Sonda de Barrido, o Microscopio de Fuerza Atómica (AFM, por sus siglas del inglés, Atomic Force Microscopy). El microscopio utiliza los principios de la mecánica cuántica, tal como lo habíamos mencionado, además del efecto túnel.

Para entender cómo se utiliza el efecto túnel en un microscopio de sonda de barrido, primero debemos entender que la punta que está barriendo o sondeando la superficie de la muestra, no está tocando la muestra. Al no estar tocando la muestra, solo la interacción entre la muestra y la punta es lo que estamos "sintiendo" y lo que nos deja "observar" lo que ocurre a nivel microscópico. La pregunta es, si no se toca la muestra; que es lo que está pasando información entre la punta y la superficie de la muestra? Y bueno, la respuesta es: pueden ser varias cosas, interacciones magnéticas, químicas, de fuerza de atracción o de repulsión entre moléculas (como el potencial de Van der Waals, del cual hablaremos unos párrafos más adelante), o puede ser incluso: un electrón. Imaginemos que un electrón se está moviendo por un cable conductor, y este cable está cortado, el espacio del cable cortado es un potencial que el electrón no puede atravesar (recordemos que todo esto es a escala cuántica, por lo tanto el espacio que hay en el cable cortado también tiene dimensiones cuánticas), así el electrón se transforma en onda para poder moverse en este espacio, es como si el electrón saltara entre dos muros para no caer al suelo. Luego de haber "saltado", el electrón se vuelve a transformar en una partícula cuando alcanza el otro extremo del cable. Similar a lo que se muestra en la figura anterior, en donde se observa una distancia entre la punta y la muestra, y existe una

interacción mediada por una distancia, la corriente  $j$  de interacción que hay entre la punta de la sonda y la muestra es la solución a la ecuación de Schrödinger y nos permite describir esta interacción. Un láser, encima de esta punta, específicamente, encima de la barra que sujeta la punta, conocida como cantiléver, nos permite ir reproduciendo la interacción entre la sonda y la muestra, tal como se muestra en la figura:



**Figura 5**

Esquema simplificado del funcionamiento de un AFM, dependiendo de la distancia entre la punta de la aguja a la muestra la fuerza puede ser atractiva o repulsiva generando una desviación del cantiléver, que es registrado por el cambio de dirección de un rayo láser enfocado hacia un fotodiodo [3].

Con permiso del lector no científico, a continuación se describirán brevemente las fuerzas con las que interactúan la punta y la muestra, luego volveremos a nuestras descripciones menos técnicas de la física que involucra este tipo de microscopía. Las fuerzas que la sonda genera sobre la muestra quedan descritas por lo que se conoce como el potencial de Lennard Jones, que tiene un término de atracción que va como el inverso de la distancia a la sexta, que es conocido como el término de Van Der Waals, y un término de repulsión, que va como el inverso de la distancia a la doceava potencia. Más allá de los valores de los exponentes de las potencias en cada término del potencial de Lennard Jones (los cuales se ajustan a mediciones experimentales), lo importante es que hay una competencia entre un término atractivo o repulsivo dependiendo de la distancia entre la punta de la aguja y la muestra, entonces, dependiendo de la distancia, existirá una atracción o una repulsión de la sonda hacia la muestra. El potencial de Lennard Jones se utiliza para modelar la interacción entre 2 partículas a escala atómica por ejemplo moléculas o átomos.

Así, finalmente, nuestra sonda puede generar imágenes de la topografía de la superficie de la muestra, es como si pusiéramos una sábana mojada sobre una superficie cualquiera.

Lo que hemos analizado hasta ahora, son interacciones atómicas, pero en un microscopio de fuerza atómica es posible tener más interacciones y más modos de interactuar con la muestra. Por ejemplo, existe el modo tapping, el cual consiste en ir avanzando con la sonda sobre la muestra e ir tocándola periódicamente, como si estuviéramos haciendo puntillismo sobre la muestra, hasta generar una imagen. Otro modo es el modo contacto, en el cual la sonda está en constante contacto con la muestra, como si pasáramos un pincel sobre un telar de forma continua. Otro modo, y es el que hemos descrito anteriormente, es el modo de no-contacto, el que utiliza el STM, en donde la sonda se encuentra a una distancia de la muestra y genera imágenes por distintas interacciones con la muestra. Estas interacciones pueden ser de fuerza, magnéticas, electroquímicas, de conductividad entre otras. Sumando los modos, y las interacciones hasta ahora contamos con un microscopio en la Universidad Central de Chile, de Oxford Instrument de Asylum Research, modelo Jupiter XR que tiene 26 modalidades y que puede hacer varios modos de barridos de fuerza, puede dibujar a escala nanométrica haciendo nanolitografía, puede controlar el ambiente y la temperatura de la muestra, calentándola a 120°C y enfriándola a -30°C. Esto se puede acompañar del barrido con sondas Kelvin, que nos reproducen un mapa térmico de la muestra. Otra modalidad es la imagen en líquido, que nos permite hacer un barrido de fuerza atómica con la sonda y la muestra sumergidas en líquido, esto es muy útil para biología o análisis de fibras, debido a que permite hacer imágenes y estudiar el comportamiento de las fuerzas con muestras íntegras que no se han deshidratado. También existe la caracterización nanoeléctrica, la cual puede generar mapas de conductividad de la muestra, o un mapeo de las cargas electrostáticas de la superficie de la muestra. También se puede mapear la fuerza magnética de la muestra, la capacitancia, frecuencia y resonancia. Finalmente, dentro de las caracterizaciones mecánicas nos permiten generar mapas topográficos de viscoelasticidad, resonancia de contacto, curvas de fuerzas, mapas de

fuerzas, y mapas de fuerza bimodal, esto nos permite conocer los parámetros elásticos de una muestra, como lo es el módulo de Young a una escala micrométrica, e incluso, generar un mapa de como este módulo va cambiando sobre la superficie. La imagen muestra un esquema resumido de lo que en principio, puede realizar el microscopio Jupiter XR de la Universidad Central de Chile.

Queremos mostrar algunas técnicas para entender cómo podemos observar con la interacción en este tipo de muestras. Para poder repasar las técnicas, primero queremos mostrar los accesorios que nos permiten ver este tipo de imágenes. Estos accesorios modifican las propiedades de la muestra que se requiere analizar, y es por esto por lo que es importante conocerlos mientras describimos como podemos observar mediante interacciones.

#### NanoRack:

El accesorio de estiramiento, conocido como NanoRack para el de la marca Oxford Instrument, es una plataforma de estiramiento manual de alta tensión y alto recorrido que proporciona control de muestras cargadas a tracción y compresión de hasta 80 N, es como dejar colgar 80 kilogramos en una muestra, y cuando se estire, el microscopio nos permite medir su microestructura, obteniendo así la micrografía de muestra mientras esta se deforma. El accesorio de estiramiento de muestras permite la medición directa de las propiedades a nanoescala de los materiales mientras controla la tensión a la que se encuentra el material. Este accesorio proporciona control de tensión de dos ejes de muestras bajo diferentes cargas, además integra medidas de fuerza con las imágenes AFM que se pueden tomar a microescala y devuelve datos de tensión y deformación. El escenario es compatible con una amplia variedad de técnicas de imágenes, incluido el modo de contacto y tapping para la caracterización de la topografía de la muestra y, entre otros, el modo de mapeo viscoelástico AM-FM. Este accesorio sirve para investigar las propiedades nanomecánicas de los materiales. El NanoRack es ideal para una amplia gama de aplicaciones, incluidas mediciones de resistencia adhesiva en polímeros, deformaciones inducidas por tensión y agrietamiento en una variedad de materiales biológicos [4] e inorgánicos [5].

## ✓ Versatility (accessories, techniques, multi-use)

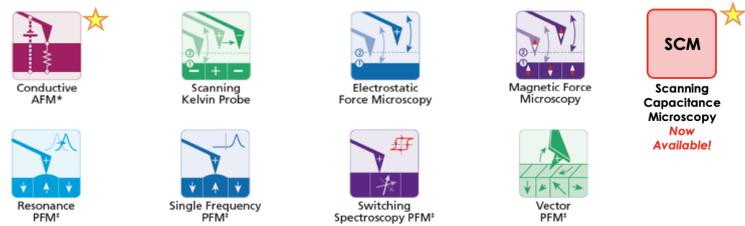
### ✓ Topography and more



### ✓ Environmental control



### ✓ nanoelectrical characterization



### ✓ nanomechanical characterization

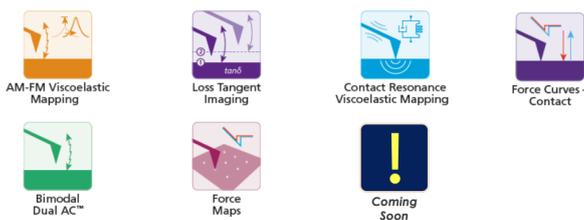
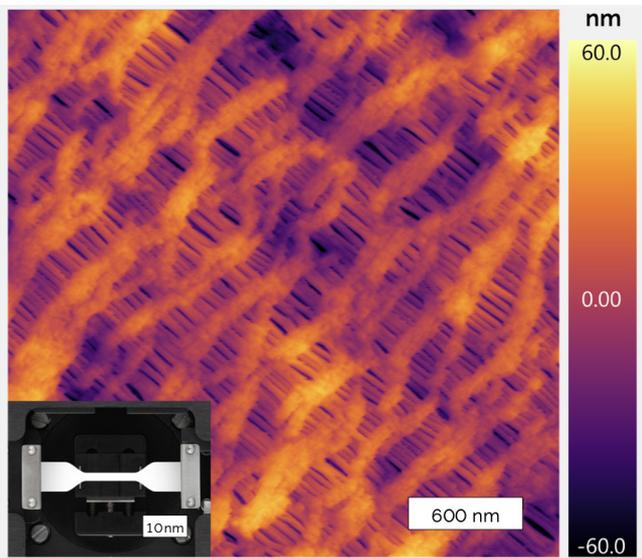


Figura 6

Las diferentes técnicas y accesorios que ofrece el microscopio Jupiter XR instalado en la Universidad Central de Chile [1].

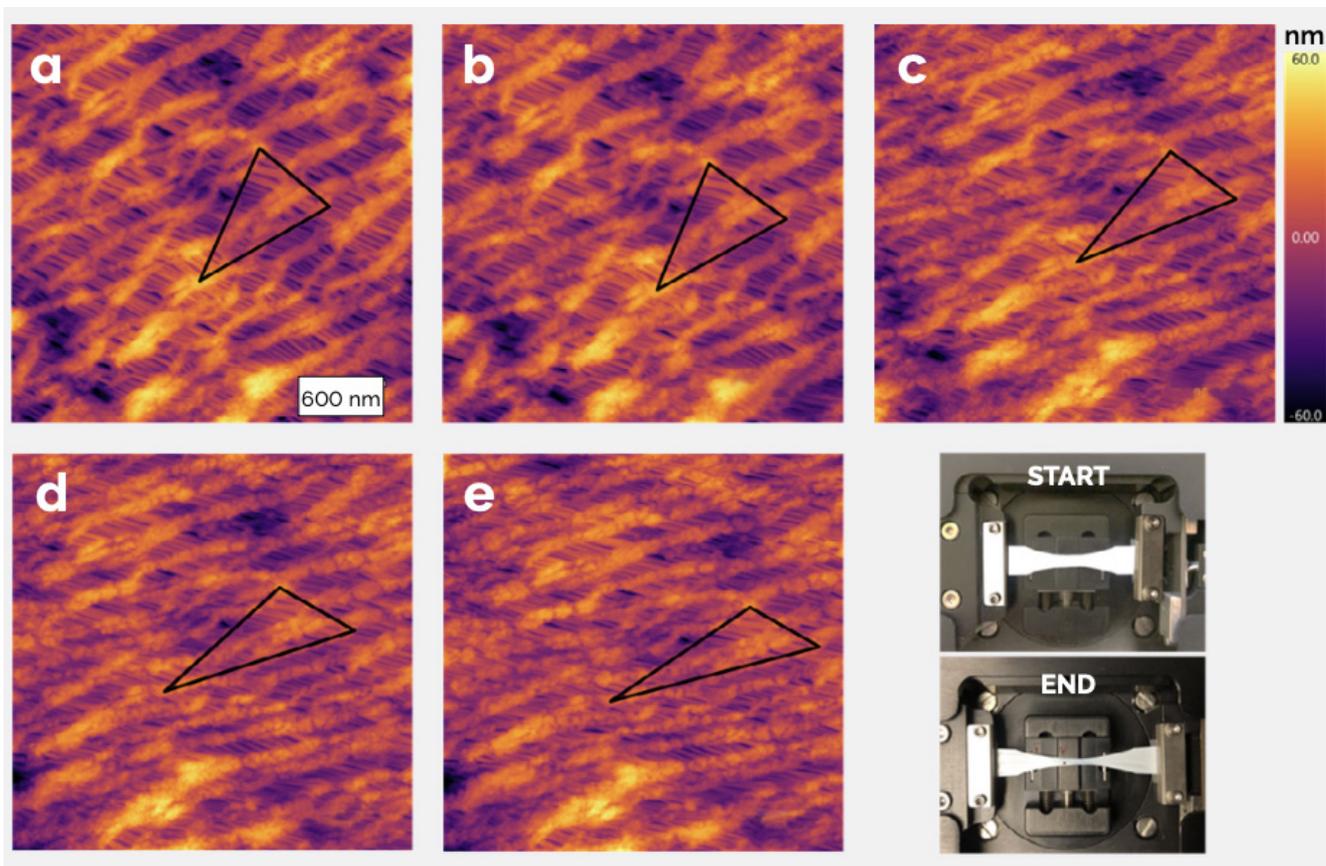
Para demostrar la funcionalidad del accesorio NanoRack, se estiró una membrana microporosa y se tomaron imágenes con una tensión creciente. La membrana microporosa es conocida comercialmente como Celgard<sup>®</sup>, esta membrana microporosa de polipropileno se utiliza como separador de baterías de iones de litio entre los electrodos de la batería [6]. Además de ser una membrana electroquímicamente estable, la membrana microporosa debe ser mecánicamente robusta para soportar cualquier tensión durante el proceso de montaje y durante la vida útil de la batería.

La membrana Celgard se colocó en el NanoRack y se tomaron imágenes sin aplicar ningún estrés. Los distintivos poros asimétricos y altamente orientados de la membrana están bien resueltos en la imagen de 3  $\mu\text{m}$ .



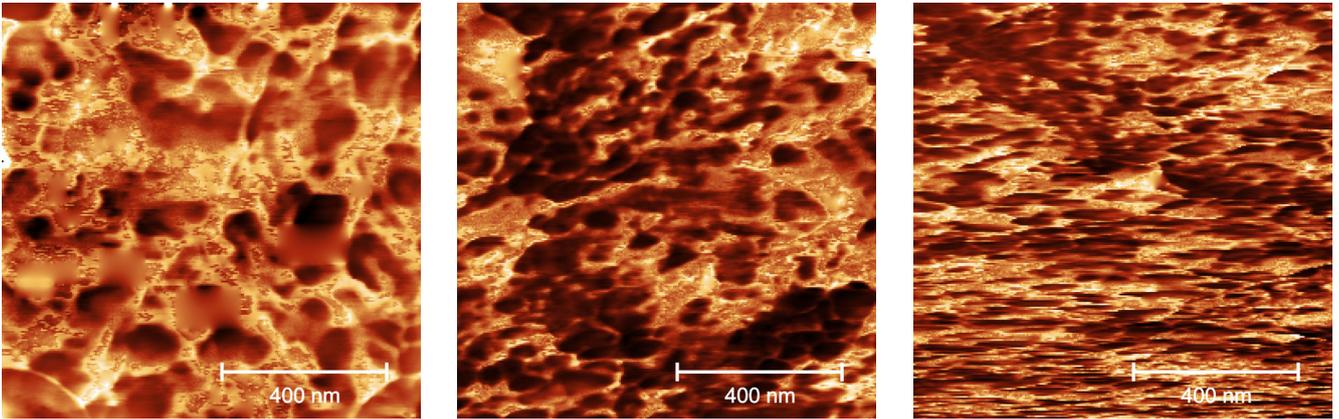
**Figura 7**

Imagen de altura AFM de la membrana (Celgard). Imagen en modo tapping a 4 Hz. Recuadro: muestra de membrana Celgard (muestra blanca) sujeta en su lugar dentro del NanoRack Ref [7].



**Figura 8**

Imágenes consecutivas de altura AFM de una membrana (Celgard) mientras se estira en el NanoRack. Se dibujan triángulos para ayudar a guiar al lector a través de los cambios de la muestra a medida que se estira. La imagen inferior derecha muestra la muestra montada en el NanoRack al principio (INICIO) y al final (FIN) del experimento [5].



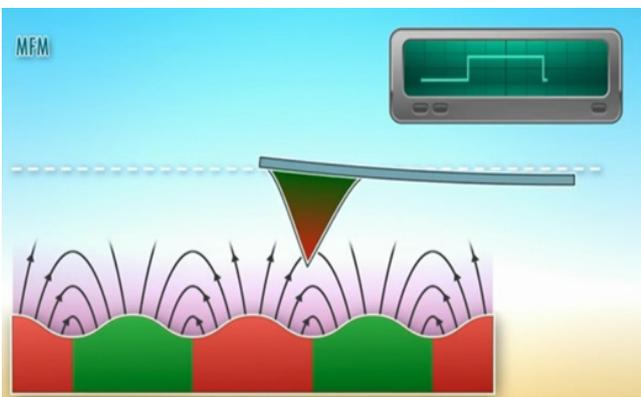
**Figura 9**

Imágenes de la fase del barrido AFM, tomadas en el laboratorio de microscopía AFM de la Universidad Central de Chile. La muestra corresponde a un polímero llamado BOPP (bi oriented axial PolyPropilene), cortesía del laboratorio de Sistemas NO-Lineales del profesor Juan Francisco Fuentealba de la Universidad Central de Chile. La muestra sin estiramiento es la de la izquierda, corresponde a 0 N, y luego fue estirada con 14 N y 27 N (de izquierda a derecha sería entonces 0, 14 y 27 N de fuerza). Entonces si tomamos una tira de este material y le colgamos 27 kilogramos, entonces el material se deforma tal como se muestra en la imagen de la microestructura.

**Modulo de Campo Magnético Variable:**

El módulo de campo variable (VFM4, Variable Field Module) es un accesorio para los microscopios de fuerza atómica (AFM) Jupiter XR de Asylum Research, que permite aplicar un campo magnético ajustable ya sea en el plano con la muestra o fuera del plano mientras realizan se mediciones AFM simultáneamente. Aunque se utiliza con mayor frecuencia junto con la microscopía de fuerza magnética (MFM), el VFM4 también se puede utilizar con técnicas como el AFM conductivo (CAFM), para medir directamente la magnetorresistencia a nanoescala y en diversas muestras, incluidos materiales piezoeléctricos y ferroeléctricos. Ninguna otra solución comercial ofrece las mismas capacidades, versatilidad y facilidad de uso para la investigación sobre propiedades magnéticas. Ref. [8].

Para medir la magnetización de una muestra es necesario barrer con una sonda que responda a esta magnetización, es por esto que la punta que se utiliza tiene un recubrimiento de un material magnético. Las distancias con la que la punta interactúa con la muestra, es la distancia más grande con la que los microscopios de barrido funcionan, las puntas se pueden llegar a levantar 100 nanómetros de la muestra, y siguen sintiendo la interacción. Esto es 100 veces más que un barrido de microscopía de tuneleo normal.



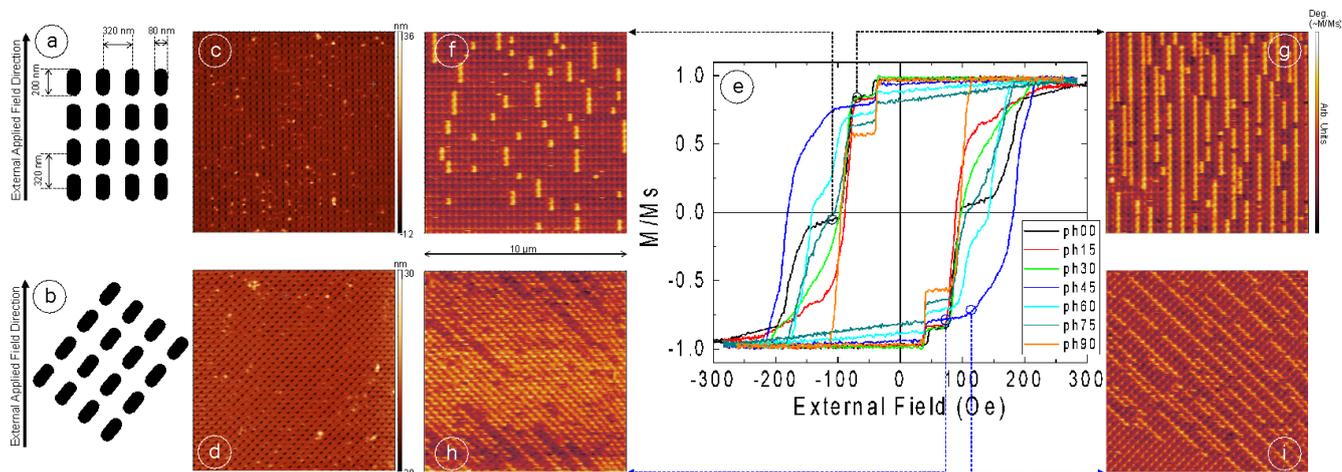
**Figura 10**

Imagen: la imagen muestra un esquema del barrido de fuerza magnética. en la esquina superior, no se ve la topografía ondulada, si no que se muestra como se dibuja los dominios magnéticos, que corresponden a las zonas cuadradas (rojas y verdes del esquema de la muestra). A la derecha el accesorio de aplicación de campo. Ref [8].

El accesorio VFM4, alcanza campos en el plano de 1T, y una sensibilidad de 1G, el cual es el campo magnético producido por la Tierra. Fuera del plano, alcanza campos de 1250G, pero se puede aumentar poniendo imanes permanentes. En pruebas de laboratorio, y como científicos exploradores de las posibilidades, hemos puesto imanes permanentes alcanzando campos de 3500G. Varias son las muestras que hemos medido en el laboratorio, pero queremos destacar los sistemas de antidots con anisotropía en el plano y unos dots con anisotropía fuera del plano.

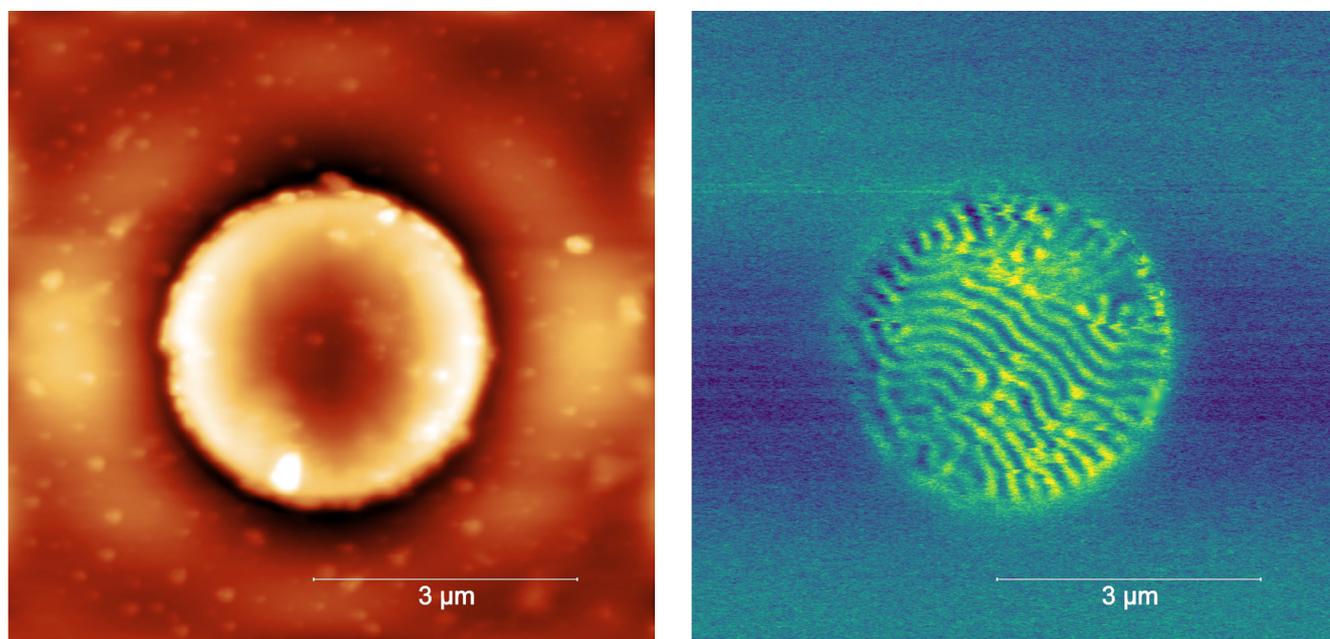
Los sistemas de antidots corresponden a películas planas que contienen agujeros. Un dot, es un punto, lo podemos imaginar en sistemas magnéticos como una pastilla, como una moneda puesta sobre un sustrato plano. Un anti-dot, es una anti estructura del dot, por lo que representa un agujero. La idea de poner agujeros en una película continua, es que una de las propiedades de los imanes es lo que se conoce como “coercitividad o campo coercitivo”, y este campo está relacionado con la “fuerza magnética” que tiene un imán. Los imanes planos, como una hoja de papel, como una lámina delgada, se utilizan en la industria de sensores o de grabación magnética. El campo coercitivo viene dado por los defectos cristalinos que pueda tener este imán, y al introducir agujeros, estamos controlando los defectos que tiene el material. Los agujeros que logramos introducir con técnicas de litografía son de algunas decenas de nanómetros, para este caso que estamos presentando en particular, son de ancho de 80 nanómetros y los vamos alargando hasta 320 nanómetros, así controlamos la dirección de fácil imanación de la película, la que es conocida como la anisotropía magnética de la película.





**Figura 11**

Esquema de los conjuntos de antidotos, con eje largo de 200 nm, con dirección de campo aplicada en (a) 0° y (b) 45°. (c, d) Topografía por microscopía de fuerza atómica. (e) Curvas de histéresis (bucles de magnetización) en diferentes direcciones del campo aplicado y la imagen de la magnetización por MFM para el campo aplicado en (g) 0° (curva negra) con una intensidad de campo externo de 92 Oe y (f) 118 Oe, y el campo aplicado campo a 45° (curva azul) con una intensidad de campo externo de (h) 85 Oe y (i) 118 Oe. El ancho en la dirección horizontal, de cada bucle, representa la coercitividad de la muestra en las distintas direcciones del campo aplicado.



**Figura 12**

Topografía de un dot de 3 micras de un material magnético formado por multicapas de Ta(4[nm])/[Pt(3.8[nm])/Co(1.9[nm])/Ta(1.7[nm])] x 15/Ta(4[nm]). A la izquierda se pueden observar los dominios magnéticos que forman líneas (stripes) en la configuración magnética del imán micrométrico. Este tipo de material es estudiado para generar aumentar la densidad de almacenamiento de información.

Al aplicar campos magnéticos con el VFM4, podemos observar la formación de distintas zonas de imanación en la película, en particular observamos las zonas donde la magnetización cambia de dirección, que es lo que se conoce como paredes de dominio. Los invitamos a leer los artículos anteriores de divulgación de la revista Ingeniería al Día, en donde se tratan más a fondo estos temas. Estas paredes de dominio, representan la imanación legible por un cabezal lector, que es el principio que utilizan nuestros discos duros y las memorias de acceso aleatorio.

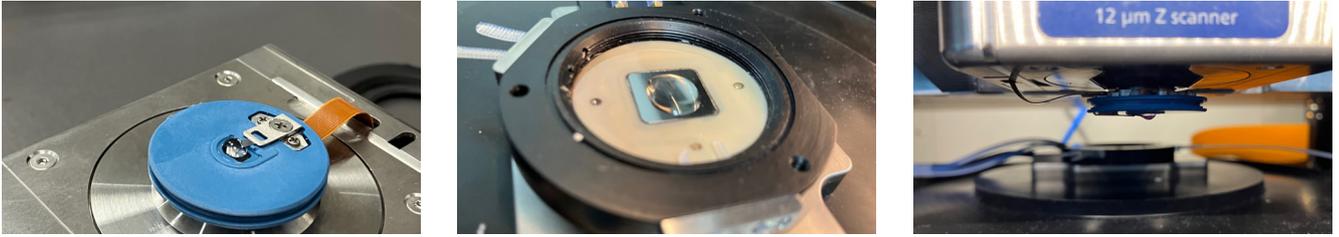
#### Obteniendo imágenes de AFM inmersos en un Líquido:

La obtención de imágenes en líquido, es decir; imágenes en donde la muestra y el cantilever están completamente sumergidos en un líquido (como si hiciéramos AFM submarino) se puede lograr mediante el uso de un soporte removible que es compatible con distintos líquidos y con la tecnología de lectura del láser del microscopio. La obtención de imágenes es fácil de configurar, estable en el tiempo y da como resultado se pueden obtener imá-

genes de alta calidad de una amplia gama de muestras, como moléculas, biomateriales y diversos recubrimientos.

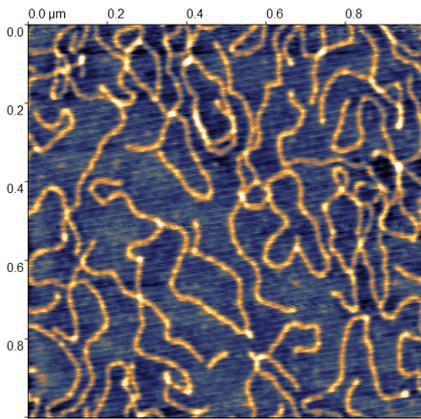
Los experimentos en ambiente líquido, pueden realizarse en muestras de moléculas de ADN hasta en proteínas y dispositivos que necesiten mantenerse hidratados para que no pierdan sus propiedades físico-químicas. El accesorio compatible con líquidos y la tecnología de lectura del láser permiten obtener imágenes líquidas en el AFM Jupiter XR. Se pueden adquirir datos de alta resolución en agua u otros líquidos.

El accesorio removible para líquidos del Jupiter XR, está fabricado de PEEK químicamente inerte y está equipado con una membrana de Viton® para crear un entorno semisellado cuando se utiliza con el soporte de muestras CellLite®. La membrana evita la evaporación durante los experimentos y protege el escáner Z del contacto con el líquido. El soporte removible para líquido tiene un módulo de identificación dedicado que se conecta al AFM y



**Figura 13**

Cantilever sumergido en líquido, muestra sumergida en líquido, cantilever acercándose a la muestra. Todas estas imágenes fueron tomadas en el laboratorio de la Universidad Central de Chile. Ambos sistemas, cantilever y muestra, deben estar con líquidos antes de entrar en contacto, ya que si no el cantilever se puede quebrar debido a la tensión superficial que presenta el líquido.



**Figura 14**

Fibras de ADN tomadas en el laboratorio de la Universidad Central de Chile en atmósfera ambiente, con humedad ambiente relativa normal. Este tipo de muestras biológicas pueden mantener mejor su integridad al ser tomadas las fotografías con el sistema del Liquid AFM. El tamaño de la imagen es de una micra. Las muestras son cortesía de la Dra. Romina Muñoz de la Universidad Autónoma de Chile.

permite la identificación automática del software, la configuración y el uso rápido.

Cantilever sumergido en líquido, muestra sumergida en líquido, cantilever acercándose a la muestra. Todas estas imágenes fueron tomadas en el laboratorio de la Universidad Central de Chile. Ambos sistemas, cantilever y muestra, deben estar con líquidos antes de entrar en contacto, ya que si no el cantilever se puede quebrar debido a la tensión superficial que presenta el líquido.

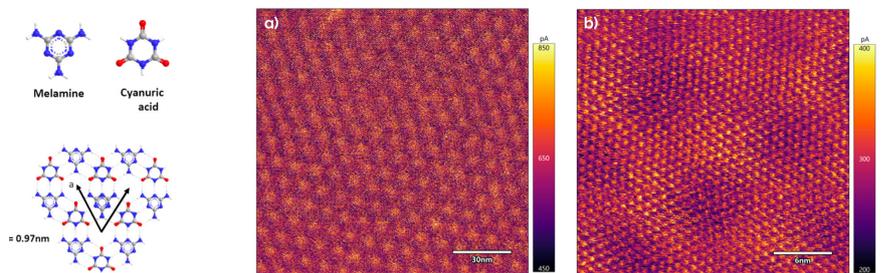
#### Microscopía de Fuerza atómica conductiva:

El AFM conductivo mide la corriente para determinar las variaciones locales en la conductividad de la muestra. Las imágenes de la topografía y la conductividad de la muestra se adquieren simultáneamente con una resolución espacial a nanoescala, lo que permite correlacionar las propiedades eléctricas locales con la morfología de la muestra. Se pueden realizar mediciones de corriente eléctrica que van desde picoamperios hasta microamperios en una amplia gama de muestras, incluidas películas dieléctricas delgadas, películas ferroeléctricas, nanotubos, polímeros conductores y otros.

¿Cómo funciona? ORCA (de sus siglas en inglés que significan: Amplificador de conductancia de resistencia optimizado) es un modo de imagen AFM conductivo utilizado en los AFM de Asylum Research y consta de un soporte de sonda especialmente diseñado para medir conductividad. Se aplica polarización a la muestra mientras una sonda conductora escanea la superficie en modo de contacto. A medida que la punta escanea la superficie de la muestra, se registra cualquier flujo de corriente detectado entre la punta y la muestra y se construye una imagen de conductividad.

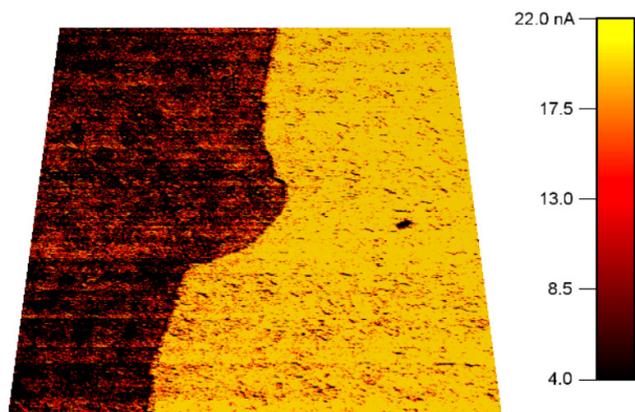
El soporte ORCA incluye un amplificador de transimpedancia con valores estándar de ganancia (resistencia) del amplificador que van desde  $5 \times 10^7$  a  $5 \times 10^9$  voltios/amperio. El soporte ORCA estándar de ganancia única tiene una sensibilidad de 2 nA/V, lo que permite mediciones de corriente del orden de 1 pA a 20 nA. El soporte ORCA de doble ganancia tiene dos amplificadores separados con sensibilidades de 1 nA/V y 1 μA/V y puede medir un rango de corriente más amplio del orden de 6 pA a 10 μA. Ref [8].

La alta sensibilidad y el bajo ruido de las imágenes conductivas ORCA permiten una resolución excepcional e imágenes de alta calidad. A continuación se muestra un ejemplo de tales resultados, donde las moléculas de melamina y ácido cianúrico ensambladas sobre una superficie de grafito muestran tanto el patrón Moiré como la disposición de la red molecular. Ref [8].



**Figura 15**

Cuando se depositan sobre una superficie de grafito, la melamina y el ácido cianúrico forman una red hexagonal extendida que exhibe un patrón Moiré de 12 nm y una red molecular de 0,97 nm. Las imágenes se adquirieron utilizando un soporte para AFM conductivo de ganancia única a) 6,5 Hz y b) velocidad de escaneo de 10 Hz. Imágenes tomadas de Ref [9].



**Figura 16**

Vidrio cubierto de óxido de indio y estaño (ITO) con una fina capa discontinua de platino (Pt) de 60 nm encima. La región cubierta con Pt muestra una conductividad mayor que la de ITO desnudo. Imagen tomada desde Ref [9].

**Nanolitografía:**

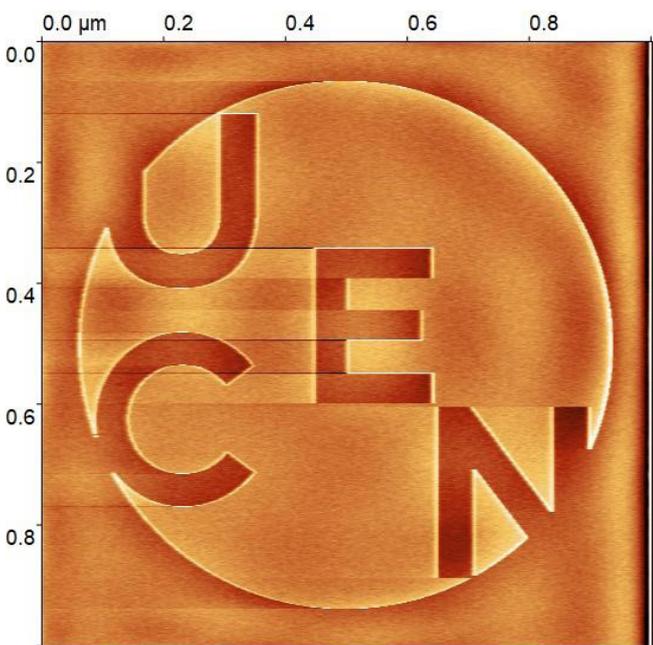
La litografía es un proceso de escritura, que se realiza por medio de una estampa, de desgaste de material o de procesos complejos de quemado de materiales poliméricos y subsecuente deposición de metales en alto vacío. Para comprender más acerca de este proceso, le invitamos a leer el volumen 7 de la revista ingeniería al Día.

El proceso de escritura, en litografía, se puede llevar a cabo de varias maneras, y una de ellas, muy poco explorada por su complejidad experimental: es el proceso de escritura por oxidación anódica. La anodización es un proceso de oxidación de un material, por medio de la aplicación de un voltaje de Bias, en este caso el voltaje de Bias se aplica a la muestra directamente desde la punta del cantilever. Por lo que se obtiene una oxidación del material, pero solo en el contacto de la punta del cantilever con el material. Esto es como tener un lápiz que termina en una punta de radio de curvatura de 7 nanómetros e ir dibujando sobre el sustrato. Lo que se obtiene finalmente es una imagen formada por óxidos a distintas alturas, más precisamente, y nominalmente se tiene una escala de alturas de 256 niveles, que son los niveles que permite la escala de grises, escala que es la que está programada para ser leída por el software MlCroAngelo, y que regula la altura de los óxidos que estamos dibujando.

Las posibilidades que ofrece este tipo de litografía son innumerables, y es primera vez que en nuestro país, y en el cono sur de América, se realizan pruebas de este tipo. Es un orgullo tener este tipo de sistemas en nuestra Universidad Central de Chile.

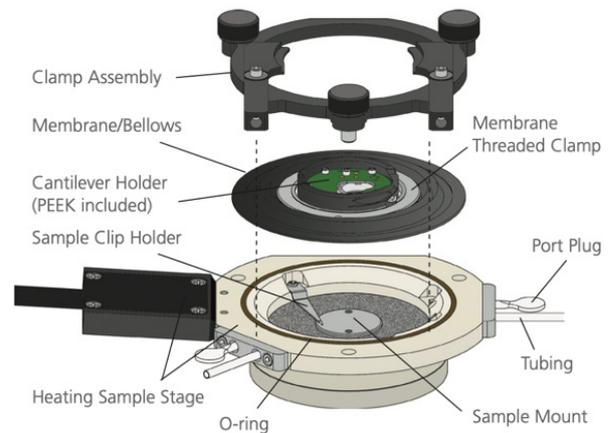
Para hacer litografía de anodización, es necesario mantener la humedad del ambiente. Por lo que es necesario usar el accesorio Cooler Heater para el AFM JupiterTM XR que enfría y calienta las muestras, de hasta 15 mm de diámetro, de -30°C a +120°C, al tiempo que permite obtener imágenes de alta calidad. El CoolerHeater es un accesorio ideal para una amplia gama de experimentos controlados térmicamente.

Patrón de litografía de 1 micra del logo de la Universidad Central de Chile, este es la mitad de tamaño que un glóbulo rojo. El patrón está diseñado para hacer litografía, lo que se observa es la memoria que se aplica al cantilever y lo que está midiendo la fase del cantilever que escribirá la litografía por anodización.



**Figura 17**

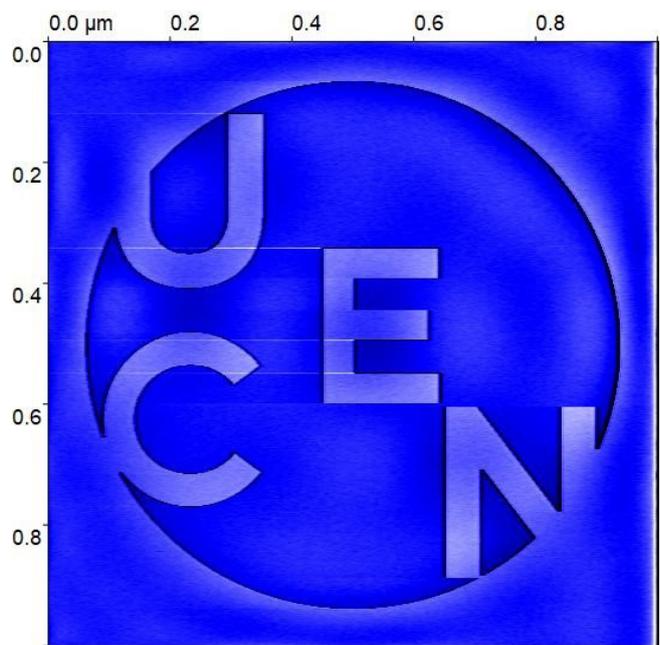
Patrón de litografía de 1 micra del logo de la Universidad Central de Chile, este es la mitad de tamaño que un glóbulo rojo. El patrón está diseñado para hacer litografía, lo que se observa es la memoria que se aplica al cantilever y lo que está midiendo la fase del cantilever que escribirá la litografía por anodización.

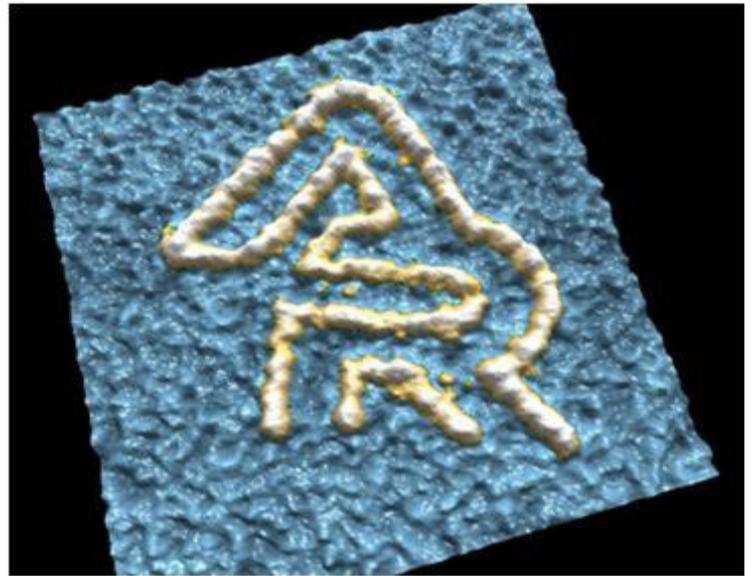
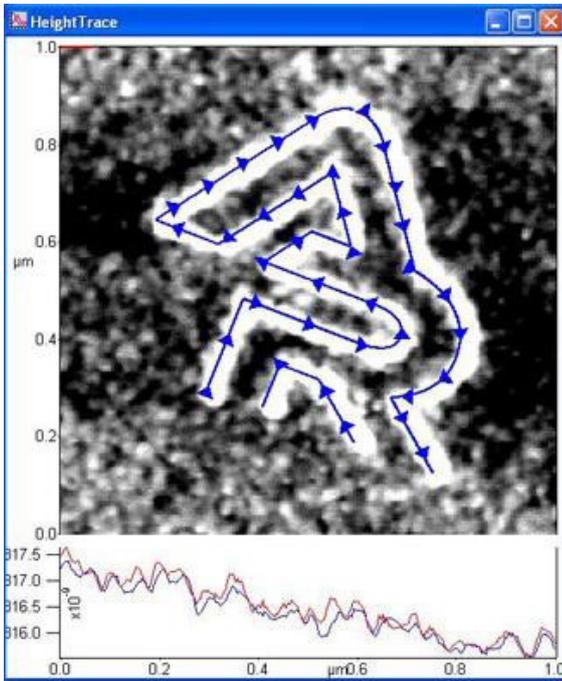


*Schematic of PolyHeater assembly*

**Figura 18**

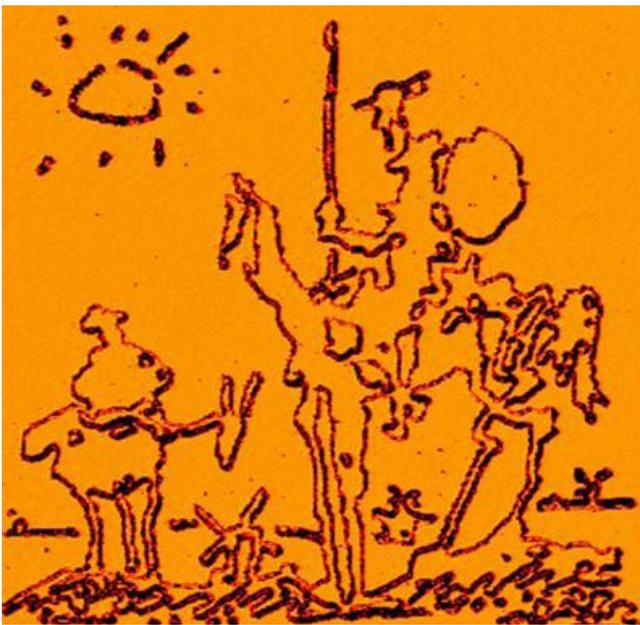
Patrón de litografía, el tamaño total de la imagen es de 30 micrómetros, es una representación del famoso cuadro "The Big Wave of Kanawa", y es una litografía de anodización de óxido de Silicio sobre una oblea de Silicio con 2 nanómetros de óxido nativo. Esquema del sistema de la celda de temperatura. Ref [10].





**Figura 19**

Un escaneo de 1 µm de litografía de oxidación anódica sobre silicio, escrito en modo AC. Este patrón se importó primero como archivo JPEG y luego se escribió con una polarización de -10 V en una punta conductora a 20 nm/s. Ref [11].



**Figura 20**

Nanolitografía sobre Policarbonato la que representa una imagen del Quijote de la Mancha junto su escudero Sancho Panza. Litografía de rayado (scratching), imagen escaneada de 5 µm. Imagen tomada con el AFM MFP-3D. Ref [11].

A esta altura, no profundizaremos más sobre las posibilidades que nos ofrece el microscopio Jupiter XR de Oxford Instruments a través de Asylum Research, ya que podríamos estar escribiendo un libro. Nos quedaremos con estos accesorios y técnicas nombradas, e iremos profundizando sobre las técnicas en los siguientes tomos de Ingeniería al Día, quedan muchos experimentos por hacer y cosas por descubrir.

Pero uno de los mensajes que podemos dejar como conclusión, es que la observación es una interpretación de las interacciones que podemos sentir, o mejor dicho que podemos medir e interpretar. Y qué mejor que entender estas interacciones para hacerlo que fuimos explicando a través de este artículo, controlar estas interacciones para poder utilizarlas en nuevas tecnologías y descubrimientos funcionales. Queda mucho por hacer.

#### Referencias:

- [1] <https://afm.oxinst.com/products/jupiter-family-of-afms/jupiter-xr-afm#>
- [2] <https://www.youtube.com/watch?v=pJ0MtKqTOco>
- [3] [https://youtu.be/fivhcWYEtqQ?si=Nbp\\_ZrtAbIvQziNb](https://youtu.be/fivhcWYEtqQ?si=Nbp_ZrtAbIvQziNb)
- [4] "Crack Propagation in Bone Captured with In Situ Mechanical Testing During AFM" O. Katsamenis, et. al, University of Southampton.
- [5] [https://afm.oxinst.com/products/jupiter-family-of-afms/jupiter-xr-afm#https://afm.oxinst.com/assets/uploads/products/asylum/documents/Nanorack\\_10MAY2021.pdf](https://afm.oxinst.com/products/jupiter-family-of-afms/jupiter-xr-afm#https://afm.oxinst.com/assets/uploads/products/asylum/documents/Nanorack_10MAY2021.pdf)
- [6] [www.celgard.com](http://www.celgard.com)
- [7] Brochure Oxford Nanorack
- [8] <https://afm.oxinst.com/assets/uploads/products/asylum/documents/VFM4-DS-22MAR2021.pdf>
- [9] [https://afm.oxinst.com/assets/uploads/products/asylum/documents/Orcabrochure\\_v6.pdf](https://afm.oxinst.com/assets/uploads/products/asylum/documents/Orcabrochure_v6.pdf)
- [10] [https://afm.oxinst.com/assets/uploads/products/asylum/documents/CoolerHeater\\_v6.pdf](https://afm.oxinst.com/assets/uploads/products/asylum/documents/CoolerHeater_v6.pdf)
- [11] <https://afm.oxinst.com/afm-gallery/>

# TRANSFORMACIÓN ELECTROQUÍMICA DE CO<sub>2</sub> A COMPUESTOS DE UN ALTO VALOR AGREGADO



*Esteban Landaeta*  
Doctor en Química

Las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> son consideradas el principal indicador de cambio climático y su aumento en los últimos 50 años está directamente relacionado con el aumento de la temperatura global. En la búsqueda de métodos para revertir esto, hemos fabricado un material capaz de reducir CO<sub>2</sub>, transformándolo en acetato que es un compuesto de valor agregado y además se ha identificado el mecanismo por el cual el CO<sub>2</sub> es reducido.

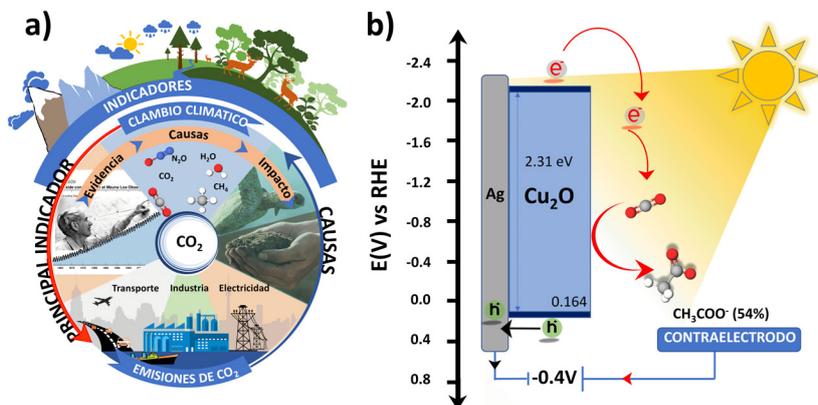
## Cambio Climático y CO<sub>2</sub>

En las últimas décadas, la crisis climática global ha sido eje temático de importancia mundial, debido principalmente al impacto que los cambios en el clima pueden generar en los sistemas ecológicos y humanos. Para los sistemas ecológicos, pequeños cambios en el clima pueden afectar gravemente a la biota que depende de variables tan sensibles como la temperatura o cantidad de precipitación, mientras que para la humanidad estos cambios en el clima, que se traducen en condiciones climáticas extremas, está afectando los sistemas agrícolas de producción y por ende la economía mundial también se está viendo afectada.

Para abordar esta problemática, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) se ha enfocado en reunir evidencia y así identificar las causas principales que producen el cambio climático. Entre la evidencia, el estudio de los gases de efecto invernadero ha demostrado que CO<sub>2</sub> antropogénico es el principal indicador de cambio climático (ver figura 1a) ya que existe una relación directa entre el aumento de estas emisiones y los cambios en la temperatura global lo que se explica mediante lo que conocemos como efecto invernadero

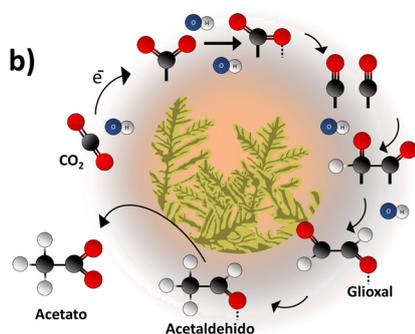
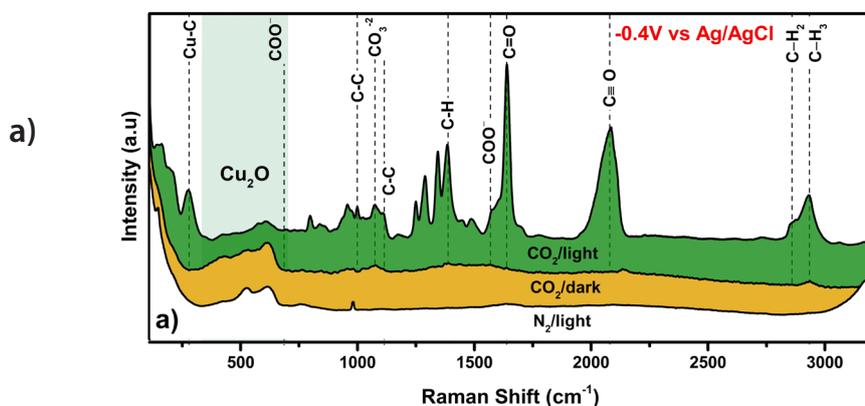
## Transformación de CO<sub>2</sub>

Para mitigar el impacto del cambio climático, los esfuerzos se han centrado, tanto en disminuir las emisiones, así como reducir (transformar) el CO<sub>2</sub> de origen antropogénico. El principal problema al intentar transformar CO<sub>2</sub>, es la alta estabilidad de esta molécula por lo que es necesario emplear altos valores de energía para transformarlos electroquímicamente a compuestos como CO, CH<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>OH y compuestos de más de un carbono en su estructura, tales como acetato (CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>) o etanol (CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH).



**Figura 1**

a) Esquema representativo de la relación entre cambio climático y  $\text{CO}_2$  y b) Diagrama de bandas para un sistema fotoelectroquímico en la reducción de  $\text{CO}_2$  utilizando plata y óxido de cobre como electrodo



**Figura 2**

a) Espectro Raman comparativo de un electrodo  $\text{Ag}/\text{Cu}_2\text{O}$  en  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ /oscuridad y  $\text{CO}_2$ /luz respectivamente y aplicando  $-0.4\text{V}$  vs  $\text{Ag}/\text{AgCl}$ . b) Esquema representativo del posible mecanismo de reducción de  $\text{CO}_2$  a acetato

Entre los métodos para transformar al  $\text{CO}_2$ , la reducción electroquímica se ha convertido en un método de amplio interés, ya que a partir de esta metodología es posible; disminuir las barreras energéticas de transformación, obtener productos con una alta eficiencia y selectividad, utilizar una gran variedad de materiales en la fabricación de los electrodos y utilizar luz como fuente de energía, entre otros.

Muy recientemente, en la búsqueda de fabricar nuevos materiales electro y fotoelectrocatalíticos para la reducción de  $\text{CO}_2$ , hemos fabricado un material a partir

de nanodendritas de plata y óxido de cobre capaz de transformar eficientemente el  $\text{CO}_2$  a acetato que es un compuesto de valor agregado en la industria de la síntesis de nuevos materiales. Lo novedoso de este material radica en dos aspectos: Por un lado, permite utilizar luz como fuente de energía para la generación de electrones capaces de reducir al  $\text{CO}_2$ , lo que disminuye enormemente el potencial de reducción de esta molécula y, por otro lado, la utilización de plata en la fabricación de los electrodos, además mejorar las propiedades del material, permite identificar mediante técnicas espectroscópicas como se va reduciendo el  $\text{CO}_2$ , pasando por compuestos intermediarios hasta llegar al compuesto final. Los resultados de esta investigación se resumen en el esquema de la **figura 1b** que recientemente fueron publicados en la revista ACS Catalysis[1] donde es posible encontrar mayores detalles de la investigación.

#### Detalle Experimental

Las nanodendritas de plata y  $\text{Cu}_2\text{O}$  fueron fabricadas electroquímicamente donde; inicialmente las dendritas fueron depositadas en un electrodo de aluminio a partir de una solución de  $\text{AgNO}_3$  a un potencial lo suficientemente negativo para su formación. Luego, sobre estas dendritas se depositó una película de

$\text{Cu}_2\text{O}$  a partir de una solución de  $\text{Cu}_2\text{SO}_4$ .

Para el estudio del mecanismo de reducción se dispuso de una celda de espectroelectroquímica de fabricación propia del grupo de laboratorio, en donde el  $\text{CO}_2$  fue disuelto en una solución de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  mediante burbujeo constante hasta saturar la solución. Para la reducción fotoelectroquímica se utilizó una fuente de luz blanca y se aplicaron  $-0.4\text{V}$  vs  $\text{Ag}/\text{AgCl}$  para replicar el experimento donde se obtuvo acetato como producto mayoritario.

#### Resultados

El espectro Raman de la **figura 2a** muestra las bandas principales que se forman durante el proceso de reducción de  $\text{CO}_2$ . De este espectro es posible destacar la identificación de  $\text{Cu}_2\text{O}$  en la superficie del electrodo, enlaces de unión entre el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{Cu}_2\text{O}$  ( $\text{Cu}-\text{C}$ ), así como la formación de enlaces  $\text{C}-\text{C}$ ,  $\text{C}-\text{H}$  y  $\text{C}-\text{O}$ . Por otro lado, el espectro compara la actividad electrocatalítica en ausencia de  $\text{CO}_2$  y luz, evidenciando que la mejor condición para reducir al  $\text{CO}_2$  es en presencia de luz.

Por otro lado, del estudio del mecanismo de reducción de  $\text{CO}_2$  a acetato, los principales resultados mostraron que el primer intermediario, y del cual depende la reducción de  $\text{CO}_2$  a un compuesto de dos carbonos, es el monóxido de carbono,  $\text{CO}$ , posible de identificar a  $2080\text{ cm}^{-1}$  en la **figura 2a**. Luego este compuesto es reducido a glioxal que es otro importante intermediario descrito en el proceso de reducción de  $\text{CO}_2$  a compuestos de más de 2 carbonos, para luego ser transformado a acetaldehído en un paso previo a la formación de acetato como se muestra en el esquema representativo de la **figura 2b**.

#### Conclusiones

Del estudio de reducción de  $\text{CO}_2$  a acetato utilizando un material novedoso fabricado a partir de nanodendritas de plata y  $\text{Cu}_2\text{O}$  fue posible obtener información valiosa que no solamente permite comprender el mecanismo de reducción de  $\text{CO}_2$  a acetato, sino que además entrega información valiosa respecto a la presencia de los intermediarios que podrían impactar en la formación de otros productos.

Por otro lado, la disminución del potencial de reducción utilizando luz como fuente de energía permite avanzar hacia el desarrollo de tecnologías sustentables y amigables con el medio ambiente.

#### Referencias

[1] Landaeta, E., Kadosh, N. I. & Schultz, Z. D. Mechanistic Study of Plasmon-Assisted In Situ Photoelectrochemical  $\text{CO}_2$ .

# CONTROL AUTÓNOMO DE DRON UTILIZANDO COMANDOS DE VOZ Y APRENDIZAJE POR REFUERZO ASISTIDO



Francisco Cruz

Doctor en Ciencias de la Computación

Rubén Contreras

Ingeniero Civil en Computación e Informática

En los últimos años, la tecnología relacionada con vehículos aéreos no tripulados (UAV) ha logrado expandir el conocimiento en esta área, dando paso a nuevos problemas y desafíos que requieren solución. Además, esta tecnología muestra una gran demanda en la industria, permitiendo automatizar procesos que realizan las personas normalmente. El aprendizaje por refuerzo (RL) como marco de automatización, es frecuentemente usado para entrenar agentes autónomos. RL es un paradigma de aprendizaje de máquina donde un agente interactúa con un ambiente para resolver una determinada tarea. Sin embargo, el aprendizaje autónomo puede tomar tiempo, grandes costos computacionales y puede no ser práctico en escenarios de alta complejidad.

El aprendizaje por refuerzo interactivo permite que un entrenador externo de consejos al agente mientras aprende una tarea. En este trabajo, se propone enseñar a un agente de RL a controlar un dron usando las técnicas de reward-shaping y policy-shaping de manera simultánea a través de comandos de voz. Para llevar a cabo el entrenamiento, se plantearon dos escenarios simulados, uno sin obstáculos y otro con obstáculos. Además, se estudió la influencia de cada técnica. Los resultados mostraron que un agente entrenado con ambas técnicas simultáneamente obtiene una recompensa menor que un agente usando solo policy-shaping. Sin embargo, el agente obtiene tiempos de ejecución más bajos y tiene menos dispersión durante el entrenamiento.

## Aprendizaje por refuerzo interactivo

En algunas situaciones, permitir que un agente aprenda una tarea completamente de manera autónoma no es práctico debido al alto costo de cada prueba y error. Además, el aprendizaje autónomo envuelve problemas de exploración y una tendencia débil que evita encontrar una política óptima [1]. El aprendizaje por refuerzo interactivo (IRL) es un enfoque que considera un entrenador con conocimiento del ambiente, que da consejo al agente con el fin de optimizar el tiempo de aprendizaje. El consejo puede ser obtenido de un entrenador experto o no, de agentes artificiales con perfecto conocimiento de la tarea: o, de agentes entrenados previamente [2]. En un escenario de IRL, se espera que la interacción entre el entrenador y el agente sea la mínima posible, en caso contrario, el aprendizaje sería supervisado.

En términos de IRL se distinguen dos formas de relación entre el entrenador y el agente. En el primer método, llamado reward-shaping, el entrenador modifica la recompensa que recibe el agente del ambiente. La Fig. 1 muestra el método de reward-shaping, donde el entrenador externo modifica o no la recompensa obtenida del ambiente. La recompensa del entrenador informa como es el desempeño de la acción seleccionada en la iteración anterior [3].

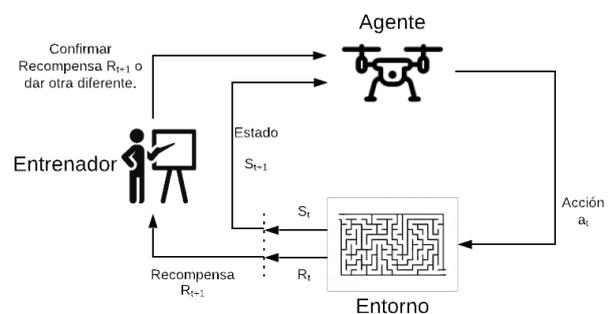
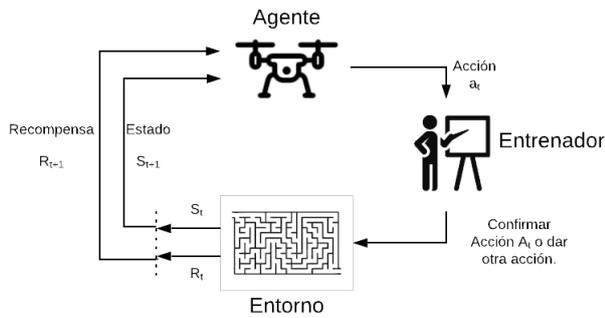


Figura 1

*Reward-shaping: Interacción entre el agente y el ambiente, donde un entrenador externo interviene en la recompensa recibida por el ambiente.*

El segundo método, llamado policy-shaping, el entrenador modifica la acción seleccionada por el agente y sugiere una acción para ser aplicada. La Fig. 2 muestra el método policy-shaping, donde el entrenador externo propone una nueva acción para ser desarrollada en vez de la acción seleccionada por el agente. En este enfoque se espera que la acción dada por el entrenador tenga un mejor desempeño que la acción del agente, aumentando la probabilidad que sea seleccionada [4].

Cabe resaltar que reward-shaping modifica la estimación del retorno esperado, dando mayor valor a acciones de alto desempeño, pero puede ser problemático para otro tipo de acciones. En policy-shaping la política del agente cambia en vez de afectar la función de recompensa [5], sin embargo, el agente puede demorar en encontrar una política óptima debido a la calidad del consejo [6, 7]. Una comparación entre reward-shaping y policy-sha-



**Figura 2**

*Policy-shaping: Interacción entre el agente y el ambiente, donde un entrenador externo interviene en las acciones seleccionadas por el agente.*

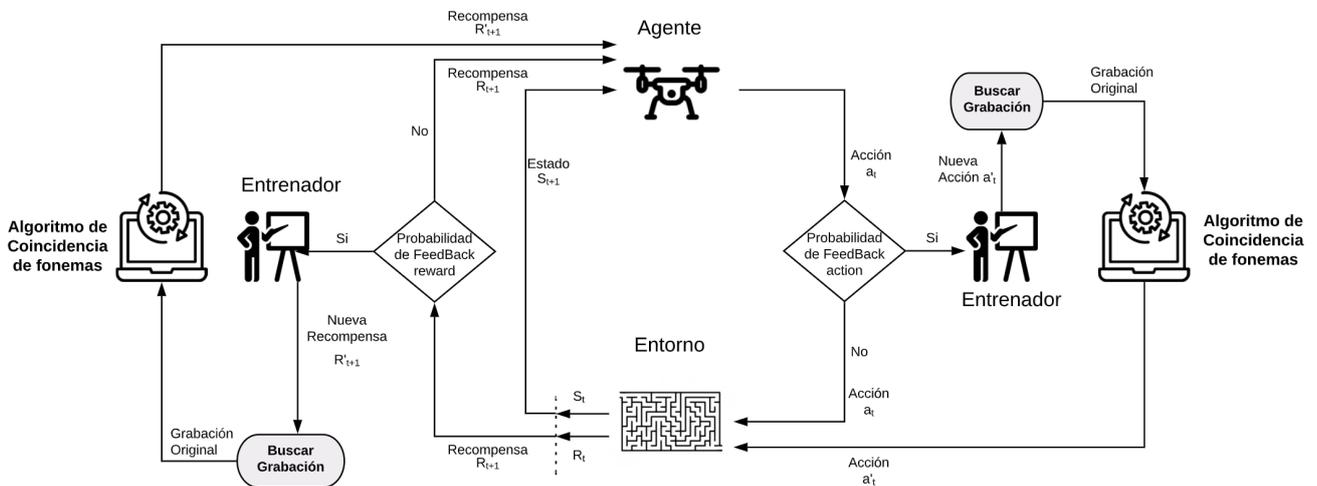
ping es realizada por Bignold et al. [8]. En este trabajo los autores muestran que los usuarios que brindan consejos basados en policy-shaping a los agentes brindan consejos más precisos y están dispuestos a ayudar al agente durante más tiempo, brindando más consejos por episodio.

**Método**

**Arquitectura propuesta**

En la literatura, el aprendizaje por refuerzo interactivo considera una fuente de variación externa, es decir, un entrenador externo al ambiente que proporciona feedback al agente durante su entrenamiento [9]. En nuestra arquitectura propuesta, el agente recibe feedback de dos fuentes de variación, una bajo reward-shaping y otra bajo policy-shaping. El agente y el ambiente interactúan en cada iteración  $t$ . A cada paso, el agente recibe una representación del estado del ambiente,  $s_t$ , seleccionando una acción,  $a_t$ , disponible en el estado actual.

Fig. 3 presenta un diagrama de la arquitectura propuesta, donde el agente interactúa con el ambiente mientras es aconsejado por un entrenador externo bajo los dos enfoques. Una vez seleccionada la acción, el enfoque de policy-shaping se lleva a cabo. Así, con una probabilidad de feedback action  $L_a$ , el entrenador externo selecciona una nueva acción  $a'_t$ , que modifica el estado. Como resultado de llevar a cabo la acción, el agente recibe un valor de recompensa  $p_{t+1}$  y alcanza un nuevo estado  $s_{t+1}$ . Una vez que el agente recibe la recompensa, el enfoque de reward-shaping se lleva a cabo. Con una probabilidad de feedback reward  $L_p$ , el agente recibe del entrenador externo una nueva recompensa  $p'_t$ .



**Figura 3**

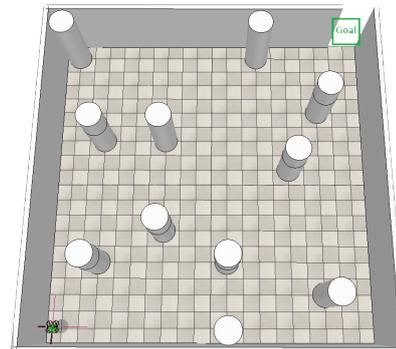
*Arquitectura propuesta para el agente de IRL.*

Por otro lado, se usó el algoritmo de coincidencia de fonemas presentado en [10] para procesar el consejo que da el entrenador externo. El consejo es dado por un audio seleccionado de un conjunto de grabaciones. Para transformar la señal de audio en texto, se utilizó Google Cloud Speech (GCS) en combinación con un lenguaje basado en dominio. Las transmisiones de audio se reciben y se envían al servicio GCS basado en la nube a través de Web Speech API, de donde se obtiene una oración reconocida como hipótesis.

A continuación, se comparó la hipótesis y el diccionario basado en el dominio utilizando la distancia de Levenshtein, seleccionando la instrucción con distancia mínima. Una vez que el comando de voz se convirtió en texto, la señal se procesó y clasificó como una recompensa, en el caso de reward-shaping, y una instrucción para el UAV, en el caso de policy-shaping.

**Entorno experimental**

Para desarrollar este proyecto, fue usado CoppeliaSim [11], que es un software de simulación de código abierto disponible gratuitamente con una licencia educativa para varios sistemas operativos, como Linux, Windows e iOS, para simular diferentes tipos de robots en entornos realistas. Dos escenarios fueron construidos con el fin de comprobar la metodología propuesta. El primer escenario fue una grilla de 10x10 metros cuadrados, el ambiente no contiene obstáculos permitiendo que el dron tenga trayectorias libres. El segundo escenario es una grilla de 10x10 metros cuadrados, con 11 pilares de 0.80 metros de diámetro distribuidos por todo el ambiente que obstruyen el paso del UAV en algunas trayectorias. La Fig. 4 muestra el escenario con obstáculos en el simulador.



**Figura 4**

*Entorno simulado en CoppeliaSim. En la esquina inferior izquierda se encuentra la UAV, y en la esquina superior derecha se encuentra el objetivo. La tarea consiste en llevar a la UAV por el ambiente hacia el objetivo evitando colisiones con los obstáculos.*

Estos escenarios tendrán un UAV al comenzar la simulación (lado inferior izquierdo de la Fig. 4), el cual podrá moverse por toda la superficie, con el fin de salir por la apertura del lado superior derecho (rectángulo verde en la Fig. 4). El dron posee 4 sensores de proximidad con un alcance de 1 metro de distancia, estos se encuentran en los 4 puntos cardinales "Norte", "Sur", "Este" y "Oeste", por lo tanto si existe algún tipo de objeto, ya sea muro o pillar, que se encuentre frente alguno de estos sensores, se puede apreciar un cambio de estado. Con esto, para el escenario sin obstáculos existen 400 estados posibles (10x10x4). Para el escenario con obstáculos existe 356 estados posibles, ya que 11 estados son ocupados por los pilares (10x(10-11)x4).

Para un mejor desempeño de la simulación, fueron impuestos algunos limitantes a los escenarios propuestos:

- La altitud máxima de la unidad aérea no puede ser mayor a 2.50 metros, por lo tanto, si el dron se encuentra a esa altitud, y se le solicita subir, éste no efectuará la acción.
- La altitud mínima de la unidad aérea no puede ser menor a 0.50 metros, por lo tanto, si el dron se encuentra a esa altura, y se le solicita bajar, éste no efectuará la acción.
- Si al dron se le solicita una acción que implique moverse en una dirección, y existe un objeto o muralla que obstruya el paso del UAV, el sensor en esa dirección se activará, lo cual implica que no se efectuará el movimiento del dron.

Con el fin de evaluar el enfoque, fueron propuestos 4 experimentos que se aplicaron en cada uno de los escenarios. Los experimentos tienen las siguientes características:

- 20 agentes RL entrenados autónomamente.
- 20 agentes IRL, los cuales tendrán una probabilidad de consejo de policy-shaping del 15%, donde el entrenador es uno de los agentes entrenados autónomamente en el experimento anterior.
- 20 agentes IRL, los cuales tendrán una probabilidad de consejo de reward-shaping del 15%, donde el entrenador es el mismo agente autónomo que en el experimento anterior.
- 20 agentes IRL, los cuales tendrán una probabilidad de consejo de policy-shaping y reward-shaping del 15%, donde el entrenador es el mismo agente autónomo que en el experimento anterior.
- Cada agente es entrenado durante 20 episodios usando el algoritmo Q-learning

## Resultados

En la Fig. 5 se pueden apreciar la recompensa promedio por episodio de los agentes RL, para el escenario sin obstáculos. Se observa que los agentes con una curva de aprendizaje más lenta fueron los agentes autónomos (línea azul). La recompensa promedio de los agentes entrenados con la técnica de policy-shaping (línea naranja) es levemente superior a los agentes autónomos. Sin embargo, la curva permanece constante después del episodio 12 y toma valores similares a los agentes autónomos. Los agentes con las técnicas policy-shaping y reward-shaping simultáneamente (línea roja), obtuvieron una recompensa menor que los agentes mencionados anteriormente, pero superior a los agentes con la técnica reward-shaping, sin embargo, después del episodio 10 permanecen constantes. La mayor recompensa promedio total es alcanzada por los agentes entrenados usando la técnica policy-shaping, esto acorde con lo observado en la Fig. 5.

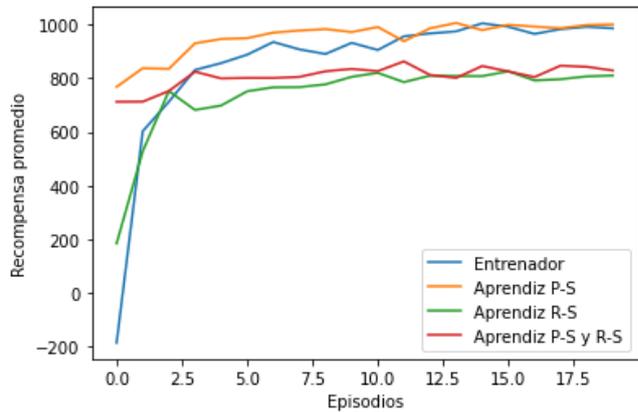


Figura 5

Gráfico de recompensas promedio de los 20 agentes en el escenario sin obstáculos.

Con respecto al escenario con obstáculos (Fig. 6), se observa que los agentes con la técnica policy-shaping obtuvieron una recompensa mayor que los agentes autónomos en los primeros episodios, pero después del episodio 11 alcanzaron valores de recompensa similares. Los agentes entrenados con las técnicas policy-shaping y reward-shaping simultáneamente presentan un comportamiento ligeramente constante, teniendo un comportamiento similar a los agentes entrenados con reward-shaping después de los 5 episodios. Para finalizar, los agentes con policy-shaping tuvieron una recompensa mayor en todos los episodios, sin embargo, los agentes autónomos tienen un comportamiento similar a estos después del episodio 8. La mayor recompensa promedio total es alcanzada nuevamente por los agentes con la técnica policy-shaping, esto acorde con lo observado en la Fig. 6.

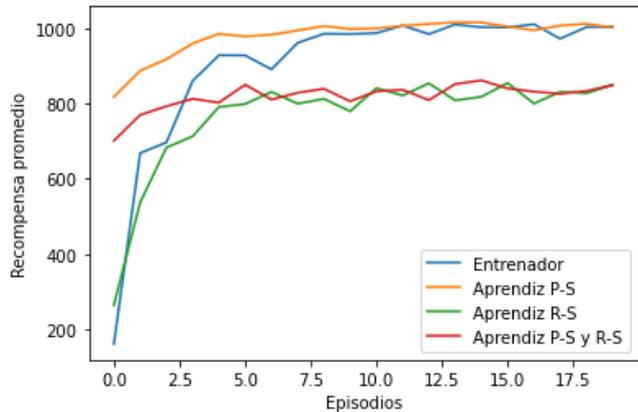


Figura 5

Gráfico de recompensas promedio de los 20 agentes en el escenario con obstáculos.

En general, los agentes entrenados con la técnica reward-shaping son los que tienen menores valores, esto es debido a que su función de recompensa es distinta a los agentes autónomos y los implementados con policy-shaping. Uno de los cambios más significativos es cuando el agente llega al objetivo final, otorgando una recompensa de 800, en comparación con la otorgada a los otros agentes que tiene un valor de 1000. Esta diferencia influye de forma negativa en el comportamiento de las curvas de aprendizaje de los agentes de reward-shaping.

## Conclusiones

En este documento se presentó un enfoque de IRL para enseñar agentes de aprendizaje por refuerzo usando los métodos de reward-shaping y policy-shaping. El enfoque propuesto fue implementado en el control de un UAV en un ambiente simulado. Fue evaluada la influencia de los métodos reward-shaping y policy-shaping individual y simultáneamente en el desempeño del agente durante el entrenamiento, también se compararon los tiempos de ejecución de cada experimento.

En términos de recompensa promedio, en el experimento sin obstáculos el agente con policy-shaping obtiene valores altos durante todos los episodios, aunque después del episodio 11 aproximadamente, el agente autónomo obtiene valores similares. Por otro lado, el agente con reward-shaping y policy-shaping simultáneamente obtiene valores de recompensa más altos que el agente autónomo en los primeros episodios, pero no mantiene una tendencia creciente como el autónomo. Respecto al experimento con obstáculos, se observa un comportamiento similar al experimento anterior. En este experimento hay una diferencia notable entre la recompensa promedio de los agentes autónomos y con policy-shaping, con los agentes reward-shaping, y reward-shaping y policy-shaping simultáneamente. Las curvas de recompensa promedio de agentes con policy-shaping tienen una tendencia a subir en los primeros episodios, y aquellas con reward-shaping se mantienen constantes en los episodios finales. Este comportamiento sugiere que un consejo basado en reward-shaping no beneficia al aprendizaje en los primeros episodios, aunque ayuda a mantener un buen desempeño en los episodios finales. Por el contrario, un consejo basado en policy-shaping beneficia el aprendizaje en los primeros episodios.

Para los dos escenarios, los agentes con policy-shaping obtuvieron en promedio una recompensa mayor. Dado que policy-shaping aporta información sobre las acciones y no sobre su desempeño, la dispersión para estos agentes será mejor bajo este método, pero el método reward-shaping puede ayudar a mantener una baja dispersión en los últimos episodios.

## Referencias

[1] W Bradley Knox and Peter Stone. 2009. Interactively shaping agents via human reinforcement: The TAMER framework. In Proceedings of the fifth international conference on Knowledge capture. Association for Computing Machinery New York NY United States, Redondo Beach California USA, 9-16.

[2] Adam Bignold, Francisco Cruz, Richard Dazeley, Peter Vamplew, and Cameron Foale. Persistent rule-based interactive reinforcement learning. *Neural Computing and Applications* (2021): 1-18.

[3] Andrea L. Thomaz and Cynthia Breazeal. 2007. Asymmetric Interpretations of Positive and Negative Human Feedback for a Social Learning Agent. In *RO-MAN 2007 - The 16th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*. IEEE, Jeju, South Korea, 720-725.

[4] Andrea L. Thomaz, Guy Hoffman, and Cynthia Breazeal. 2006. Reinforcement Learning with Human Teachers: Understanding How People Want to Teach Robots. In *ROMAN 2006 - The 15th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*. IEEE, Hatfield, UK, 352-357.

[5] Adam Bignold, Francisco Cruz, Matthew E Taylor, Tim Brys, Richard Dazeley, Peter Vamplew, and Cameron Foale. 2021. A conceptual framework for externally-influenced agents: An assisted reinforcement learning review. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* - (2021), 1-24.

[6] Shane Griffith, Kaushik Subramanian, Jonathan Scholz, Charles L Isbell, and Andrea L Thomaz. 2013. Policy shaping: Integrating human feedback with reinforcement learning. *Advances in neural information processing systems* 26 (2013).

[7] Adam Bignold, Francisco Cruz, Richard Dazeley, Peter Vamplew, and Cameron Foale. An evaluation methodology for interactive reinforcement learning with simulated users. *Biomimetics* 6, no. 1 (2021).

[8] Adam Bignold, Francisco Cruz, Richard Dazeley, Peter Vamplew, and Cameron Foale. 2022. Human engagement providing evaluative and informative advice for interactive reinforcement learning. *Neural Computing and Applications* (2022), 1-16.

[9] Cristian C Millán-Arias, Bruno JT Fernandes, Francisco Cruz, Richard Dazeley, and Sérgio Fernandes. 2021. A robust approach for continuous interactive actor-critic algorithms. *IEEE Access* 9 (2021), 104242-104260.

[10] Ruben Contreras, Angel Ayala, and Francisco Cruz. 2020. Unmanned aerial vehicle control through domain-based automatic speech recognition. *Computers* 9, 3 (2020), 75.

[11] Eric Rohmer, Surya PN Singh, and Marc Freese. 2013. V-REP: A versatile and scalable robot simulation framework. In Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems IROS. IEEE, Tokyo, Japan, 1321-1326.



Universidad  
Central

PROGRAMA  
**ADVANCE**  
ADMISIÓN 2024

ESTRENA TU TEMPORADA CON UNA  
**NUEVA CARRERA**

**INGENIERÍA EN  
ADMINISTRACIÓN  
DE EMPRESAS**

MODALIDAD

**Online**

# DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS EN SISTEMAS ESTOCÁSTICOS USANDO LA VARIANZA DE LA TRANSFORMADA WAVELET CONTINUA



↙ *Gustavo E. Ceballos Benavides*

*Magíster en Ciencias de la Ingeniería mención Eléctrica, Universidad de Chile*

↘ *Manuel A. Duarte Mermoud*

*Doctor en Ingeniería Eléctrica*

Se presenta un novedoso método para detectar fallas en un proceso dinámico, basado en la Transformada Wavelet Continua (TWC), sin necesidad de contar con un modelo explícito de la planta. El método desarrollado es más robusto en la detección de variaciones pequeñas en las señales producidas por alguna condición de falla, en comparación con otros métodos que utilizan la Transformada Wavelet para extracción de características de una señal.

El método de detección e identificación de fallas (DIF) presentado se aplica al modelo de una planta de molienda y flotación (sistema multivariable, MIMO), el cual presenta importantes comportamientos no lineales, obteniéndose buenos resultados. Una limitación del método propuesto es que las señales de salida del sistema deben cumplir, a lo menos, la condición de ser estacionarias en sentido amplio, de lo contrario no se puede garantizar que los vectores de características patrón o plantillas, sean representativos de cada condición de operación. El método desarrollado para llevar a cabo el proceso de detección de fallas en la planta, se basa en la generación de un vector de características patrón, usando el promedio en el desplazamiento (o tiempo) de las varianzas de las TWC de varias realizaciones de las distintas señales de salida, para cada condición de operación de la planta, para luego compararlas con las varianzas de la TWC de las señales de prueba que entrega el sistema y, de esta manera, decidir bajo qué condiciones de operación está funcionando la planta. Esta decisión, se puede realizar usando cualquier método de clasificación tales como análisis discriminante lineal de Fisher (LDA), vecinos más cercanos (k-NN) o máquinas de soporte vectorial (SVM) por nombrar algunos.

## Introducción

La automatización de procesos industriales ha experimentado un desarrollo notable en las últimas décadas, permitiendo disponer actualmente de poderosos sistemas computacionales con capacidad para manipular múltiples sensores, actuadores y elementos de control digital que ejecutan sofisticados algoritmos de control, tales como control autosintonizante o adaptable, control difuso, control predictivo y control optimizante, entre otros. Como consecuencia de estos avances, la operación de los procesos automatizados se ha transformado en una tarea de gran envergadura que requiere de operadores muy bien entrenados, sistemas de apoyo que informen de manera automática anomalías que se presenten, por ejemplo fallas en sensores, actuadores, equipos o elementos de control, así como también sobre perturbaciones (externas e internas) que alteren las condiciones de operación del proceso.

El análisis de las diferentes publicaciones referentes a detección de fallas, muestra que en los últimos 30 años se ha consolidado un área de investigación fundamentada principalmente en el uso de métodos cuantitativos y cualitativos, para la Detección e Identificación de Fallas (DIF) en sistemas dinámicos. Entre éstos métodos, se encuentran ecuaciones de paridad, observadores de Luenberger, filtros de Kalman métodos de decisión estadística, estimación de parámetros, redes neuronales, etc., los cuales se aplican en las dos principales tareas asociadas a la identificación de fallas; generación de residuos y su evaluación. La mayoría de los métodos empleados para la generación de residuos se basa en la utilización de modelos matemáticos del proceso o sistema dinámico.

El aporte más significativo de esta investigación es la creación de un vector de características patrón (o plantilla), utilizando la varianza de la Transformada Wavelet Continua (TWC) de la salida

de la planta, que da cuenta del funcionamiento de la misma, basándose exclusivamente en la información temporal y espectral simultánea, de las señales de salida de la planta, prescindiendo de cualquier otra información adicional del sistema bajo estudio, demostrando que si la o las salidas de dicho proceso pueden ser consideradas como estacionarias en sentido amplio durante un intervalo de tiempo finito, entonces la varianza de su transformada wavelet depende solo del factor de escala "a" y no de su desplazamiento "b". Además, una vez construido el vector de características patrón, se deja a criterio del usuario, la técnica de identificación y clasificación de fallas que estime convenientes.

Entre las técnicas que se pueden escoger, están aquellas ampliamente aplicadas en el campo de la inteligencia artificial, como son las técnicas usadas en el reconocimiento de patrones tales como LDA (Linear Discriminant Analysis), QDA (Quadratic Discriminant Analysis), máquinas de soporte vectorial SVM (Support Vector Machines), entre otras.

También, se demuestra en Ref. [5] que el promedio del cuadrado de la transformada wavelet con respecto al desplazamiento "b", denotado como b-promedio, es un estimador insesgado de la varianza de la TWC, con lo cual, se hace relativamente sencillo la construcción del vector de características, ya que se puede prescindir del conocimiento de las probabilidades a priori de las señales de salida, las cuales son por lo general, muy difíciles de estimar y simplemente, se lleva a cabo una promediación en el dominio de las escalas de las señales de salida.

Del análisis de los métodos que utilizan el análisis wavelet para la extracción de características de las señales de una planta, se pudo observar que no existe un método sistemático para la extracción de características de un sistema general y cada forma de uso de la Transformada Wavelet (TW) se aplica de modo distinto a cada problema particular. Más aún, la mayor parte de la literatura se refiere al uso de la Transformada Wavelet Discreta (TWD) y muy pocas menciones a la TWC.

En la mayoría de los casos, se aplica un banco de filtros (filtros pasabajo y pasalto) denominado análisis multiresolutivo (MRA en inglés) haciendo uso de la TWD de las señales de una planta, ya sea tanto para reducir el número de muestras y de ese modo, conseguir una reducción de la dimensión temporal de la señal o bien, para identificar el instante de una posible anomalía del sistema. Sin embargo, esto, además de reducir la información temporal de la señal, conlleva una pérdida de información espectral importante puesto que la TWD, no considera todo el espectro ya que solo tiene en cuenta escalas que sean múltiplos de  $2^j$  con  $j \in \mathbb{Z}$  y no escalas intermedias.

En resumen, una gran cantidad de estudios se han llevado a cabo en diferentes áreas para la detección e identificación de fallas usando análisis espectral de Fourier y wavelets, sin embargo, la mayor parte de estos estudios se basan casi exclusivamente, en el análisis multiresolutivo de la TWD de las señales y se ha descartado casi por completo, el uso de la TWC. Más aún, no hay un método sistemático para aislar y clasificar diferentes tipos de fallas simultáneas. En cambio, el uso de la TWD se aplica caso a caso y se deben realizar muchas simulaciones para determinar el tipo más apropiado de wavelet a utilizar junto a su nivel de descomposición, lo cual requiere un gran esfuerzo y tiempo.

Por el contrario, el uso de la TWC, aprovechando la gran cantidad de información que esta genera de la señal, tanto a nivel espectral como temporal, se desarrolla un método sistemático para abordar el problema de DIF, por medio de la construcción de un vector de características patrón o plantilla de cada señal para diferentes condiciones de operación sin importar del tipo y orden de la planta o sistema que se esté analizando.

## 2. Conceptos Generales sobre la Transformada Wavelet

A continuación, veremos algunas de las propiedades de la TWC y la elección del tipo de función wavelet analizante.

### 2. 1.1. La Transformada Wavelet Continua

Se define la transformada wavelet continua [3] (TWC o bien, CWT del inglés: Continuous Wavelet Transform) de una señal del tiempo  $y(t)$  como:

$$C_y(a, b) = \langle y, \psi_{a,b} \rangle = \frac{1}{|a|^{1/2}} \int_{-\infty}^{+\infty} y(t) \psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt$$

$$\text{con } a \in \mathbb{R}^+ - \{0\} \text{ y } b \in \mathbb{R}, \quad (2.1)$$

en que  $\psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right)$  es el complejo conjugado de la función  $\psi \left( \frac{t-b}{a} \right)$  donde  $\psi(\cdot)$  corresponde a la función wavelet analizante o simplemente wavelet. En nuestro estudio, la wavelet a utilizar será una función real. El factor "a" se denomina comúnmente como factor de escala y "b" es el factor de desplazamiento.  $\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{|a|^{1/2}} \psi \left( \frac{t-b}{a} \right)$  corresponde a la wavelet analizante o wavelet madre normalizada y  $C_y(a,b)$  en Eq. (2.1) son los coeficientes de la TWC de  $y(t)$ .

Observando la integral (2.1), se puede decir que dado un "a" fijo, la TWC corresponde a la correlación cruzada entre  $y(t)$  y  $\psi_a(t)$ . Se sabe además, que si un proceso estocástico es estacionario, la correlación entre dos señales reales  $x(t)$  y  $y(t)$ , denotada por  $R_{x,y}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)y(t+\tau)dt$ , es equivalente a la convolución estándar entre  $x(t)$  y la inversión temporal de  $y(t)$ , es decir;  $R_{x,y} = x(t) * y(-t)$ , en que  $x(t) * y(-t)$ , define la convolución entre  $x(t)$  e  $y(-t)$ . Por lo tanto, la TWC de una señal  $y(t)$ , se puede interpretar como un filtrado lineal pasabanda de dicha señal, es decir

$$C_y(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} y(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi \left( \frac{t-b}{a} \right) dt = y * \bar{\psi}_a(t),$$

en que  $\bar{\psi}_a(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi \left( \frac{-t}{a} \right)$  es la wavelet analizante.

La Transformada de Fourier (TF) de la función  $\bar{\psi}_a(\omega)$ , tiene la siguiente expresión:

$$\bar{\psi}_a(\omega) = \sqrt{a} \cdot \psi(a\omega) \quad , \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} \bar{\psi}_a(\omega) &= F\{\bar{\psi}_a(t)\} = F\left\{\frac{1}{\sqrt{a}} \psi \left( \frac{-t}{a} \right)\right\} = \frac{a}{\sqrt{a}} \psi(a\omega) \\ &= \sqrt{a} \cdot \psi(a\omega) \end{aligned}$$

En este estudio, usaremos como wavelet analizante, la Wavelet Haar (conocida comúnmente como "db1") [7, 14] puesto que es más sencilla de tratar matemáticamente, indicando que no existe un método definido para la elección de la función wavelet. Además, la Wavelet Haar tiene propiedades comunes a la mayoría de las wavelets como soporte finito y ser ortogonal.

En el caso de las wavelets ortogonales, como la Wavelet Haar, estas poseen dos funciones que las caracterizan completamente, a saber, las wavelets madres y wavelets padres [3]. Las wavelets madres tienen integral nula sobre todo el espacio y las wavelet padres tienen integral igual a 1 en todo el espacio. Además, ambas wavelets tienen integral cuadrática igual a 1, es decir:

wavelet padre o función de escala:  $\phi(t)$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \phi(t) dt = 1 \quad \text{y} \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \phi(t)^2 dt = 1 \quad (2.3)$$

wavelet madre o simplemente wavelet:  $\psi(t)$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0 \quad \text{y} \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t)^2 dt = 1 \quad (2.4)$$

El conjunto de funciones constituido por traslaciones y escalamiento s de las funciones mencionadas forman una base en el espacio de las funciones de cuadrado integrable denotado por  $L^2$ . En el caso de las wavelets no-ortogonales, como la Wavelet Morlet, estas poseen solo una función que las caracteriza, a saber, la wavelet madre o simplemente wavelet.

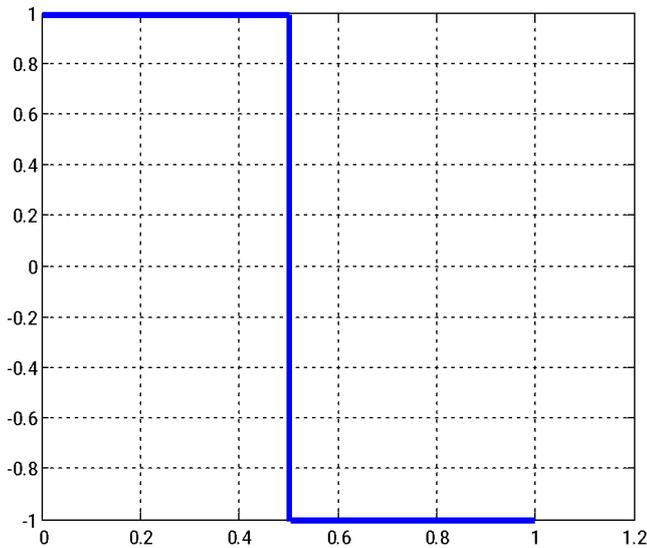
Una crítica que generalmente se hace al análisis wavelet es la elección arbitraria de la función wavelet :  $\psi(t)$ . Debería notarse que la misma elección arbitraria se realiza cuando se elige una de las transformadas más tradicionales tales como la transformada de Fourier, Bessel, Legendre, etc. No obstante, existen diversos factores que deben ser considerados para elegir una función wavelet adecuada, dependiendo del problema que se desea enfrentar.

Un factor a considerar es saber si la wavelet debe ser compleja o real. Una función wavelet compleja retornará información acerca de la amplitud y fase respectivamente, y por tanto está mejor adaptada para capturar algún comportamiento oscilatorio y retardo de la señal  $x(t)$ , pero no existen algoritmos rápidos para su cálculo, por tanto no es del todo adecuada para análisis y diagnóstico de fallas en tiempo real. Más aún, su reconstrucción no está garantizada. Por otro lado, una función wavelet real, retorna sólo una componente (real) y por tanto puede ser usada para aislar peaks o discontinuidades [4], lo cual es adecuado para los fines de determinar algún comportamiento anómalo o de falla en un sistema, y además, su cálculo es más rápido que el de una wavelet compleja.

Finalmente, la función wavelet que se usará en este estudio la Wavelet Haar o Dabuchies 1 (ver Figura 2) [5] definida como

$$\psi(t) = \begin{cases} 1 & \text{si } 0 < t < 1/2 \\ -1 & \text{si } 1/2 < t < 1 \end{cases} \quad (2.5)$$

Para llevar a cabo el cálculo de la transformada wavelet continua, Matlab dispone de la función "CWT" la cual será nuestra principal herramienta de análisis. En la Figura 1 se muestra la función wavelet Haar, que será usada en el análisis.



**Figura 1**  
Función Wavelet Haar

### 2.2. Técnicas de Extracción de Características

El objetivo principal de las técnicas de extracción de características es reducir la dimensión de los datos para simplificar el análisis. Estas técnicas se basan usualmente en transformar los datos del espacio original a uno nuevo (espacio transformado) de menor dimensión. En el caso de transformaciones lineales, se utiliza una matriz de transformación  $W$  tal que:

$$y = W \cdot x \quad (2.6)$$

donde  $x$  es el vector original de características de dimensión  $n$ ,  $W$  es la matriz de transformación de  $p \times n$  e  $y$  representa el nuevo vector de características transformado de dimensión  $p < n$ . Hay diversas técnicas de reducción de la dimensión del vector

de características como por ejemplo PCA (Principal Components Analysis) o DWT (Discrete Wavelet Transform), por nombrar solo algunas.

Sin embargo, una pregunta fundamental debiera ser; ¿qué características son las adecuadas a escoger de una señal, para formar el vector de características? Esta pregunta debiera ser hecha antes de pensar en las técnicas de reducción de la dimensión del vector de características. La verdad es que existen múltiples respuestas, sin embargo, en este trabajo consideraremos una característica muy particular que presenta la DWT de una señal del tiempo, al menos para la Wavelet Haar, que es la varianza de los coeficientes de la transformada wavelet continua, que tiene una particularidad importante para generar el vector de características y es que su varianza solo depende del factor de escala  $a$  y no de su desplazamiento  $b$ , si se considera que la señal a procesar es estacionaria en sentido amplio.

### 2.3. Técnicas de Clasificación de Patrones

El concepto de clasificación de patrones o reconocimiento de patrones, cubre una amplia gama de problemas de las más diversas disciplinas científicas, en particular, en el área de la ingeniería y sus aplicaciones. Actualmente, las técnicas de clasificación de patrones muestran un fuerte desarrollo motivado por los nuevos avances en robótica e inteligencia artificial. En particular, una de las aplicaciones más relevantes de la clasificación de patrones corresponde a las áreas de visión artificial [26], reconocimiento de caracteres [27], diagnóstico médico computarizado [28] y reconocimiento del habla [29].

Desde el punto de vista matemático, un patrón es un vector  $n$ -dimensional cuyas características de un fenómeno son almacenadas en sus componentes. Generalmente, este vector es obtenido con los datos entregados por un sensor. Así entonces, el diseño de un sistema de clasificación de patrones consiste por lo general de tres etapas, a saber: la Adquisición de datos, el Preprocesamiento y representación adecuada de los datos y la Clasificación de los datos.

La primera etapa se lleva a cabo mediante un sensor o conjunto de sensores, mientras que el objetivo principal de la segunda etapa es eliminar el ruido y permitir que los datos sean adecuados para realizar, por último la tercera etapa, donde se debe escoger un método apropiado para clasificar los datos y asociarlos a una clase bien definida dentro de un grupo de distintas clases.

Existen muchos métodos de clasificación en la literatura científica, como son por ejemplo; Análisis Lineal Discriminante de Fisher (LDA) [30], Redes Neuronales (NN) [31, 32], vecinos más cercano (K-NNs) [33], Funciones de Base Radial como son las Máquinas de Soporte Vectorial (SVM) [34] por nombrar algunas, los cuales han sido ampliamente usados en problemas prácticos.

### 3. Metodología de Análisis en la Detección e Identificación de Fallas

El enfoque que utilizaremos en este estudio se basa principalmente en extraer características de una señal del tiempo  $y(t)$  (salida de un sistema dinámico, por ejemplo) a través de su transformada wavelet. Puesto que, aunque tradicionalmente la transformada de Fourier ha sido utilizada para análisis en frecuencia, la transformada wavelet da un marco más flexible en el cual es posible realizar un análisis tanto en el dominio del tiempo como de la escala (equivalente a la frecuencia en la transformada de Fourier). Para ello usaremos la función Wavelet Haar.

El método consiste entonces, en extraer características basadas en la transformada wavelet continua, puesto que en la literatura técnica el uso de la transformada wavelet para extraer características se basa casi exclusivamente en la transformada wavelet discreta de la señal [16, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 25], combinada con análisis multiresolutivo [3], para disminuir la dimensión del vector de características o consideran la energía de la señal y suma de los coeficientes wavelet [16]. En el caso de la transformada wavelet continua, la extracción de características, se basa casi exclusivamente en comparar las diferencias de ángulos de desfases

de las wavelets para las diversas señales lo cual es útil si es que la señal a analizar presentara un retardo en caso que se produjese una falla.

Para este tipo de fallas, las cuales se presentan por lo general en sistemas de transmisión a grandes distancias de energía eléctrica, se debe utilizar además, una wavelet compleja para capturar dicho retardo por medio del desfase producido en la TWC lo cual es un análisis muy dependiente del problema específico, es decir, detección de fallas en sistemas de transmisión de señales a grandes distancias. Además, el tiempo de procesamiento crece dado que se debe computar tanto la magnitud como el ángulo de la TWC por ser la wavelet una función compleja [23].

En el caso de la wavelet discreta, se sugiere realizar la extracción de características considerando los puntos discretos de la transformación expresados en el dominio del tiempo, los cuales pueden ser muchos dependiendo del largo temporal de la señal bajo estudio, lo cual implica disponer de un vector de características de dimensión demasiado elevada.

En este estudio, se sugiere otro enfoque, el cual consiste en extraer las características de un mapa bi-dimensional en el espacio tiempo-escala, con lo cual se considera toda la información posible de la señal, para luego disminuir la dimensionalidad de la matriz de coeficientes considerando el hecho que la varianza de la transformada wavelet continua es independiente del desplazamiento  $b$  (o tiempo), y solo depende de la escala  $a$ , si se considera que el proceso bajo estudio es un proceso estocástico en sentido amplio.

Así, las fallas de un proceso continuo son representadas como desviaciones con respecto al vector de características considerado normal. Luego, la información del estado actual del proceso en cuestión es información suficiente para representar fallas actuales o presentes. Por lo tanto, es posible en principio, representar fallas en un determinado instante de tiempo, observando la distribución o gráfica de los coeficientes en función solo de la escala ( $a$ ) de la transformada wavelet en ese mismo instante.

Luego, lo esencial, es definir una distribución representativa de cada estado de operación (normal o falla). En este caso, se utilizará como vector de características de cada estado de operación ya sea normal o falla, al vector de los coeficientes de la varianza de la transformada wavelet continua, la cual se demuestra en Ref. [5] que es independiente del desplazamiento (o tiempo  $b$ ) para cada escala  $a$ .

Sin embargo, si el número de escalas es relativamente elevado para mantener la mayor cantidad de información posible de la señal, también se puede tener problemas a la hora de usar un clasificador lineal como es el caso del LDA de Fisher, ya que la matriz de covarianza de las muestras puede ser singular o cercana a singular, dado el problema de colinealidad o casi-colinealidad que se presenta cuando el vector de características tiene muchas dimensiones. Por tanto, la matriz de covarianza de los datos originales no admite inversa, que es lo que se necesita al usar estas técnicas de clasificación. Para evitar este inconveniente, se redujo la dimensión del vector de características original a solo 3 componentes usando la técnica de Análisis de Componentes Principales (Principal Components Analysis o PCA por sus siglas en inglés).

### 3.1. Criterios de Detección e Identificación de Fallas

A continuación, se indican los criterios que serán considerados en este estudio para la detección e identificación de fallas en un sistema dinámico y de tiempo continuo.

- Las fallas de un proceso continuo serán representadas como desviaciones con respecto al estado normal.
- Se propone, representar tanto las fallas en un instante determinado, como el estado normal de un proceso, por medio de un vector de características caracterizado por los coeficientes de la varianza de la transformada wavelet continua de las señales de salida de dicha planta.

- Cada condición de operación sobre un intervalo de tiempo, es caracterizada por el promedio sobre el desplazamiento de la varianza de la transformada wavelet. Esto es posible de hacer, ya que en Ref. [5, 6] se demuestra que la varianza de la transformada wavelet de la salida de un proceso estocástico estacionario no es función del desplazamiento  $b$ . Por lo tanto, se generarán vectores de características tanto para condiciones de operación Normal y Falla (falla de sensor y falla debido a variación paramétrica, por ejemplo), recolectando datos relevantes de operación de la planta.

En la referencia [25] se muestra en detalle la metodología propuesta para la identificación de fallas, la cual básicamente consta de la creación del Vector de Características para la Identificación de Fallas basado en el Valor Medio de la Varianza de la Transformada Wavelet.

Además, otro tema relevante para caracterizar las señales (Normal y Falla) es la determinación de la escala máxima ( $a_{max}$ ) a utilizar en el proceso de creación de los vectores característicos, de tal manera de no tener un retardo demasiado grande en el proceso de detección de una falla, ya que el retardo en la detección provocado por una perturbación o falla tipo escalón usando una escala  $a$ , es precisamente  $a$ . Más aún, al usar una ventana temporal de análisis de  $L$  unidades de tiempo, el efecto de un cambio (o falla) en la salida  $y(t)$ , desaparecerá de la TWC, transcurrido  $L$  unidades de tiempo después del instante en que se inicia la falla. Entonces, si se usa una escala máxima  $a_{max}$ , el retardo en la detección será de  $a$  lo menos  $a_{max}$  unidades de tiempo más el tiempo invertido en el cómputo de la TWC. Luego, escoger la escala máxima es un compromiso entre el retardo aceptado para la detección de una falla y la cantidad de información espectral que se desea obtener de la señal para su caracterización.

Es decir, mientras mayor sea  $a_{max}$ , mayor será la información espectral que se tendrá de la señal bajo estudio, pero mayor será el retardo en la detección. Es deseable entonces, conocer lo mejor posible, el rango espectral ( $a_{max}$ ) de los diferentes tipos de señales (Normal y Falla) para decidir el valor mínimo de  $a_{max}$  a escoger sin perder información relevante que caracteriza a cada tipo de señal.

Por otro lado, escoger escalas  $a_{max}$  grandes, eleva sustancialmente el tiempo de cómputo de la TWC, lo cual es perjudicial para una rápida detección de una falla. Entonces, la escala máxima a usar  $a_{max}$  se podría escoger en forma heurística, considerando el retardo máximo permitido en la detección de una falla y luego probar si esa escala máxima, es suficiente para llevar a cabo una buena clasificación del tipo de operación de un sistema o planta.

Esta decisión se puede realizar, observando el error cometido en la matriz de confusión y ver si esta presenta un buen porcentaje de clasificación correcta, en caso afirmativo, la escala máxima considerada es aceptada como tal, de lo contrario, se escoge una escala máxima de mayor valor.

En la Figura 2 se muestra en forma esquemática el sistema de identificación y clasificación de fallas. donde  $Z(a_z)$  es el Vector de Características.

### 4. Detección e Identificación de Fallas usando el Vector de Características aplicado a un modelo de Planta de Molienda y Flotación de Mineral

Se construyó un simulador del modelo de una planta que denominaremos Ad-Hoc [12] en ambiente SIMULINK de MATLAB, cuya Versión 1.0 del simulador está desarrollada en tiempo continuo el cual se describe en detalle en [12] Este simulador, se construyó principalmente para probar distintos métodos de identificación y detección de fallas, además de servir para explorar estrategias de control automático e identificación. En particular, aplicaremos el método de las plantillas o vector de características patrón anteriormente descrito a esta planta no lineal de múltiples entradas y salidas.

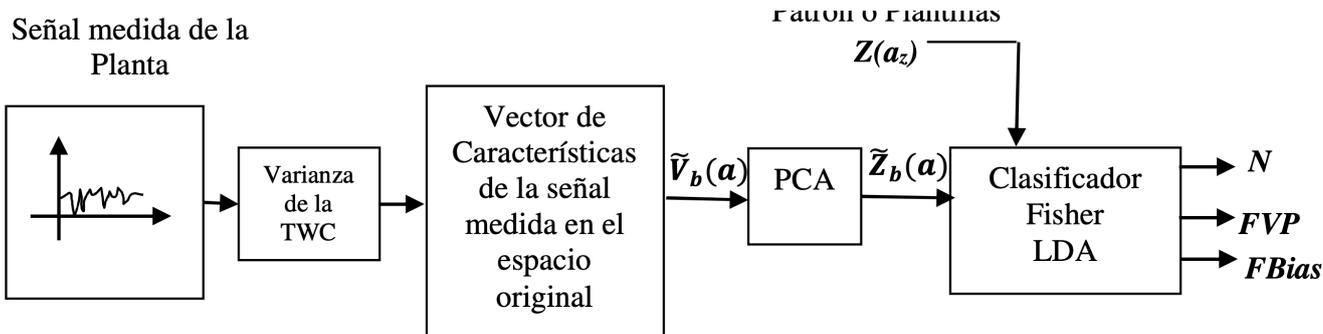


Figura 2

Sistema de identificación y clasificación de fallas en línea para una planta.

#### 4.1. Descripción de la Planta de Molienda y Flotación Ad-Hoc

Esta planta Ad-Hoc [12] consiste en una abstracción de las características más importantes de una planta de molienda y flotación, la cual se compone de un primer bloque denominado **molino**, un segundo bloque denominado **clasificador** y un tercer y último bloque denominado **flotación**. Básicamente, se trata de un conjunto de partículas que tienen diversos atributos (por ejemplo; tamaño del mineral, tasas de traspaso entre tamaños, tasas de selección, etc.) y las reglas que gobiernan tanto los traspasos entre masas como la selección de ellas. No es difícil, entonces, para una persona con formación en modelación de sistemas dinámicos comprender rápidamente los fundamentos de la molienda y la flotación, desde este punto de vista y como consecuencia, la modelación dinámica de los procesos correspondientes. Así, es posible interpretar el comportamiento de las variables del modelo y las relaciones que existen entre ellas, más claramente que en el caso de una planta totalmente abstracta como sería un modelo puramente matemático. Es así como aparecen en forma natural ciertas restricciones impuestas a los sistemas desarrollados para estas plantas, como consecuencia de que no se dispone de todas las mediciones que se desearían tener.

Finalmente, debemos decir que el modelo de la "Planta Ad-Hoc" es de la clase de modelos de ecuaciones de estado y de estado/salida, no lineales y variantes en el tiempo, sometida a perturbaciones estocásticas.

#### 4.2. Diagrama en Bloques de la Planta Ad-Hoc

El diagrama en bloques de la Figura 3, muestra en forma compacta, las entradas (lado izquierdo del diagrama), salidas (lado derecho) y perturbaciones (parte superior e inferior) de la Planta de Molienda y Flotación Ad-Hoc.

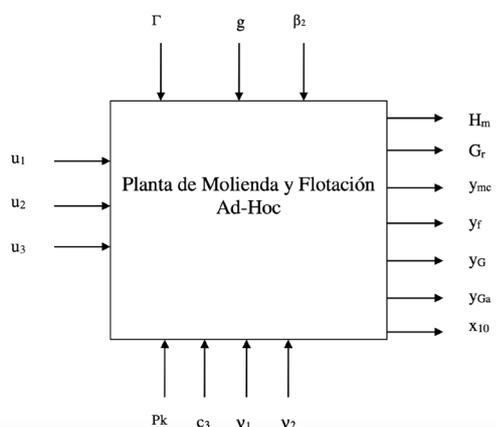


Figura 3

Esquema de Bloques de la Planta de Molienda y Flotación Ad-Hoc.

#### 4.3. Definición de Condiciones de Operación de la Planta de Molienda y Flotación Ad-Hoc

En la Tabla 1, se muestran, cuatro condiciones en las que se considera que la planta está operando en falla, más la condición de operación normal. A saber, se considera condición de funcionamiento de falla, si cualquiera de los parámetros  $g$ ,  $\varphi$ ,  $\beta_2$  o bien  $c_3$ , cambia de un valor considerado normal a uno de falla, donde  $g$ : es la granulometría de alimentación a molienda,  $\varphi$  es la Moliendabilidad del mineral,  $\beta_2$ : es la tasa de descarga de mineral de tamaño 2 en el molino y  $c_3$  es la tasa de rechazo de tamaño 3 en el clasificador.

Tabla 1: Parámetros de la planta Ad-Hoc para diversas condiciones de operación

Condición	Parámetros			
	$g$	$\Gamma$	$\beta_2$	$c_3$
Normal	[0.40.40.10]	N (1,0.1)	0,2	0,1
Falla	[0.80.40.10]	N (0.8,0.1)	>0.3	>0.15

De la Tabla 1, se ve por ejemplo, que la granulometría de alimentación a molienda "g" cambia de fina (condición de funcionamiento normal:  $g=[0,4 \ 0,4 \ 0,1 \ 0]$ ) a muy gruesa (condición de funcionamiento de falla:  $g=[0,8 \ 0,4 \ 0,1 \ 0]$ ).

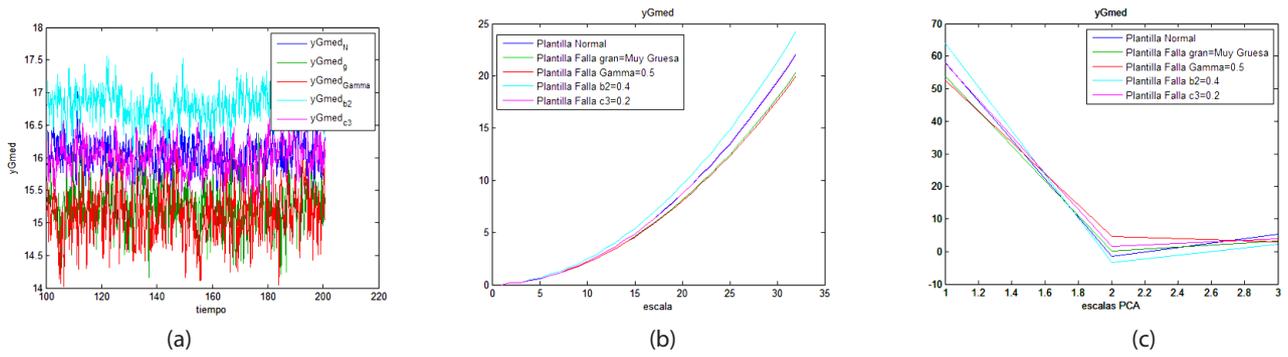
#### 4.4. Señales Capturadas bajo diversas Condiciones de Operación de la Planta de Molienda y Flotación Ad-Hoc y sus respectivas Plantillas con Control Regulatorio (PI) de la Masa de Mineral Retenida en el Molino $H_m$

En las Figuras 4.1 a 4.5, se muestra una porción de las señales de la planta Ad-Hoc medidas durante 440 segundos. Las fallas se producen a partir de los 220 segundos y las figuras muestran la evolución desde el segundo 340 al 440 (últimos 100 segundos de la falla) de tal manera que se muestra sólo la porción de régimen permanente y no las oscilaciones producto del transiente inicial para diferentes condiciones de operación previamente definidas en la Tabla 1. Además, la planta se encuentra bajo condiciones de control regulatorio PI de la masa de mineral retenida en el molino  $H_m$ .

También, en las Figuras 4.1(b) y (c) a 4.5(a) y (c), se muestran respectivamente las plantillas en el espacio original (32 escalas) confeccionadas con solo 150 muestras (Figuras 4.1(b) a 4.5(b)) y las plantillas reducidas (solo 3 escalas) en el espacio transformado de las PCA (Figuras 4.1(c) a 4.5(c)).

Nuevamente, la elección de las escalas y escala máxima  $a_{max}$  queda a criterio del usuario, teniendo en consideración el retardo en la detección de una falla y el error de clasificación que se desee aceptar. En este caso, se escogieron 32 escalas con escala máxima  $a_{max}=32$  ya que fue suficiente para los efectos de detectar e identificar el tipo de falla presente en esta planta no lineal.

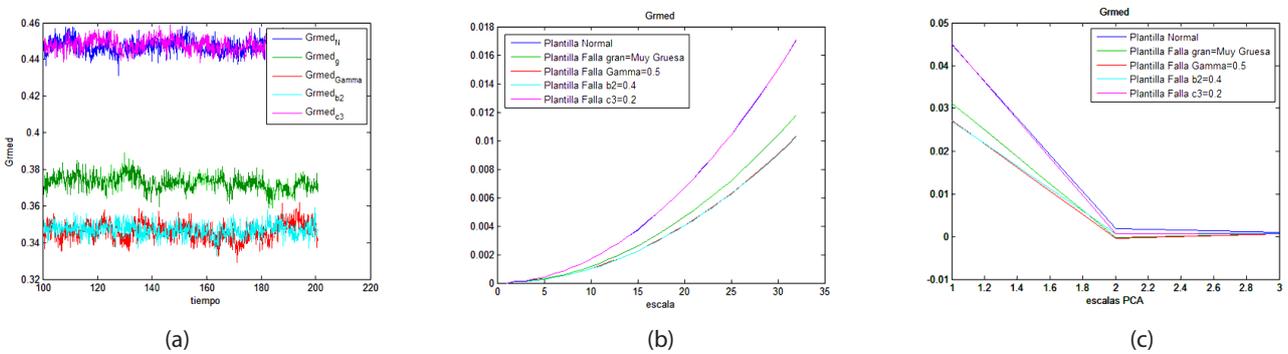
### Señal Analizada ( $y_{Gmed}$ ): Ley de concentrado de Cu



**Figura 4.1**

(a) Señal  $y_{Gmed}$  para diversas condiciones de operación, (b) Plantillas en el espacio original; (N) condición normal, (g) falla por aumento en la granulometría de entrada, ( $\varphi$ ) falla debido a una disminución de  $\varphi$ , ( $\beta_2$ ) falla por aumento de  $\beta_2$ , (c3) falla por aumento de  $c_3$  y (c) Plantillas en el espacio transformado de las PCA.

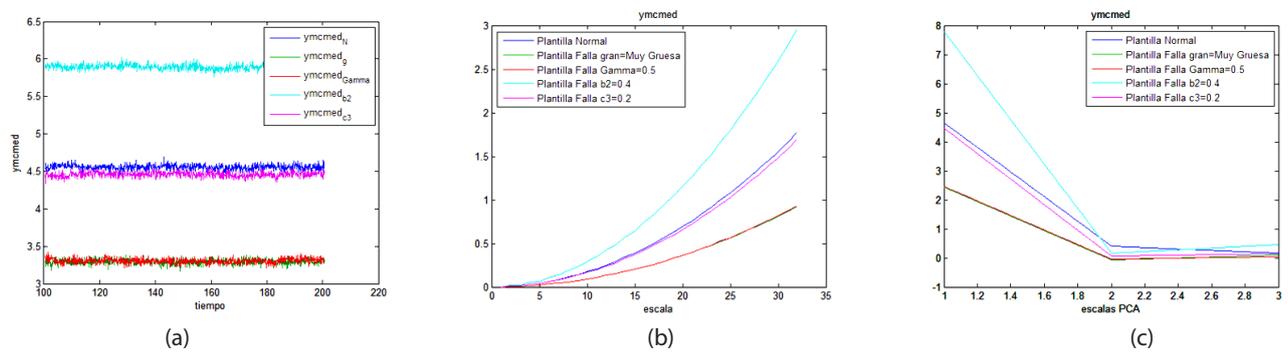
### Señal Analizada ( $G_{rmed}$ ): Granulometría de alimentación a flotación



**Figura 4.2**

(a) Señal  $G_{rmed}$  para diversas condiciones de operación, (b) Plantillas en el espacio original; (N) condición normal, (g) falla por aumento en la granulometría de entrada, ( $\Gamma$ ) falla debido a una disminución de  $\Gamma$ , ( $\beta_2$ ) falla por aumento de  $\beta_2$ , (c3) falla por aumento de  $c_3$  y (c) Plantillas en el espacio transformado de las PCA.

### Señal Analizada ( $y_{mcmcd}$ ): Flujo de mineral de salida del clasificador



**Figura 4.3**

(a) Señal  $y_{mcmcd}$  para diversas condiciones de operación, (b) Plantillas en el espacio original; (N) condición normal, (g) falla por aumento en la granulometría de entrada, ( $\Gamma$ ) falla debido a una disminución de  $\Gamma$ , ( $\beta_2$ ) falla por aumento de  $\beta_2$ , (c3) falla por aumento de  $c_3$  y (c) Plantillas en el espacio transformado de las PCA.

### Señal Analizada ( $y_{fmed}$ ): Flujo de mineral de entrada a flotación

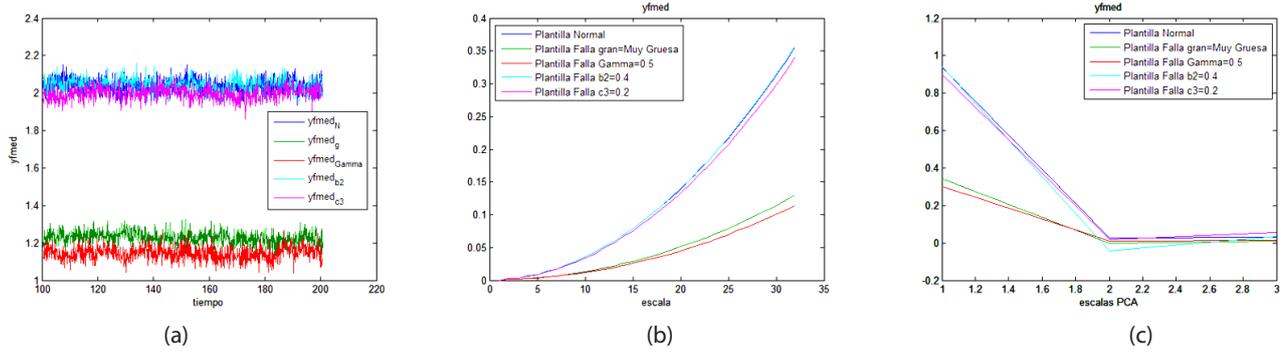


Figura 4.4

(a) Señal  $y_{fmed}$  para diversas condiciones de operación, (b) Plantillas en el espacio original; (N) condición normal, (g) falla por aumento en la granulometría de entrada, ( $\Gamma$ ) falla debido a una disminución de  $\Gamma$ , ( $\beta_2$ ) falla por aumento de  $\beta_2$ , ( $c_3$ ) falla por aumento de  $c_3$  y (c) Plantillas en el espacio transformado de las PCA.

### Señal Analizada ( $u_{1med}$ ): Flujo de alimentación de sólidos a molienda

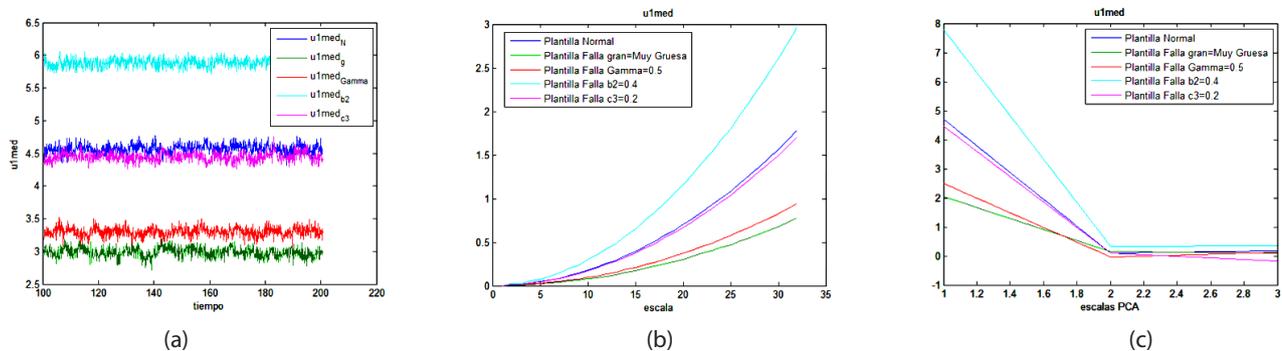


Figura 4.5

(a) Señal  $u_{1med}$  para diversas condiciones de operación, (b) Plantillas en el espacio original; (N) condición normal, (g) falla por aumento en la granulometría de entrada, ( $\Gamma$ ) falla debido a una disminución de  $\Gamma$ , ( $\beta_2$ ) falla por aumento de  $\beta_2$ , ( $c_3$ ) falla por aumento de  $c_3$  y (c) Plantillas en el espacio transformado de las PCA.

Ahora bien, con las plantillas ya determinadas en la fase de simulación anterior, es posible comenzar a generar fallas, a partir de una condición de funcionamiento normal, para determinar cuál de las señales anteriormente medidas y caracterizadas a través de sus plantillas, es la más adecuada para identificar el tipo de falla presente en la planta. Para ello, es de gran utilidad, estudiar las **matrices de confusión** producidas en la clasificación, para varias realizaciones de un mismo tipo de falla y así averiguar la señal óptima que se debe medir para capturar dicho comportamiento anómalo o de falla.

Demás está decir, lo complejo que es determinar en este ejemplo, cada condición de operación ya que de las figuras, se ve que algunas plantillas, son muy similares a otras, dada la pequeña variación en los parámetros que se utilizó, para producir una falla de la planta. Es evidente que al considerar variaciones más significativas en los parámetros, el proceso de clasificación de fallas mejoraría sustancialmente, ya que las plantillas estarían más separadas unas de otras.

#### 4.4.1. Matrices de confusión confeccionadas para 150 señales de prueba obtenidas de la planta Ad-Hoc considerando las diversas condiciones de operación (Normal y Fallas)

A continuación, en las Tablas 2 a 7 se muestran las matrices de confusión para las 5 señales consideradas en la identificación de fallas, incluida la condición de operación normal. El largo de las señales consideradas para la confección de las plantillas y las señales de prueba fue de 92.6 segundos, equivalentes a 926 muestras, considerando un periodo de muestreo de  $T_s=0.1$  segundos. Para la confección de las matrices de confusión, se analizaron 50 señales de prueba por cada condición de operación. Es decir, el total de señales de prueba que fue comparada con las respectivas plantillas o vectores de características reducidos fue de 250, ya que se usaron 50 señales de prueba para identificar y clasificar las condiciones de operación de la planta usando la señal  $y_{gmed}$ , 50 señales más para el caso de usar la señal  $y_{rmed}$ , 50 más para el caso de usar la señal  $y_{fmed}$  y finalmente, 50 señales más para el caso de usar la señal  $u_{1med}$ .

Estas plantillas fueron construidas considerando diferencias mínimas de operación de la planta pero que a su vez, poder identificar al menos alguna señal, que fuera capaz de detectar una posible anomalía o falla de operación. Esto es útil para identificar qué señal o señales son las más adecuadas para capturar los diversos cambios de comportamiento desde una condición normal a otra de falla.

Para mayor sencillez del análisis, es útil definir la siguiente hipótesis, a saber:

**Hipótesis: Sólo una falla sucede a la vez, mientras dure el tiempo de la ventana de análisis L usada para el cálculo de la varianza de la TWC.**

**Tabla 2: Parámetros considerados para la identificación y clasificación de fallas de la planta de molienda y flotación Ad-Hoc**

Nombre	Símbolo	Condición Normal	Condición de Falla
Granulometría de alimentación a molienda	g	$g=[0,4 \ 0,4 \ 0,1 \ 0]$	$g=[0,8 \ 0,4 \ 0,1 \ 0]$
Moliendabilidad	$\Gamma$	1	0,8
Tasa de descarga del molino	$\beta_2$	0,2	0,3
Rechazo tamaño 3 en clasificador	c3	0,1	0,15

En la Tabla 2 (similar a la Tabla 1 pero en que se indica el símbolo y valor de cada parámetro), se muestran las condiciones de operación normal y falla con los valores correspondientes de los parámetros.

A continuación, se muestran las matrices de confusión para las diversas condiciones de operación usando distintas señales del proceso. I de análisis  $y_{mcmcd}$

**Tabla 3: Matriz de confusión para Plantillas de la señal de análisis  $y_{Gmed}$**

	N	g	$\Gamma$	$\beta_2$	c3
N	100	0	0	0	0
g	0	96	4	0	0
$\Gamma$	0	16	84	0	0

**Tabla 4: Matriz de confusión para Plantillas de la señal de análisis  $G_{med}$**

	N	g	$\Gamma$	$\beta_2$	c3
N	100	0	0	0	0
g	0	100	0	0	0
$\Gamma$	0	0	100	0	0
$\beta_2$	0	0	0	100	0
c3	0	0	0	0	100

**Tabla 5: Matriz de confusión para Plantillas de la señal de análisis  $y_{mcmcd}$**

	N	g	$\Gamma$	$\beta_2$	c3
N	100	0	0	0	0
g	0	100	0	0	0
$\Gamma$	0	0	100	0	0
$\beta_2$	0	0	0	100	0
c3	0	0	0	0	100

**Tabla 6: Matriz de confusión para Plantillas de la señal de análisis  $y_{fmed}$**

	N	g	$\Gamma$	$\beta_2$	c3
N	100	0	0	0	0
g	0	100	0	0	0
$\Gamma$	0	0	100	0	0
$\beta_2$	0	0	0	100	0
c3	0	0	0	0	100

**Tabla 7: Matriz de confusión para Plantillas de la señal de análisis  $u_{1med}$**

	N	g	$\Gamma$	$\beta_2$	c3
N	100	0	0	0	0
g	0	100	0	0	0
$\Gamma$	0	0	100	0	0
$\beta_2$	0	0	0	100	0
c3	0	0	0	0	100

De la observación de las Tablas 3 a 7, se puede concluir lo siguiente:

En general, todas las señales presentaron un buen desempeño en la clasificación de las fallas ocurridas en la planta, exceptuando la señal  $y_{Gmed}$ , que presentó algunas confusiones menores, en todo caso, entre la condición de falla debido al cambio en la granulometría g y la moliendabilidad  $\beta$  del mineral (ver Tabla 3).

- Es evidente el buen desempeño en la clasificación que se obtuvo al analizar varias señales de la planta, por lo que no fue necesario concatenar vectores de características o plantillas para mejorar el desempeño en la clasificación.
- Finalmente, se concluye bastaría con considerar cualquiera de las señales  $G_{med}$ ,  $y_{mcmcd}$ ,  $y_{fmed}$  ó  $u_{1med}$  para detectar los 4 tipos de fallas considerados en la Planta de Molienda Ad-Hoc.

Es interesante mencionar que el diseño del vector de características patrón o plantilla desarrollado en este trabajo para detección y clasificación de fallas, fue aplicado con éxito en la detección de cambios en la moliendabilidad  $\beta$  de una planta simulada de Molino SAG, el cual generó la publicación [9] en la revista *International Journal of Mineral Processing*, con resultados muy aceptables, a pesar que se dejó de lado, un análisis exhaustivo de la elección de la escala máxima a utilizar ( $a_{max}$ ) como fue el caso del análisis realizado al sistema de primer orden visto en es estudio. Sin embargo, como se mencionó en capítulos anteriores, esta elección de  $a_{max}$  queda a criterio del usuario.

### 5. Conclusiones

En este trabajo se demuestra que es posible aplicar la Transformada Wavelet Continua con éxito y simpleza en la creación de un vector de características patrón (o plantilla), para su posterior uso en la detección y diagnóstico de fallas de diversos tipos de plantas, tanto lineales como no lineales.

Es interesante observar que para aplicar esta metodología, no se necesita un modelo (o modelos múltiples explícitos) de la planta para llevar a cabo, por ejemplo, un análisis de los residuos y con ello determinar si estamos o no en presencia de una falla. Simplemente se analiza la señal medida desde la planta para el instante presente o actual.

El método funciona en línea para una ventana de tiempo determinada por el diseñador. Si la ventana temporal de análisis es muy pequeña se pierde precisión en la identificación de una falla, ya que se presentan más falsos positivos o mayor cantidad de traslapes en las curvas de distancia, por tanto no se puede estar seguro si la planta bajo análisis, está o no, operando en condi-

ción de falla, es decir existe un compromiso entre el ancho de la ventana temporal de análisis y la capacidad del método de DIF presentado en este trabajo para detectar fallas.

El vector de características patrón (o plantilla) diseñado en este trabajo, ha demostrado ser un medio adecuado para detectar fallas o condiciones de operación de un sistema estocástico lineal y no lineal tanto SISO como MIMO. Si bien es cierto se ha impuesto la condición que las señales sean estacionarias en sentido amplio, en general, casi todos los sistemas reales cumplen con dicha condición, por lo tanto, no es una restricción tan fuerte.

También como trabajo futuro, también sería interesante probar diversas técnicas de clasificación de patrones, como la vista en este trabajo de investigación (LDA Fisher y k-NN) y otras adicionales tales como SVM, QDA, etc aplicadas a diversas plantas, usando el vector de características creado en este trabajo versus los vectores de características comúnmente usados en la literatura, para así tener una base de comparación de los desempeños obtenidos en la clasificación de fallas como en el reconocimiento de patrones.

Finalmente, la gran potencia que posee la construcción del vector de características propuesto para el proceso de clasificación de fallas, se debe al hecho que en el proceso de construcción del vector de características se considera tanto la información espectral de la señal (análisis en el dominio de la escala o su equivalente a la transformada de Fourier) como la información temporal. Este hecho es relevante ya que los métodos que en general utilizan la transformada wavelet para clasificación, hacen uso de la versión discreta y no continua de ésta y la construcción de los vectores de características se basan principalmente en la información temporal de las señales y reducen su dimensión usando diferentes escalas (descomposición), pero en ese proceso se pierde información valiosa, cosa que no sucede al combinar ambas informaciones (espectral y temporal) en forma simultánea como es el caso del vector de características patrón (o plantilla) diseñado en este trabajo.

## Referencias Bibliográficas

[1] S. Mallat, "A Wavelet Tour of Signal Processing Identification", Academic Press, San Diego, CA, USA (1999).

[2] C. Torrence and G.P. Compo; "Bulletin of the American Meteorological Society", Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, University of Colorado, Boulder, Colorado.

[3] Gonzalez, G.D., G. Ceballos, R. Paut, D. Miranda, P. La Rosa, "Fault detection and identification through variance of wavelet transform of system outputs". In Recent advances in Intelligent systems and signal processing, Ed. N.E. Mastorakis, C. Manikopoulos, G.E. Antoniou, V.M. Mladenov, I.F. Gonos, WSEAS Press, 2003, pp. 47-53

[4] Gonzalez, G.D., Paut, R., Cipriano, A., Miranda, D., and Ceballos, G., "Fault Detection and Isolation Using Concatenated Wavelet Transform Variances and Discriminant Analysis", IEEE Transactions on Signal Processing, May 2006.

[5] Misiti, M., Y. Misiti, G. Oppenheim and J-M. Poggi. Wavelet Toolbox for Use with MATLAB. The Mathworks, Inc., Natick, MA, U.S.A, (1996)

[6] G. González y David Miranda P.; "Manual del Usuario Simulador de la Planta Ad-Hoc versión 1.0", Depto. Ingeniería Eléctrica, U. de Chile, 2003.

[7] Daubechies, I., Ten lectures on wavelets, (CBMS-NSF regional conference series in applied mathematics), 61, 2002.

[8] K. Kasinathan, Power System fault detection and classification by wavelet transforms and adaptive resonance theory neural networks, University of Kentucky Master's Theses, , 2007.

[9] C. Pang and M. Kezunovic. Wavelet-Based Method for Transmission Line Fault Detection and Classification during Power Swing, Texas A& M University, 2008.

[10] J. Gao, Y. Ji, J. Bals, R. Kennel. Fault Detection of Power Electronic Circuit using Wavelet Analysis in Modelica. Technische Universität München Arcistr. Munich, Germany, 2012.

[11] M. Patel, R.N. Patel. Fault Detection and Classification on a Transmission Line using Wavelet Multi Resolution Analysis and Neural Network. Dept. of Elect. Engg. S.S.C.E.T, Durg, India, 2012.

[12] J.I. Adetorosaheedayode, Power System Fault Detection Using Wavelet Transform and Probability Neural Network. American Journal of Engineering Research (AJER) e-ISSN: 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936 Volume-5, Issue-4, pp-192-196. 2016.

[13] M. Michalik, W. Rebizant, M. Lukowicz. Wavelet Transform Approach to High Impedance Fault Detection in MV Networks. Institute of Electrical Power Engineering Wroclaw University of Technology, Poland.

[14] K.P. Ray, B.K Panigrahi, P.K. Rout. Detection of Faults in Power System Using Wavelet Transform and Independent Component Analysis. Bhubaneswar, India. Dept. of ECE, The University of Texas at Dallas, Technical Report, USA. 2016.

[15] P. Sharma, D. Saini, A. Saxena, Fault Detection and Classification in Transmission Line Using Wavelet Transform and ANN. Department of Electrical Engineering, Swami Keshvanand Institute of Technology Management & Gramothan, Jaipur, India. 2016.

[16] E.R. Davies, Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities, 3rd ed. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 2004.

[17] L.C. Jain and B. Lazzerini, Eds., Knowledge-Based Intelligent Techniques in Character Recognition, Boca Raton, FL: CRC, 1999.

[18] A. Dhawan, Medical Image Analysis. Hoboken, NJ: Wiley, 2003.

[19] W. Chou and B. H. Juang, Eds., Pattern Recognition in Speech and Language Processing, Boca Raton, FL: CRC2003.

[20] M. Kiefte, Discriminant Analysis Toolbox. Edmonton, AB, Canada: Univ. Alberta, 2000.

[21] C. Bishop, Neural Networks for Pattern Recognition. New York: Oxford Univ. Press, 2002.

[22] B. D. Ripley, Pattern Recognition and Neural Networks. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 1996.

[23] A. Webb, Statistical Pattern Recognition. Hoboken, NJ: Wiley, 2002.

[24] V. Vapnik, Statistical Learning Theory. Hoboken, NJ: Wiley, 1998

[25] G.E. Ceballos Benavides, Detección e Identificación de Fallas e Sistemas Lineales y No Lineales Estocásticos por Medio del Diseño de un Vector de Características basado en la Varianza de la Transformada Wavelet Continua". Tesis Magister en Ciencias de la Ingeniería, Mención Eléctrica, Universidad de Chile, Abril 2018.

## Profesor e investigador Manuel Duarte dicta charla en la Universidad de Yale

*La exposición, en una de las universidades más prestigiosas del mundo, abordó sus recientes avances de las investigaciones en el área de operadores fraccionales aplicados al control de sistemas dinámicos.*

El profesor e investigador, Manuel Duarte, del Instituto de Investigación y Postgrado Finarq, dictó una charla en la prestigiosa Universidad de Yale en la que trató sus recientes avances de las investigaciones en el área de operadores fraccionales aplicados al control de sistemas dinámicos en la exposición llamada "Fractional Order Control and Identification: Theory and Applications".

Según explicó el profesor Duarte se trata de investigaciones y desarrollo de estrategias de control e identificación de sistemas, y procesos sobre los cuales se tiene un conocimiento parcial de sus características y parámetros. Por lo mismo se utilizan técnicas avanzadas de control e identificación de sistemas/procesos desarrolladas específicamente para estos fines.



En esa línea, el académico detalla que "los ejemplos prácticos de lo anterior, y que hemos desarrollado, incluyen el control de procesos mineros (molienda y flotación), control automático de aeroplanos (F15 y CESSNA) y control de biorreactores, entre otros".

Además, el profesor Duarte pudo reunirse con algunos miembros del Center for Systems Science de la Universidad de Yale, para discutir temas de interés mutuo en el área de Control e Identificación de Sistemas Dinámicos, definiendo algunas líneas de investigación futuras.

"Este tipo de estadias permite el intercambio de información de primera fuente e interactuar con investigadores y estudiantes de otros centros de investigación, creando redes colaborativas de investigación y desarrollo con beneficios mutuos para los participantes", contó el investigador, agregando que "para mí resulta extremadamente importante participar en este tipo de iniciativas, ya que permite someter mis desarrollos y avances en investigación y aplicaciones, al escrutinio de la comunidad académica internacional además de mantenerme al día de los nuevos desarrollos en esta área".

## Profesor Felipe Rivera consigue beca de la Red de Investigación de Sostenibilidad 2023

*La Red, fundada en 2005, concede anualmente becas a investigadores e investigadoras jóvenes en áreas presenciales y en línea. Del primer grupo, el docente de Ingeniería Civil Industrial, fue uno de los seleccionados.*

El profesor Felipe Rivera, académico de la carrera de Ingeniería Civil Industrial, fue seleccionado como ganador de una de las Becas para Investigadores Emergentes 2023 otorgadas por la Red de Investigación de Sostenibilidad.

La instancia, fundada en 2005, entrega anualmente estos reconocimientos a estudiantes de posgrado e investigadores que tienen interés en los temas del con-

greso que la Red organiza y que este año se llevó a cabo en Liubliana, Eslovenia bajo el título "Descentralizando la sostenibilidad: Hacia soluciones locales para problemas ambientales globales".

La beca conseguida por el profesor Rivera ofrece la inscripción al congreso, la membresía de la Red de Investigación y crédito en CGScholar, y según sus organizadores es una gran oportunidad de desarrollo profesional para académicos al comienzo de su carrera, ayudándoles a conocer expertos del área, interactuar con colegas de otros países y a crear contactos.

El profesor Felipe Rivera es Ingeniero Civil Industrial y Magíster en Ciencias de la Ingeniería de la Universidad de Santiago



de Chile. Académico de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Central de Chile y actualmente, pertenece al programa de Doctorado en Economía y Empresa de la Universidad de Navarra, España. Sus principales intereses de investigación se centran en la Economía Ambiental y sus políticas de regulación. Posee el reconocimiento al mejor trabajo de investigación en el área de Ciencias Sociales en la Jornada de Jóvenes Investigadores (JJI). Cuenta con experiencia en diversos proyectos ligados al área económica y ambiental, como la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), Gendarmería de Chile, Gobierno Regional Metropolitano (GORE), Ministerio de Bienes Nacionales en la División de Planificación y Presupuesto (DIPLAP).

# Bomba atómica: un juego de billar dentro del átomo y la película

# OPPENHEIMER



$$\nabla^2 + \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \phi(t, \mathbf{x}) = 0$$



$$(i \partial_t - m) \psi \equiv (i \gamma^\mu \partial_\mu - m) \psi = 0$$

$$i \hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\mathbf{r}, t) = \left[ \frac{-\hbar^2}{2\mu} \nabla^2 + V(\mathbf{r}, t) \right] \Psi(\mathbf{r}, t)$$

$$\left[ \frac{1}{i^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \nabla^2 + \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \right] \phi(t, \mathbf{x}) = 0$$

$$\left[ \frac{1}{2m} (\hat{\sigma} \cdot (\hat{\mathbf{p}} - e\mathbf{A}))^2 + eV \right] \psi = i \hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi \quad \left[ \frac{1}{\sqrt{-g}} \frac{\partial}{\partial x^\alpha} \left( \sqrt{-g} g^{\alpha\beta} \frac{\partial \phi}{\partial x^\beta} \right) \right] + \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \phi = 0$$



↘ **Alejandro Riveros**  
Dr. en Ciencias mención Física

↘ **Juan Francisco Fuentealba**  
Dr. en Ciencias mención Física

↘ **Felipe Tejo**  
Dr. en Ciencias mención en Física.

*"... En mi mente pensaba en una línea del Bhagavad-Gita en la que Krishna intenta persuadir al Príncipe de que debe cumplir con su deber: 'Me he convertido en la muerte, el destructor de mundos'..."*

Esas fueron las frases que escribió el físico estadounidense J. Robert Oppenheimer, líder del proyecto Manhattan, días antes de que se lanzaran las bombas atómicas sobre las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki el 6 y el 9 de agosto de 1945, respectivamente, que causaron la muerte de 246 mil personas. El mundo presenció dos de las explosiones más terroríficas generadas por la humanidad. La bomba atómica pasó de ser un proyecto a ser una realidad y había sido usada contra la población civil. Es difícil tratar de entender cómo se llegó a esto, pero si analizamos el contexto histórico junto con el avance de la física de esa época, aunque no lo logremos entender del todo tal vez tendremos algunos indicios para explicar lo ocurrido.

Nosotros, como científicos, enfocaremos este artículo alrededor de la física detrás de la bomba atómica y como el avance de la ciencia en esos años fue el detonante para generar esta arma. A diferencia de las bombas convencionales basadas en reacciones químicas, como por ejemplo, la dinamita o TNT creada por Alfred Nobel, quien curiosamente creó posteriormente los premios Nobel en arrepentimiento, la bomba atómica como su nombre lo indica es una bomba basada en reacciones dentro del núcleo del átomo. Actualmente sabemos que toda la materia está formada por átomos y que sus núcleos están formados por protones y neutrones los cuales en general son estables gracias a la fuerza nuclear fuerte (una de las cuatro fuerzas fundamentales, las restantes son la fuerza electromagnética, la gravitatoria, y la nuclear débil) logrando evitar la repulsión eléctrica entre protones. Sin embargo, no todos los átomos son estables, algunos de ellos conocidos como átomos pesados son inestables debido a que poseen un exceso considerable de neutrones y protones dificultando que la fuerza nuclear los pueda mantener estables y produciendo actividad dentro del núcleo, lo que se conoce como la radiactividad cuando existe un exceso de neutrones respecto a protones. Es por esto que la bomba atómica fue confeccionada en base a reacciones del núcleo de átomos pesados como el Uranio que es altamente radiactivo o inestable. El Uranio es el elemento más pesado que podemos encontrar en la naturaleza, posee 92 protones y puede contener entre 140 y 146 neutrones, lo que lo convierte en un elemento altamente radiactivo. Aunque recientemente se ha logrado obtener en un laboratorio un átomo aún más pesado, el Ununoctio (actualmente llamado Oganésón) con 118

protones en su núcleo el cual tuvo una duración de apenas 0,9 milésimas de segundos, debido a su alta inestabilidad.

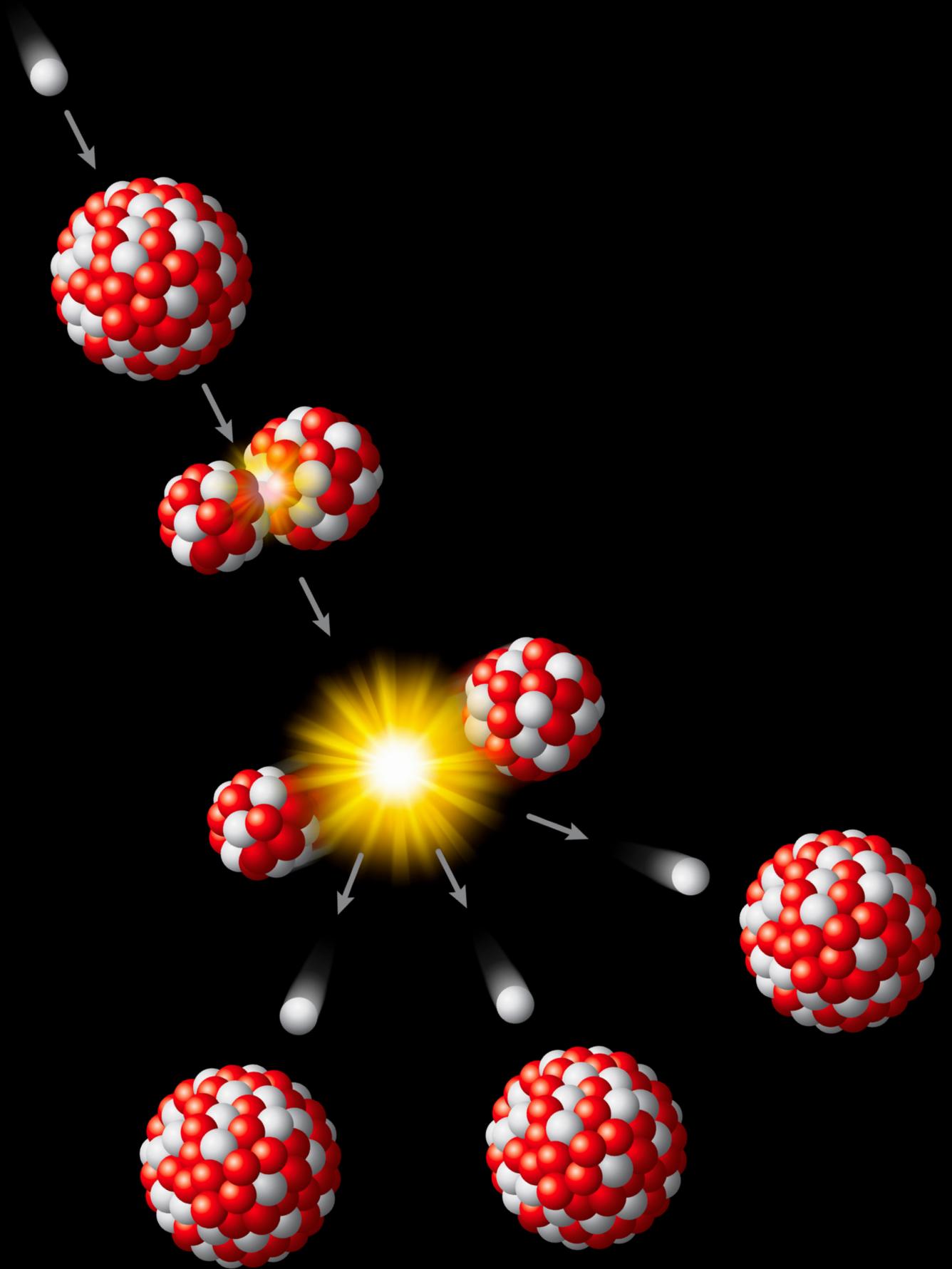
Por lo tanto, vamos encontrando algunos indicios, "la radiactividad", descubierta por el científico francés Henri Becquerel en 1896, 49 años antes del lanzamiento de la bomba atómica. Sin embargo, la desintegración espontánea de estos núcleos inestables, si bien es perjudicial para la salud bajo exposición continua, no es suficiente para generar la energía destructiva de una bomba atómica. Además, al ser un proceso espontáneo, no es posible predecir cuándo ocurrirá y menos aún poder controlarlo. Al respecto, el físico Ernest Rutherford, considerado el padre de la física nuclear, mencionaba "cualquiera que espere una fuente de energía en la transformación de los átomos está en la Luna", refiriéndose a la imposibilidad de conseguirlo. Sin embargo, Rutherford en ese momento no contaba con la posibilidad de generar una ruptura del núcleo debido a un agente externo y no por procesos espontáneos dentro del átomo inestable. Al respecto, Albert Einstein mencionaba "el átomo debería ser destruido a voluntad". En palabras simples si se golpea el núcleo de un átomo pesado se generaría la ruptura del núcleo. Esto sería como "jugar billar" dentro del átomo, haciendo la analogía con el juego de billar, a diferencia que en este juego las bolas no se rompen ya que son firmes en cambio el núcleo de un átomo radiactivo es inestable, generando su desintegración o rompimiento cuando es impactado. Por otro lado, considerando que en el átomo la distancia entre la nube electrónica y el núcleo es muy grande, y que las partículas subatómicas son muy pequeñas, el lector podría pensar "tener la precisión para impactar un núcleo es imposible", sin embargo, gracias al avance de la mecánica cuántica, que curiosamente en esos años estaba en su pleno apogeo, en los estudios de los fenómenos a escalas atómicas esto podría ser posible. En efecto, otro indicio fundamental es el apogeo de la mecánica cuántica, 25 años antes del lanzamiento, con los estudios de destacados físicos como Einstein, Schrödinger, Born, Heisenberg entre otros, el "juego de billar" a escala atómica ya no era una utopía y podría ser una realidad.

En 1939 los químicos alemanes Otto Hahn y Fritz Strassmann habían conseguido por primera vez en un laboratorio la ruptura del núcleo de un átomo por impacto de neutrones, el juego de billar en el átomo había comenzado y el neutrón jugaba el rol de la bola blanca, ¡La amenaza de una bomba atómica era latente! Ese mismo año, mientras comenzaba la Segunda Guerra Mundial, Albert Einstein, junto con su colega el físico Leó Szilárd, escribieron una carta al presidente de Estados Unidos, Franklin D. Roosevelt, advirtiéndole sobre

la posibilidad de que "en un futuro inmediato", parte de la comunidad científica fuera capaz de generar una reacción nuclear en cadena. En dicha carta, los físicos expusieron que era concebible que "bombas de un nuevo tipo, extremadamente poderosas, pudiesen ser así creadas". En reacción a esta carta se creó el Consejo de Investigación de la Defensa Nacional en junio de 1940 y en noviembre de 1941, el Consejo de Investigación confirmaba al presidente: "si aplicamos todo el esfuerzo posible en el programa, creemos que las bombas de fisión nuclear estarían disponibles en cantidades significativas dentro de 3 o 4 años". Un mes después, el 6 de diciembre, el gobierno de Estados Unidos decidió dedicar un esfuerzo "supremo" para el desarrollo de una bomba atómica. Así, la física atómica entraba en la primera línea de la Guerra Mundial.

Los esfuerzos del gobierno de Estados Unidos se materializaron en el proyecto de Ciencia Aplicada más ambicioso que, hasta entonces, el mundo haya conocido, El proyecto Manhattan formado por más de 120 mil trabajadores dedicados a diversas tareas y utilizando la séptima parte de toda la energía producida por Estados Unidos en la fabricación de la materia prima de la bomba atómica, el Uranio 235. En este contexto, algunos de los físicos nucleares más importantes de la época, se embarcaron en la misión de crear por primera vez una reacción nuclear controlada, es decir, una reacción en cadena que fuese lenta y autosostenida. El desarrollo de este experimento se realizó en una pista de squash debajo el estadio de la Universidad de Chicago y dio origen a "El Chicago Pile-1 (CP-1)", el primer reactor nuclear artificial del mundo. Al encontrarse debajo de las instalaciones de la universidad, la construcción del "El Chicago Pile-1" suponía un reto adicional, ya que si perdían el control del experimento, la reacción en cadena no solo destruiría el improvisado laboratorio, sino gran parte de la universidad.

Alrededor de las 15 horas del 2 de diciembre de 1942, el grupo de investigación liderado por el prestigioso físico italiano Enrico Fermi, informaba a sus colegas científicos que habían conseguido la primera reacción en cadena controlada de la historia. Fue el físico y premio Nobel Arthur Compton quien realizó la llamada al presidente del Consejo de Investigación de la Defensa Nacional para notificarlo de tal hito histórico: "¡El navegante italiano ha llegado al nuevo mundo!", exclamó. El éxito de este experimento quedó confirmado cuando el presidente del Consejo le preguntó: "¿si es así... ¿fueron los nativos amistosos?", a lo que Compton respondió: "todos desembarcaron seguros y felices". Fueron descritos los dos últimos indicios para que la bomba atómica fuera una rea-



lidad: masa crítica y reacción en cadena. Si bien la ruptura de un solo núcleo por bombardeo de neutrones no genera la energía necesaria para una bomba atómica, una cadena de estas reacciones sí lo haría en una cantidad suficiente y particular de materia radiactiva, conocida como masa crítica. Esto se aprecia en la película *Oppenheimer*, recientemente estrenada en cines ¡Cuidado! ¡Alerta de Spoiler! Cuando J. Robert Oppenheimer va colocando pelotitas en un bowl durante las reuniones que mantenía junto a los científicos miembros del proyecto Manhattan, escenas que fueron mostradas en diferentes momentos de la película. La idea era mostrar una analogía a través de la aglomeración de las pelotitas en el bowl para poder alcanzar la masa crítica del uranio 235, la cual es equivalente a la masa de una esfera de 17 centímetros de diámetro de uranio 235, misma dimensión del bowl en la película de *Oppenheimer*. El Uranio 235 (con 94 protones y 141 neutrones) es un isótopo del Uranio altamente fisiónable el cual una vez alcanzado su masa crítica permite que luego de que se produzca una primera fisión de su núcleo por impacto de neutrones los restos de la separación del núcleo se vuelven a fisiónar (dividir) por impactos de otros neutrones y así sucesivamente se generan una serie de procesos de fisión nuclear dentro del uranio 235, lo que se conoce como reacción en cadena generando la energía suficiente de una bomba atómica, análogo a cuando un jugador de billar, gracias a su destreza, logra golpear varias bolas en un solo golpe de taco, debido a impactos sucesivos entre diferentes bolas.

Un escenario terrorífico, pero interesante del punto de vista de la física, que resalta la película *Oppenheimer* al respecto del proceso de reacción en cadena que genera una bomba atómica, es el sugerido por los cálculos de Edward Teller, miembro del

proyecto Manhattan, de una eventual posibilidad de que esta reacción en cadena que se genera en la bomba atómica no termine y continúe sucesivamente reaccionando además en los átomos de toda la atmósfera y sin detenerse. Escena que se ve reflejada en la película con una cadena sucesiva de explosiones en la atmósfera generando la destrucción del Planeta. Sin embargo, tal como se menciona en la película, la probabilidad de que ocurriera ese fenómeno era prácticamente imposible ya que el aire no es radiactivo, al contrario está formado por elementos livianos como el hidrógeno y además debido a la disipación de la energía liberada luego de la explosión de la bomba atómica, no se podría generar una explosión de toda la atmósfera del planeta Tierra.

Si bien la bomba atómica no podría causar la incineración de toda la atmósfera, sí generó la incineración de una región en torno al punto de explosión de la bomba, la cual alcanzó aproximadamente 1,2 kilómetros de diámetro para el caso de la bomba de Hiroshima provocando la muerte instantánea de 70.000 personas aproximadamente, debido a que la temperatura alcanzó un valor cercano a los 5.000 grados centígrados, temperatura similar a la superficie del Sol. Para tener una estimación de esta distancia consideremos que 1,2 kilómetros es similar a la distancia entre la Universidad Central y el palacio presidencial La Moneda. Además, esta bola de fuego, se extendió también hacia arriba generando esa forma de hongo tan característica, el hongo atómico, que alcanzó una altura de 13 km por lo que gran parte de las partículas radiactivas en el hongo atómico quedaron depositadas en la troposfera provocando la lluvia radiactiva por deposición de estas partículas. Así es, el día de la explosión ocurrió además este fenómeno al cual los sobrevivientes le llamaron lluvia negra, esta lluvia negra fue una especie de

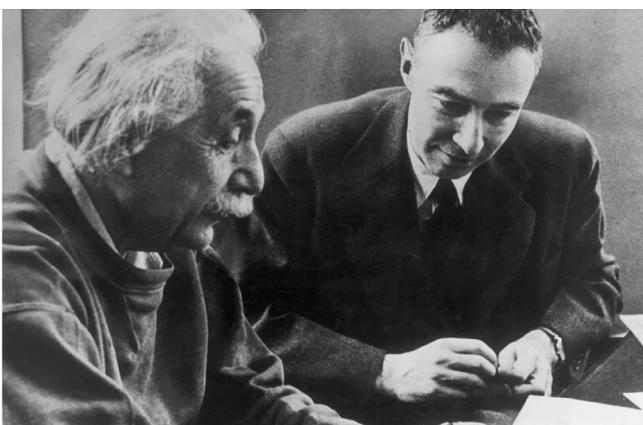
mezcla entre lluvia radioactiva generando la muerte de aproximadamente 80.000 personas más durante los meses siguientes de la explosión en Hiroshima por quemaduras y radiación... y esta tragedia se repitió 3 días después con la bomba de Nagasaki con similares características...

... A pesar de lo evidente que resulta en este caso el cómo el avance científico cambió el curso de la guerra, también es innegable notar el peligro de la ciencia aplicada al uso militar o poder bélico. Si bien el avance de la ciencia es importante para la sociedad y permite el avance de la tecnología que nos facilita por ejemplo nuestra vida cotidiana, este avance también repercute en la tecnología militar y poder bélico de los países actualmente. A modo de reflexión, pensamos que es importante que los países inviertan en ciencia pero hay que tener cuidado con el peligro que conlleva cuando se mezcla con intereses militares. En efecto, actualmente 9 países cuentan con armamento nuclear, con capacidades destructivas mucho mayores que las bombas atómicas que fueron lanzadas en Hiroshima y Nagasaki, por lo que un eventual lanzamiento de algunas de estas armas nucleares en la actualidad sería de consecuencias inimaginablemente catastróficas. Al respecto, es difícil no pensar en la célebre frase que Albert Einstein habría pronunciado después de la Segunda Guerra Mundial "... No sé con qué armas se peleará la tercera guerra mundial, pero la cuarta será con palos y piedras...".

[1] Why Oppenheimer deserves his own movie?, An element of truth, Veritasium. <https://www.veritasium.com>

[2] Museo Memorial por la paz de Hiroshima, <https://hpmmuseum.jp>

[3] Ununoctium (Uuo)-Discovery, Occurrence, Production, Properties and Applications of Ununoctium, Azo materials.



Albert Einstein y J. Robert Oppenheimer, 1947.



Cúpula Genbaku en el Parque Memorial de la Paz de Hiroshima, Japón

## ENTREVISTA A

---

# MAURICIO RIVEROS RODRÍGUEZ

*JEFE DE LA DIVISIÓN DE ENERGÍAS SOSTENIBLES, MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE.*



Frente a la contaminación medioambiental los países del mundo han impulsado el uso de energías renovables y sustentables para mitigar estos efectos, para conocer el estado actual de Chile y la planificación a futuro en este ámbito, esta vez entrevistamos al Jefe de la División de Energías Sostenibles del Ministerio de Energía de Chile el Sr. Mauricio Riveros Rodríguez, experto en áreas de planificación y desarrollo de energías sostenibles con más de 16 años de experiencia profesional y consultoría en el sector energético. Además, Mauricio Riveros es Ingeniero Civil Eléctrico de la Universidad de Chile y cuenta con un Magister en MSc in Sustainable Energy Futures de Imperial College London.

Agradecemos la buena disponibilidad de Mauricio para participar de esta entrevista.

**Actualmente usted se desempeña como Jefe de la División de Energías Sostenibles del Ministerio de Energía de Chile. ¿Cuáles son los principales ejes estratégicos de esta División? y ¿Cuáles son los lineamientos generales respecto a las energías renovables que Chile se ha propuesto para el corto y mediano plazo?**

La División que lidero es la fusión de lo que fueran las Divisiones de Eficiencia Energética y la División de Energías Renovables. En mi equipo están las y los funcionarios que fueron pioneros en el ministerio en empujar las primeras medidas de eficiencia energética y estuvieron en los primeros momentos del empuje por el desarrollo de energías renovables en Chile. Ambos desafíos han avanzado mucho en nuestro país. Tenemos hoy una Ley de Eficiencia Energética y las energías renovables en el sector eléctrico son protagonistas en nuestra matriz de generación. Nuestra Agenda de Energía establece el desafío de lograr 80% de energías renovables al 2030 y 100% al 2050 y el foco de la División de Energías Sostenibles está en acelerar la descarbonización de toda la demanda energética (electricidad, calor/frío, transporte), lo que solo será posible si se hace de manera costo efectiva (es decir al menor costo sistémico posible) y en base a oportunidades para las personas, porque una transición energética que no conlleve beneficios a las personas es muy difícil que suceda.

**Respecto al avance a los combustibles con menores huellas de carbono, ud ha mencionado que la descarbonización conlleva electrificación. Al oír esta última frase lo primero que podríamos pensar es el reemplazo de autos que eran de gasolina por autos eléctricos. En qué otras áreas se podría aplicar este concepto y cómo cree ud. que está preparado el país para lograr este proceso.**

Primero que todo es importante clarificar que la descarbonización se refiere a remover todas las emisiones de carbono de la economía. En el caso de nuestro país, estas emisiones provienen principalmente desde el sistema energético y por ello es tan importante la descarbonización del mismo. Ahora bien, el sector energía no es solo el sector eléctrico, sino que todo lo que es el uso y consumo de energía en sus tres vectores principales: electricidad, la energía térmica en forma de energía calórica (o frío) y el transporte. En Chile, considerando la abundancia de energías renovables disponibles para generar electricidad y el costo competitivo que estas tienen, tiene sentido priorizar una descarbonización vía electrificación, no de la totalidad, pero probablemente de gran parte de la demanda de transporte y térmica nacional. O sea, no solo estamos hablando de vehículos eléctricos para el transporte, sino que también de bombas de calor aerotérmicas para la demanda de calefacción, por ejemplo.

**Hoy en día ¿Cuál es la energía sustentable de mayor desarrollo en Chile? ¿Y cuál sería la de mayor proyección a futuro?**

Las energías renovables de mayor desarrollo en Chile para generación de electricidad son compartidas por la energía hidroeléctrica, la solar y la eólica. A futuro, probablemente sea principalmente la solar y eólica, pero puede llegar a jugar también un importante rol la energía eólica marina o costa afuera (Offshore wind, en inglés) dado el alto potencial eólico marino, la gran extensión de costa de nuestro país, el rápido descenso de costos de esa tecnología y que a diferencia de la energía solar si está disponible durante la noche. Estas dos fuentes de energía renovable (sol y viento) sin duda que se seguirán desarrollando con fuerza en el país dada la gran presencia de estos recursos a nivel nacional y el esperado crecimiento de la demanda eléctrica producto de la electrificación que mencionaba anteriormente. En efecto, si bien hoy el gas y leña son las principales fuentes de la demanda térmica, mucha de esa demanda será probablemente electrificada, principalmente la parte residencial de dicha demanda. De forma similar, si bien el petróleo y sus derivados son los que hoy abastecen principalmente la demanda de transporte, en el futuro, la apuesta es que la electricidad sea la principal fuente de energía del transporte terrestre liviano y mediano (por ejemplo,

autos y buses). Por último, el uso de estas energías para producir combustibles libres de emisiones vía electrólisis, tales como el hidrógeno verde y sus derivados, necesarios para descarbonizar los sectores del transporte y productivos que no se pueden descarbonizar vía electrificación, es otra razón para concluir que el uso de la energía solar y eólica seguirá creciendo en forma decidida en el país, más aún si efectivamente Chile se logra posicionar en los futuros mercados internacionales de estos combustibles.

**Actualmente en Chile, en porcentaje, ¿Cuánto de la energía eléctrica que consumimos proviene de fuentes de energía renovable? Y ¿Cómo se podría aumentar ese porcentaje?**

Dentro de los países con economías en desarrollo, Chile es de los países que posee las mayores penetraciones de energías renovables en su matriz de generación eléctrica. Hoy tenemos una capacidad instalada de casi 19 GW (62,5% de la capacidad instalada a nivel nacional), de la cual la energía solar y eólica son 11,5 GW, y solo esta capacidad eólica y solar fue el 29% de la generación eléctrica del 2022. Esto ya es una gran noticia. Mirando hacia el futuro, como decía anteriormente, las metas de nuestra política energética son tener 80% al 2030 y 100% al 2050. Dicho esto, se puede decir que como país ya cumplimos el primer tiempo de este proceso de penetración en nuestro sistema eléctrico, que en pocas palabras se podría resumir en haber generado todas las condiciones regulatorias y de mercado para que estas energías se pudieran desplegar en el sistema, tanto en generación como en el sector distribución. Habiendo cumplido esta etapa, hoy estamos viviendo un segundo tiempo de esta transición energética, en las que las cantidades de energías presentes están cambiando la realidad del mercado eléctrico nacional y estableciendo la necesidad de adaptar este mercado a nuevas condiciones. La Ley de Transición Energética y el Plan de Descarbonización son la primera etapa de esta agenda de segundo tiempo de las energías renovables que ha lanzado el Ministro Pardow a principios de 2023.

**Con respecto al uso de energías renovables en Chile, si nos comparamos con el resto de países de Latinoamérica, o incluso respecto a países de Europa ¿Cómo se encuentra posicionado Chile en esta materia? ¿Cómo han influido las políticas públicas?**

Muy bien, de hecho, Chile es de los pocos países que han logrado este nivel de penetración de renovables en el mundo, y un ejemplo dentro de los países de la región y de economías en desarrollo en general. Obviamente que las políticas públicas han influido. La Agenda 2050 establecida en el gobierno de la presidenta Bachelet fue clave para promover la penetración de estas junto con la Ley de Cuotas que se ha ido perfeccionando y aumentando su ambición con el tiempo. Asimismo, independiente del sector a cargo de la administración del estado, ha habido una política consistente de facilitar la penetración de estas mediante la remoción de barreras que se han ido enfrentando para permitir el desarrollo y conexión a la red eléctrica, tanto en transmisión como en distribución. Hoy seguimos corrigiendo problemas de mercado y abordando los cambios de la realidad del sistema en sentido de flexibilidad, no solo desde la generación sino también desde la distribución, para que éstas energías renovables en conjunto con el despliegue de almacenamiento puedan ya definitivamente iniciar con fuerza el reemplazo de las centrales térmicas, actualmente proveedoras de dicha flexibilidad, lo que es clave para alcanzar la presencia de renovables en el 100% de la generación de electricidad al 2050. De manera similar, nuestro gobierno está dando pasos decididos para la presencia de éstas energías en el transporte, implementando las estrategias de electromovilidad y de hidrógeno verde desarrolladas en la administración anterior, y con un foco en acelerar la carbono neutralidad (Net Zero, en inglés) de todo el sistema energético nacional.

## **Desde su mirada ¿Cuál cree usted que son los principales desafíos para convertir a Chile en un país cuya matriz energética sea mayoritariamente basada en energías sustentables?**

Tenemos que seguir con el paso firme de transición que se ha dado en el sector eléctrico, abordando los problemas que se han dado de forma natural a la transición, pero sin duda el desafío mayor es abordar los otros dos vectores. Tanto el térmico como el transporte hoy son principalmente abastecidos por combustibles fósiles. Más aún, dado que nuestro país no es un país con fuentes importante de gas y petróleo es importado, no tenemos la problemática de dependencia económica que si tienen los países cuyas economías dependen principalmente de la producción de dichos combustibles, sino que, por el contrario, tenemos la oportunidad de aumentar nuestra seguridad energética vía más penetración de energías renovables. En ese desafío de transición que cubra también esos dos vectores, jugarán su respectivo rol la electrificación, la geotermia de baja entalpia, los biocombustibles y el hidrógeno verde y sus derivados. En el sector transporte a nivel global la respuesta es más o menos clara, y en Chile también: el consumo energético de vehículos livianos y medianos será descarbonizado principalmente vía electromovilidad, mientras que el consumo de los vehículos pesados mediante combustibles bajos de emisiones, y muy probablemente hidrógeno verde o sus derivados. Mientras que en el sector térmico, cada país irá encontrando la forma más adecuada según sus características y realidades. En Chile, yo me atrevería a decir que será una mezcla de electrificación y energía distrital abastecida por geotermia de baja entalpia o bio combustibles.

## **Respecto del rol del desarrollo y utilización de energías renovables en Chile, ¿Cuál cree Ud que es el rol de la investigación científica en esa área?**

Evidentemente es fundamental, sobre todo la investigación aplicada. En Chile el mundo académico ha sido un pilar en la construcción de modelos y plataformas que han facilitado la penetración de estas tecnologías en el mercado, por ejemplo, los exploradores de energías renovables fueron desarrollados por el ministerio de energía en conjunto con la academia. Pero también, ha estado involucrada en la creación y penetración tecnológica. Desde las universidades y centros de investigación se realizaron las primeras transformaciones de vehículos de combustión a vehículo eléctrico. Asimismo, la academia ha sido importante en el desarrollo de políticas públicas. Por ejemplo, la política de energía 2050 que marcó un antes y un después para el despliegue en el mercado de las energías renovables, se dio a través de un proceso participativo impulsado por el ministerio de energía, pero implementado y co-liderado por diversas universidades a nivel nacional. Por más que seamos un país que generalmente importa tecnologías, tenemos el músculo y las instituciones para crear soluciones locales, y debiéramos apuntar más a ello.

## **Una de las desventajas del uso de energías renovables, como la eólica y la solar, es que son fuentes de energía intermitentes, ¿Cómo se enfrentan estos obstáculos actualmente?**

En efecto, algunas energías renovables, no todas, son intermitentes. El sol y el viento, si bien se han posicionado como soluciones competitivas para producir electricidad, poseen la problemática de ser inflexible. A medida que estas penetran en mayor medida en un sistema eléctrico, por lo tanto se necesita contar con mayores fuentes de flexibilidad, y más aún frente al retiro de las centrales térmicas que son las fuentes tradicionales de provisión de flexibilidad. Hoy en Chile, todavía no tenemos grandes problemas de flexibilidad, pero en el corto plazo si los tendremos si no tomamos las medidas que los países que

han logrado mayor penetración eólica y solar han tomado. Estas medidas son la diversificación de las fuentes de flexibilidad tales como el almacenamiento y la gestión, tanto pasiva como activa, de la demanda mediante mecanismos de mercado. Es precisamente por ello, antes que se enfrenten los problemas, que nuestra prioridad hoy es generar las condiciones para el despliegue de almacenamiento en el sistema eléctrico, ojalá a lo largo de toda la cadena de valor, y generar las condiciones para avanzar hacia una gestión de demanda vía condiciones de mercado, por ejemplo, mediante mercados de flexibilidad.

## **¿Existe en Chile una inversión para el avance y desarrollo de sistemas de almacenamiento en energía, por ejemplo baterías, para apoyar el uso de energías renovables? ¿Qué tipo de sistemas de almacenamiento de energía son los que tienen mayor potencial en Chile?**

Si, ya disponemos de sistemas de almacenamiento. Principalmente en el sistema de transmisión, y de apoco en los parques de generación, habiendo una infima cantidad en la red distribuida, en todos los casos, sistemas de baterías y en su mayoría de ion litio. La Comisión Nacional de Energía proyecta la necesidad de un despliegue de hasta 4 GW de almacenamiento en los próximos 6 años, dado el crecimiento de la demanda eléctrica pronosticado y el retiro programado de las centrales de carbón. Ya existen varios proyectos en distintas etapas de desarrollo. Para lograr esa meta, el Ministerio de Energía ha presentado el proyecto de Ley de Transición Energética. Otro objetivo que tenemos, y relacionado, es el despliegue de 500 MW de generación renovable distribuida para consumo propio (por ejemplo, mediante paneles solares en casas o edificios) de aquí al 2026, hoy disponemos de casi 300 MW, y seguir fortaleciendo el desarrollo de los PMGD (Pequeños y medianos generadores que inyectan energía directamente en la red de distribución), que ya alcanza más de 2 GW. El despliegue de almacenamiento junto a ambas fuentes de generación distribuida, mezclado con la capacidad de almacenamiento de las baterías de los vehículos eléctricos, serán las otras fuentes que permitirán aportar la gran necesidad de flexibilidad que representará un sistema sin generación térmica. Por lo tanto, tecnológicamente hablando, sin duda las baterías tendrán un rol importante en Chile y el mundo. Sin embargo, para alcanzar el retiro total de los combustibles fósiles, se deberán considerar otras fuentes de almacenamiento que permitan el almacenamiento de larga duración. En este sentido hay varias opciones posibles, siendo las centrales de bombeos una posibilidad. Con el BID hoy estamos estudiando algunas alternativas en ese sentido.

## **En términos de recursos a nivel mundial, Chile representa el 41% de las reservas mundiales de litio, mineral importante para una transición energética hacia la descarbonización. A su parecer ¿Está Chile preparado para estas cifras? ¿Cuáles deberían ser las medidas de Chile de acuerdo a este hecho?**

Por lo que mencionaba anteriormente, es claro que las baterías tendrán un rol esencial en la transición energética nacional, y a nivel global. Pero el litio no solo se usa en baterías para el sistema y la movilidad eléctrica, sino que el proceso de mayor digitalización que el mundo enfrenta y de seguro aumentará requerirá también de muchos de los recursos minerales que disponemos (litio, cobre, etc). Por ello es claro que la presencia de este recurso es un tema de interés estratégico nacional. La política nacional del Litio reconoce precisamente esa realidad. El gran desafío y oportunidad que tenemos como país es que el aprovechamiento de estos recursos sea mucho más que el crecimiento económico que puede significar su extracción, sino que sea la oportunidad de desarrollo local tanto de capacidades, como de tecnologías, y que sea un desarrollo sostenible para las comunidades locales. El rol de la ciencia aplicada a nivel local y las directrices que tome el Estado al respecto serán clave para el resultado final.

# Profesora de Astronomía, Daniela Barría, participa de importantes instancias estatales

*La académica de la Finarq aporta sus conocimientos en el Consejo GEMINI para el desarrollo de la Astronomía en Chile y el Comité Mixto ESO-Gobierno de Chile, constituido por la Organización Europea para la investigación astronómica en el Hemisferio Austral (ESO) y el Gobierno de Chile.*

El proyecto Gemini es un proyecto astronómico de cooperación internacional con participación de Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, Australia, Chile, Argentina y Brasil que sitúa dos telescopios de 8.1 metros, en Hawaii y el otro, en Cerro Pachón, en la IV Región de Chile. El objetivo es obtener imágenes del Universo de la más alta calidad, ayudados en gran parte por las excelentes condiciones atmosféricas de estos lugares. El análisis y la conducción de los aportes conseguidos, los gestiona el Consejo GEMINI, administrado por la ANID, y que cuenta con 6 miembros, una de ellas es la académica de Licenciatura en Astronomía de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Daniela Barría.

Elegida por la Sociedad Chilena de Astronomía (SOCHÍAS) como la representante nacional, la profesora Barría se suma a una instancia que busca contribuir al desarrollo de la astronomía en Chile, para lo cual la ANID realiza un llamado a concurso una vez al año a instituciones académicas/científicas que deseen presentar proyectos a financiar en temáticas relativas al desarrollo de capital humano y desarrollo tecnológico en astronomía y/o ciencias afines, así también iniciativas que fomenten la vinculación con el medio en esta área de la ciencia.

“Es un honor y un motivo de orgullo ser partícipe y poder colaborar desde mi experticia en estas instancias. Si bien, existe una carga laboral adicional, esta no hace más que contribuir al desarrollo personal y profesional”, asegura la docente que no se queda sólo ahí.

Además de esa intervención, que se extiende por el periodo 2023-2024, Daniela Barría también es parte del Comité Mixto ESO-Gobierno de Chile, constituido por la Organización Europea para la investigación astronómica en el Hemisferio Austral (ESO) y el Gobierno de Chile a través de la División de Ciencias, Energía, Educación, Innovación y Astronomía (DECYTI) del Ministerio de Relaciones Exteriores (quien dirige el Comité) en conjunto con el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Forma parte de este Comité igualmente la sociedad chilena de astronomía SOCHIAS.

Este Consejo fija las prioridades estratégicas para la entrega de fondos y evalúa los proyectos presentados que van desde la formación y desarrollo de capital humano en astronomía (posiciones postdoctorales, visitas científicas, etc..) hasta programas para la enseñanza y difusión de la astronomía.

Para la profesora Daniela Barría, estas participaciones toman relevancia porque significan la apertura y el fomento de la colaboración científica desde Chile, dado que según detalla que “más de 250 astrónomos y astrónomas nacionales o internacionales afiliados a Instituciones chilenas o en instalaciones internacionales que operan en Chile, cifra que ha aumentado un factor 10 en los últimos 30 años. Por otro lado, se espera que de aquí al 2030 Chile albergue más del 55% de la capacidad astronómica mundial. Esto no solo implica la instalación de grandes observatorios, sino también un desarrollo científico-tecnológico del cual nuestro país, como anfitrión, no puede quedar al margen”.

“Detrás de cada invitación hay un reconocimiento a tu trayectoria profesional y también a la Institución a la cual perteneces. Esto último conlleva al buen posicionamiento de la Universidad Central y demuestra igualmente el interés y compromiso de una institución académica al involucramiento de sus investigadores/as en temáticas relevantes al desarrollo del país”, cierra Barría.



# LA MAGIA DE LO INFINITESIMAL: El Premio Nobel de Química 2023



**Rafael Melo Freire**

Dr. En Química, Académico de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura – Universidad Central de Chile

Los ganadores del Premio Nobel de Química 2023 fueron los investigadores Mounji Bawendi, Louis Brus y Alexei Ekimov, debido a sus destacados trabajos relacionados al descubrimiento y desarrollo de los puntos cuánticos. Sin lugar a duda, tal reconocimiento destaca de manera increíble el campo de los nanomateriales ópticos. No obstante, antes de profundizar en las diferentes investigaciones sobre puntos cuánticos y como éstas pudieron y pueden mejorar nuestra vida cotidiana, debemos, inicialmente tener el cuidado de saber la real noción de un Nobel. Para eso, es fundamental tener en cuenta que un Premio Nobel es un reconocimiento anual otorgado por la Real Academia Sueca de Ciencias, pero que despierta un interés global y destaca investigaciones sobre gran potencial para causar un impacto positivo en la sociedad. Desde su inicio en 1901, los premios Nobel han sido una plataforma para celebrar avances sobresalientes y actualmente se contemplan seis categorías anuales. Son ellas literatura, física, medicina, química, ciencias económicas y acciones por la paz. Además, cada destinatario, es decir, cada persona que gana un Premio Nobel, recibe una medalla, un diploma y un premio económico.

Todas las categorías señaladas anteriormente son igualmente importantes para el avance de la sociedad hacia un futuro mejor y, a lo largo de los años, hemos podido observar varias premiaciones. En particular, entre las personalidades científica que les fue otorgada un Premio Nobel de Química, podemos mencionar Jacob Henricus Van't Hoff (1901), Ernest Rutherford (1908), Marie Curie (1911), Irving Langmuir (1932), Linus Carl Pauling (1954), entre otros(as). En 2023, los galardonados (término que se usa a los que ganan un Premio Nobel) fueron el francés Mounji Bawendi, el estadounidense Louis Brus y el ruso Alexei Ekimov. Todos se dedican a investigar en el campo de la ciencia de los materiales, pero, específicamente investigan puntos cuánticos, un importante material con dimensiones de unos pocos nanómetros ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ). Pero, ¿por qué la investigación en puntos cuánticos



**Figura 2**

Puntos cuánticos de CdSe (cadmio/selenio) con diferentes tamaños a escala nanométrica (1 – 100 nm), emitiendo diferentes colores desde morado, hasta el rojo, pasando por el verde y amarillo. Imagen en "Creative Commons" por Antipoff licencia bajo BY CC 4.0.

es relevante? ¿Cuáles son las propiedades que los hacen tan interesantes? ¿En realidad, el descubrimiento y desarrollo de los puntos cuánticos tuvo algún impacto en nuestra vida cotidiana?

Bien, para contestar a cada una de las preguntas, debemos inicialmente saber que es un punto cuántico. En ese contexto, tal nanomaterial (material con dimensiones entre 1 y 100 nm) puede ser entendido como una partícula semiconductor con propiedades ópticas y electrónicas dependientes de su composición y tamaño. Una vez que los procesos de producción están estandarizados y se puede controlar tanto la composición, como el tamaño, lo interesante acá es que las propiedades de los puntos cuánticos pueden ser "ajustadas" y aquí es donde reside la interesante magia del infinitesimal. Los puntos cuánticos, por su tamaño de pocos nanómetros, son capaces de restringir el movimiento de los electrones (partícula fundamental con carga negativa) a niveles de energía donde la diferencia entre tales niveles está controlada por el tamaño promedio del material. Por lo tanto, el descubrimiento y desarrollo de los puntos cuánticos hizo posible la creación de materiales con una capacidad para emitir y absorber radiación en variadas longitudes de onda. En

términos prácticos, los puntos cuánticos posibilitaron la producción de materiales con gran capacidad para producir diferentes colores vivos y nítidos.

Hasta ahora, pudimos notar que los puntos cuánticos son bastante interesantes y eso es debido a sus propiedades ópticas "ajustables". Sin embargo, ¿qué hay sobre el desarrollo tecnológico para impactar la sociedad? ¿Nuestra vida cotidiana?. Para eso, debemos tener en cuenta que la posibilidad de producir materiales capaces de generar colores vivos y nítidos convirtió los puntos cuánticos en una herramienta fundamental para la creación de pantallas de alta resolución. ¿Ya notaron que actualmente tenemos dispositivos televisores con tecnología QLED? El QLED viene del inglés quantum dot light-emitting diodes. Por lo tanto, televisores con tecnología QLED llevan puntos cuánticos (quantum dots, en inglés) y debido a la presencia de ese material, estas pantallas presentan mejor definición de color y nitidez, brindando una experiencia visual impresionante. Así que los puntos cuánticos descubiertos y desarrollados, mediante investigaciones pioneras de los ganadores del Premio Nobel de Química 2023, desencadenaron un avance tecnológico significativo en la industria electrónica y óptica, impactando directamente y de manera positiva nuestra vida cotidiana. Eso demuestra la importancia de la investigación en la química, en particular en ciencia de los materiales, para la evolución y transformación tecnológica de la sociedad.

# La inspiradora y motivadora experiencia en Seeds for the Future de estudiante de Ingeniería Civil Industrial

*Nicolás Orrego de 23 años, participó siendo reconocido en esta iniciativa de HUAWEI que busca entregar conocimientos y destrezas a la próxima generación de líderes y jóvenes profesionales del área de las TIC.*

Nicolás Orrego tiene 23 años y estudia Ingeniería Civil Industrial en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Confiesa que un día, procrastinando, revisaba la web de la Finarq y se encontró con la nota en que se relata la participación de un joven en un evento de Huawei. Se trataba del "Seeds for the Future, Chile 2022".

Supo que los requisitos tenían relación con conocimientos en inglés, y sin dudar lo postuló. No sólo pasó el filtro de entre 1000 estudiantes, de los que quedaron 100, si no que se dio una historia similar a la del año pasado. Nicolás debió liderar un proyecto que debía ser relatado en 11 minutos. Su destacada labor lo hicieron merecedor de ser elegido uno de los y las 50 estudiantes que vivirían la experiencia del "Seeds for the Future, Chile 2023".

"La experiencia presencial fue maravillosa, no tengo palabras para expresar lo amable, inspirador, motivador y reconfortable que fue, y todas las personas involucradas en el programa, ya que de casi los 1000 estudiantes solo fuimos aceptados 50. Eso me permitió conocer a diferentes personas de distintas universidades (Universidad de Chile, USACH, Universidad Técnica Federico Santa María, etc) y distintas carreras", nos cuenta emocionado el propio Nicolás Orrego.

No es para menos, considerando que además de compartir y nutrirse de sus pares, realizó 4 cursos obligatorios que consistían en 5G, Inteligencia Artificial, Digital Power y Cloud Computing, y que tuvo mentores y expositores de nivel mundial como ingenieros o profesionales del área TIC de diferentes países que profundizaban en los temas a tratar.

Después de todo, y motivados por la inclusión en la sociedad utilizando las ventajas de la tecnología, el último paso lo dio con un nuevo equipo que debió formar, con el que crearon "IncluSign", una App optimizada con IA para traducir textos y audios a lenguaje de señas a través de un Avatar. ¿El resultado? Formalmente escogido como uno de los mejores liderazgos del "Seeds for the Future, Chile 2023".

Logro más que llamativo para que el mismo Nicolás Orrego lance una invitación.

"Creo que los estudiantes de la Universidad Central deberían considerar la opción de postular el siguiente año, ya que fui el único estudiante de la U. Central que fue seleccionado. Y claramente nuestra universidad tiene un potencial enorme. Además, esta instancia permite capacitarse de manera directa con información de nivel mundial y la carrera no es una limitante debido a que pueden postular estudiantes de todas las áreas", cerró el estudiante.

¡Felicitaciones Nicolás!



# LLMs – MODELOS DE LENGUAJE GRANDES

## Una discusión sobre modelos generativos en la academia

Francisco Cruz

Doctor en Ciencias de la Computación



Los Modelos de Lenguaje Grandes (LLMs, por sus siglas en inglés) [1] son modelos de inteligencia artificial que están diseñados para comprender y generar lenguaje humano. Estos modelos son entrenados en vastas cantidades de texto para aprender patrones y estructuras lingüísticas, y luego se utilizan para realizar tareas relacionadas con el lenguaje, como la traducción automática, la generación de texto y la respuesta a preguntas.

Uno de los LLMs más conocidos en la actualidad es GPT (Generative Pre-trained Transformer) [2] desarrollado por OpenAI, que es un enfoque basado en redes neuronales y utiliza la arquitectura Transformer. Estos modelos se denominan “grandes” porque tienen un gran número de parámetros y se entrenan en grandes conjuntos de datos, lo que les permite capturar mejor la complejidad y sutileza del lenguaje humano. Particularmente, ChatGPT es una versión específica de GPT que se ha ajustado y entrenado específicamente para tareas de conversación y diálogo. ChatGPT está optimizado para responder a preguntas y participar en interacciones conversacionales.

Los LLMs han demostrado un gran avance en tareas de procesamiento del lenguaje natural, mejorando la calidad de las traducciones automáticas, la generación de texto coherente y la capacidad de respuesta en conversaciones con chatbots y asistentes virtuales. Sin embargo, también plantean desafíos en cuanto a su consumo de recursos computacionales y la necesidad de grandes conjuntos de datos de entrenamiento, además de su uso ético. Hoy en día existe una creciente preocupación de los riesgos del mal uso de esta herramienta, ya sea para estafas, fakenews o plagio [3].



## El problema en la academia

El uso de ChatGPT en la academia puede plantear algunos desafíos y preocupaciones [4]. Algunos problemas potenciales asociados con su uso incluyen:

- **Fiabilidad y veracidad:** Aunque ChatGPT es capaz de generar respuestas relevantes, también puede producir información inexacta o falsa. Esto puede ser problemático en un entorno académico donde la precisión y la veracidad son fundamentales.
- **Falta de contexto especializado:** ChatGPT es entrenado en una amplia variedad de datos, pero puede carecer de conocimientos especializados o actualizados en campos académicos específicos. Esto significa que puede generar respuestas generales o simplificadas en lugar de abordar cuestiones técnicas o complejas de manera adecuada.
- **Sesgo y falta de imparcialidad:** Los modelos de lenguaje como ChatGPT pueden verse influenciados por los sesgos presentes en los datos de entrenamiento, lo que podría resultar en respuestas sesgadas o discriminatorias. Esto es especialmente preocupante en un contexto académico donde la objetividad y la imparcialidad son relevantes.
- **Ausencia de proceso crítico:** Al utilizar ChatGPT como fuente de información en la academia, existe el riesgo de que los estudiantes y académicos dependan en exceso de las respuestas proporcionadas sin un análisis crítico adecuado. Esto podría afectar la capacidad de los estudiantes para desarrollar habilidades de pensamiento crítico y de investigación independiente.

## Posibles soluciones

Para mitigar los problemas en el uso de ChatGPT, se pueden implementar soluciones como fomentar la verificación y validación de la información generada, promover la educación y conciencia sobre las limitaciones del modelo, utilizar múltiples fuentes de información, recurrir a la validación cruzada y revisión por pares, comprometerse con el desarrollo y auditoría ética, y recopilar comentarios y retroalimentación de los usuarios [4]. Estas medidas podrían contribuir a promover un uso más responsable, crítico y confiable de ChatGPT. Algunas posibles soluciones y enfoques para mitigar los problemas asociados con el uso de ChatGPT particularmente en la academia incluyen:

- **Verificación y validación:** Académicos y estudiantes deben ser conscientes de que ChatGPT puede generar respuestas inexactas o falsas. Por lo tanto, es fundamental la verificación y validación de la información proporcionada por ChatGPT utilizando fuentes adicionales confiables. Fomentar el pensamiento crítico y la capacidad de evaluar la información es esencial.
- **Complemento para recursos académicos confiables:** ChatGPT puede ser utilizado como una herramienta complementaria, pero no para reemplazar fuentes de información académica confiables como bibliotecas, bases de datos especializadas, revistas científicas y otros recursos académicos relevantes para obtener información precisa y actualizada.
- **Entrenamiento especializado:** Existe la posibilidad de adaptar y entrenar modelos de lenguaje como ChatGPT en dominios académicos específicos. Esto permitiría al modelo tener un conocimiento más especializado y actualizado en áreas académicas particulares, lo que mejoraría la relevancia y precisión de las respuestas en esos campos.
- **Transparencia y divulgación de sesgos:** Los desarrolladores de modelos de lenguaje como ChatGPT pueden trabajar en aumentar la transparencia al revelar los conjuntos de datos utilizados en el entrenamiento y abordar el sesgo potencial. La divulgación de sesgos conocidos y la implementación de mecanismos para corregirlos pueden ayudar a mitigar la influencia de prejuicios y promover la imparcialidad.
- **Educación sobre el uso responsable:** Es importante educar a los estudiantes y académicos sobre las limitaciones y posibles problemas de los modelos de lenguaje como ChatGPT. Esto incluye fomentar una comprensión crítica de la información generada por el modelo, promover la verificación y validación de fuentes y fomentar la búsqueda de perspectivas diversas para obtener una comprensión más completa de los temas.
- **Transparencia en el uso:** La transparencia en el uso de ChatGPT implica brindar información detallada sobre el uso de la herramienta, fomentar la revisión y la evaluación independiente, y estar abierto a la retroalimentación de los usuarios y la comunidad académica. Esto ayuda a mantener la responsabilidad y a abordar los desafíos asociados con la confiabilidad, la imparcialidad y la precisión del modelo.

Al implementar estas soluciones y enfoques, el uso de ChatGPT en la academia puede ser más beneficioso y complementario, permitiendo a los estudiantes y académicos aprovechar las ventajas de la inteligencia artificial mientras se mantienen altos estándares de precisión, objetividad y pensamiento crítico.

## El futuro de los LLMs

El futuro de los LLMs es muy prometedor y se espera que continúen desempeñando un papel importante en diversas aplicaciones. No cabe duda que los modelos LLMs llegaron para quedarse, y particularmente en la academia se espera que posean un rol protagónico en los próximos años. Sin embargo, también se espera que los LLMs incluyan mejoras en la capacidad de comprensión y generación de texto, especialización en dominios específicos, integración con fuentes confiables, diálogos más sofisticados y un enfoque en la ética y la responsabilidad.

Un modelo LLM especializado en dominios y conocimientos específicos podría ser capaz de proporcionar respuestas más precisas y contextualmente relevantes en campos académicos especializados como medicina, derecho, ciencias, tecnología, etc. Por otra parte, es urgente poner énfasis en posibles mejoras para abordar el sesgo, garantizar la transparencia, mejorar la explicabilidad y fomentar la responsabilidad en su utilización.

**Nota del autor:** Esta columna de opinión ha sido parcialmente generado utilizando ChatGPT. ¿El lector ha sido capaz de identificar dónde? La discusión está abierta y es bienvenida.

## Referencias

- [1] Zhao, W. X., Zhou, K., Li, J., Tang, T., Wang, X., Hou, Y., ... & Wen, J. R. (2023). A survey of large language models. arXiv preprint arXiv:2303.18223.
- [2] Kashyap, R., & OpenAI, C. (2023). A First Chat with ChatGPT: The First Step in the Road-Map for AI (Artificial Intelligence).
- [3] Bahrini, A., Khamoshifar, M., Abbasimehr, H., Riggs, R. J., Esmaeili, M., Majdabakhone, R. M., & Pasehvar, M. (2023). ChatGPT: Applications, Opportunities, and Threats. arXiv preprint arXiv:2304.09103.
- [4] Rahman, M. M., & Watanobe, Y. (2023). Chatgpt for education and research: Opportunities, threats, and strategies. Applied Sciences, 13(9), 5783.

# Semblanza

➤ **Silvana Zúñiga Valdes** más conocida como Anima Hop es una artista visual y gestora cultural que actualmente vive y desarrolla su trabajo visual bajo los cielos estrellados más observados, inspiradores y poéticos del mundo; San Pedro de Atacama. Su especialización artística está relacionada con la astronomía, encontrando en las investigaciones científicas de los principales observatorios del mundo su inspiración para la representación y divulgación de los astros.

Anima en los últimos años se ha desenvuelto en la especialización astronómica con varios centros de investigación, universidad y organizaciones, logrando posicionarse como artista visual dentro de la ciencia y del mundo de la astronomía con el desarrollo de diferentes exposiciones visuales, murales y productos. También ha organizado simposios, concursos y exposiciones colectivas, impulsando a otros artistas visuales con intereses en la astronomía a acercarse al trabajo colaborativo e interdisciplinar de la pintura astronómica.

Actualmente se encuentra desarrollando su trabajo de gestión cultural en la biblioteca pública de San Pedro de Atacama, único espacio de divulgación cultural estatal de la comuna y de forma paralela su trabajo artístico visual con importantes colaboraciones de arte, divulgación y mediación con el observatorio ALMA.



## Entrevista

### ¿Quién o qué la inspiró para seguir una carrera en STEAM?

Me comenzó a gustar la astronomía y fue ahí cuando empecé a ir a charlas gratuitas y todo lo que había de libre acceso, después de unos meses este tema me inspiró a representar los astros en mis pinturas, pero la verdad es que no tenía idea lo que era STEAM ni lo significativo que sería para mí dar este paso de conexión del arte y la ciencia.

### ¿Cómo se siente siendo una mujer en un mundo predominante por hombres?

A veces es un poco frustrante ver cómo les dan más oportunidades a hombres que a mujeres en muchos ámbitos, no solo en la ciencia, además en el arte y en varias disciplinas, donde la mayoría de los centros de pensamiento, culturales y de investigación están liderados por hombres. Desde mi carrera como artista visual he sentido la discriminación solo por el género y/o por tener un propuesta visual distinta a las temáticas tradicionales del arte.

### ¿Cuáles son los principales desafíos que ha enfrentado como tal?

Dentro de los principales desafíos que he tenido como artista está el largo camino en la búsqueda de oportunidades y apoyos, ya que cuando comencé no se había incluido o desarrollado de forma integral en nuestro país el arte con la ingeniería, la matemática y la tecnología.

Si hablamos de proyectos STEAM debería estar el arte incluido sin lugar a duda, pero hay una discriminación dentro de las mismas áreas dejando afuera al arte. Por otra parte, ha sido también un proceso de empoderamiento el tener que luchar para que se respete y valore mi trabajo artístico y su integración con las demás áreas de STEAM.

### ¿Cómo ha superado los prejuicios y estereotipos sexistas en su carrera?

En un comienzo tuve el gran apoyo en mi primera colaboración con la astronomía fue con una gran mujer Erika Labbé, ella me recibió y acompañó en mis inicios y solo tuve que luchar contra el estereotipo

del artista, desordenado, irresponsable, etc. Pero cuando seguí colaborando con otras instituciones me di cuenta que sí había un trato distinto con algunos hombres que estaban en la cabeza de proyectos de investigación, ahí fue a veces difícil y otras veces imposible de llegar a un acuerdo, ya que se menospreciaba mi trabajo (no querer pagar lo que vale o simplemente no pagar) y también la poca credibilidad que tenían en mí algunos de ellos, que preferían simplemente no realizar el proyecto.

Por suerte me he mantenido fuerte y constante con mi postura de indagar en proyectos interdisciplinarios y también la mayoría de veces me ha tocado trabajar con mujeres, que son las que más se encargan de los departamentos de comunicaciones de los observatorios o instituciones, ahí se puede ver que, en la astronomía, existe el prejuicio de que sólo las mujeres están interesadas o motivadas en llevar equipos de divulgación, o en hacer divulgación.

También me ha tocado pasar por otras situaciones mucho más sexistas, donde hay bromas o comentarios inadecuados, de personas que tienen una mentalidad ob-

soleta, que de verdad me ha sorprendido que sigan pensando así a pesar de todo lo que ya se ha comenzado a culturizar sobre estos temas.

### ¿Qué cree que se debería hacer para promover el liderazgo femenino en el área científica?

Primero y lo más importante es tener buenas referentes, es decir, destacar a las científicas que ya existen, que tienen carreras larguísimas y con trayectorias hermosas de investigación, y que han sido un aporte para la ciencia. Sin referentes como estos, las niñas nunca podrán ver la posibilidad de que se conviertan en una mujer con liderazgo o en una mujer científica.

También es importante que se realicen campañas de educación o mentorías donde haya encuentros entre científicas y niñas o adolescentes. Yo trabajo mucho con niñas y niños, y siempre, siempre hay personitas interesadas en las ciencias o en la astronomía. Es tarea de nosotros que descubramos cuáles son las niñas que están buscando desde ya ese camino, acompañarlas y mostrarles que es posible realizar una carrera científica, a pesar de todas las barreras que existan, que sí se puede y que no estarán solas en ese trayecto de seguir sus sueños.

### ¿Cuál ha sido el impacto de la ciencia en su vida personal?

Wow, para mí la ciencia es algo muy importante en mi vida, vengo de una carrera artística, y en la búsqueda de un lenguaje visual propio y que me identificara, llegué a la astronomía, una vez ya vinculada en esta ciencia mi vida cambió completamente.

Crecí primero como persona, tratando de derribar ese estereotipo de artista loca, cuidé de mi imagen, de ser súper responsable, con mis horarios y mis compromisos, comencé a estudiar mucho, la astronomía no solo me trajo hasta esta ciencia del espacio, sino que también a la biología, la química y la física que me fascina, entre otras, y ya sin darme cuenta me había transformado en un referente y un apoyo para los equipos de divulgación, llegué a lugares que eran un sueño para mí, como lo es el observatorio ALMA, o ir a hablar de mi trabajo en la Astrosociety de San Francisco, California, y hoy colaboro con ellos en varios proyectos y que, siendo artista, nunca me imaginé poder estar trabajando o visitando lugares tan importantes para el desarrollo del conocimiento científico y humano. Hoy miro hacia atrás

y en verdad creo que no me arrepiento de haber comenzado este camino y que si tengo que volver a elegir, seguiría sin duda alguna vinculando la ciencia desde el arte.

### ¿Qué consejo le daría a las mujeres jóvenes que desean convertirse en científicas?

Que luchen por sus sueños y que nada es imposible. Yo nunca me imaginé llegar a donde estoy y este camino me ha dado muchas sorpresas. A pesar de las adversidades es muy importante perseverar, si están confundidas entre algunas carreras, que se focalicen en lo que más les gusta y que no se detengan, pase lo que pase, a pesar que avancen poco, hay que seguir creando, estudiando, investigando, informando, lo que quieran, pero que no lo dejen de hacer. Porque nos damos cuenta que si somos constantes con algo, nos iremos perfeccionando en ese tema, e iremos creciendo cada vez más en ello y a veces el tiempo pasa súper rápido, sin notarlo y ya vamos a haber estado un buen tiempo persiguiendo eso que nos gusta, haciendo lo que nos gusta.

Si bien sabemos que no es un camino fácil, también les recomendaría que tengan una buena red de apoyo de mujeres que hagan lo mismo, para que puedan acompañarse y darse algunas recomendaciones o simplemente para hacer cosas junto a otras mujeres, para ayudarnos a crecer y triunfar entre todas, los grupos de amistades o colegas siempre serán un apoyo fundamental para su crecimiento profesional, así es que también les recomiendo eso, rodearse de gente linda que tengan un pensamiento muy parecido. Y por último, no se dejen vencer, busquen las herramientas y los caminos para que concreten ese sueño de ser lo que quieran ser, sin importar lo que diga el resto.



# Investigador brasileño se adjudica Fondecyt de postdoctorado en la Finarq de la Universidad Central de Chile

*Denilson Toneto, Doctor en Física de la Universidad Federal de Santa María, Brasil, está desarrollando estudios experimentales sobre el comportamiento magnético de estructuras topológicas, como Postdoctorado Fondecyt en la Finarq.*



Desde el 21 agosto, el Dr. Denilson Toneto está desarrollando su proyecto de investigación Fondecyt de Postdoctorado 3230687 en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, proyecto titulado "Observación directa de las propiedades de skyrmions tipo Néel en nanoestructuras con distintas geometrías y en cristales artificiales" y que fue patrocinado por el Dr. Juan Luis Palma, Director del Instituto de Investigación y Postgrado y profesor titular de la Facultad.

Esta incorporación fortalece la investigación en física teórica y experimental, es por eso que para conocer mayor detalle de la importancia de este hecho, nos acercamos al Dr. Toneto para preguntarle sobre el trabajo que está desarrollando y su impacto en la comunidad científica y en la centralina.

## ¿En qué consiste la posición postdoctoral que realizan?

La posición postdoctoral es para estudiar y llevar una investigación acerca de nano-ímanes. Se busca estudiar el confinamiento de texturas magnéticas, como sistemas de skyrmions que están protegidas topológicamente, no se pueden alterar fácilmente, y por lo tanto son candidatos para acarrear información magnética. También se estudiarán comportamientos colectivos de la magnetización para sistemas de almacenamiento y procesamiento de datos.

## ¿Qué aportes o resultados entrega o entregarán?

Se espera entender los efectos del confinamiento de texturas magnéticas topológicamente protegidas. Además, se espera entender las interacciones entre cargas magnéticas en arreglos de nanoimanes. Ambas conclusiones son necesarias desde el punto de vista de la manipulación de información, ya que hoy nos enfrentamos a dos desafíos tecnológicos, el primero es que se necesita aumentar la velocidad de almacenamiento y lo segundo es que se necesita aumentar la capacidad de almacenamiento y de procesamiento de datos. Lo primero se puede lograr con campos magnéticos inmensos que necesitan de maquinaria que mide metros, o por medio de pulsos ultracortos, que tiene que ver con el último premio Nobel de física. Sin embargo, ninguna de estas posibilidades es viable si no se entiende el comportamiento colectivo de la magnetización y la forma de controlar las texturas magnéticas en nanoestructuras.

## ¿Qué espera de su trabajo y cuál cree que será el impacto para la investigación de la Finarq y de la U. Central?

Yo vine a Chile por las oportunidades económicas y de factibilidad de desarrollo de proyectos. Además, mi advisor, el dr. Juan Luis Palma tiene una red de investigación muy grande y acceso a maquinarias en otras instituciones que se complementan para poder realizar este tipo de investigaciones de vanguardia. Esto es muy importante ya que para hacer experimentos en magnetismo. en materia condensada se necesitan laboratorios muy costosos, y maquinaria de las más complejas en ciencia. Yo espero aprender

a utilizar el equipamiento complejo y obtener habilidades experimentales que me permitan posicionar mi investigación de aquí en adelante. Este proyecto, además, le dará un plus a la Universidad Central entre las Universidades del medio local e internacional lo que podría considerar elevar las publicaciones científicas.

## Como investigador, ¿qué aspectos viene a abordar/reforzar?

Principalmente, vengo a hacer investigación, y aumentar los índices de investigación de la institución. Así como publicaciones, participación en congresos, charlas entre otras cosas. Pero el foco principal, es llevar a cabo mi proyecto de investigación para poder asentarme bien como investigador.

## ¿Qué aporte busca entregarle a las carreras y/o Facultad?

Espero en un futuro, poder guiar trabajos de tesis, ahora estamos trabajando con Marla, una estudiante que busca hacer su tesis en la programación de las simulaciones micromagnéticas de estos sistemas. Espero seguir aportando a los y las tesis que quieran realizar una tesis un poco más científica.

## ¿Cómo evalúa la Universidad?

Es muy temprano para evaluarla, pero me gusta mucho el ambiente laboral. El equipo de personas que trabaja en el Instituto de Investigación y Postgrado tiene un muy grato ambiente y son muy proactivos y colaborativos. Además, aprendo mucho de cada uno porque manejan áreas que son complementarias, y se retroalimentan mucho. Siento que mi estadía será muy fructífera y la pasaré muy bien.

## “Destacado científico nacional se integra al Instituto de Investigación y Postgrado de la FINARQ”

*El Profesor Eugenio Vogel, Dr. en Física de la Universidad Johns Hopkins, Estados Unidos, académico con más de 50 años de experiencia en investigación en física del estado sólido se integra al Instituto de la FINARQ*

Desde noviembre de este año el Dr. Eugenio Vogel se integró al Instituto de Investigación y Postgrados de la Facultad para colaborar en las líneas “Nanotecnología, nanomateriales y nanoestructuras” y “Energía sustentable, electroquímica y estructura molecular” del Instituto.

El Profesor Vogel, Dr. en Física de la Universidad Johns Hopkins, Estados Unidos, es experto en el área de física de la materia condensada y física estadística, en efecto posee más de 120 artículos científicos publicados en revistas indexadas en Web of Science (WoS) con más de un



millar de citas. Además, es autor de tres libros, fue editor de la “Revista Mexicana de Física” de WoS y ha participado como referee de diferentes revistas científicas internacionales WoS.

El Dr. Eugenio Vogel cuenta con más de 50 años de experiencia en la academia donde se ha adjudicado proyectos de investi-

gación Fondecyt en forma continua desde 1984 a la fecha; cabe mencionar que su proyecto Fondecyt actual tiene vigencia hasta 2027. Igualmente, ha sido científico de Núcleos Científicos Milenio desde 1999 y actualmente participa del Proyecto de Financiamiento Basal: Centro para el Desarrollo de la Nanociencia y Nanotecnología (CEDENNA), proyecto en el cual también participa el Dr. Juan Luis Palma, director del Instituto de la FINARQ.

Sumado a lo anterior, El Prof. Vogel a lo largo de su carrera profesional ha recibido varias distinciones y premios, destacando entre ellas la Fulbright Award en Estados Unidos, la medalla de la Sociedad Chilena de Física, la “Medalla Rectoría” de la Universidad de La Frontera y el “Doctorado Honoris Causa” de la Universidad Nacional de San Luis, Argentina.

Sin duda la incorporación del Dr. Vogel al Instituto de la FINARQ, fortalecerá la investigación y enriquecerá la carrera científica de los investigadores jóvenes.

## Instituto de Investigación y Postgrado organiza charla sobre robots móviles, controles automáticos y sistemas dinámicos

*El profesor Rafael Castro, académico e investigador del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional de México, ofreció dos charlas como parte del Proyecto FONDECYT 1190959 del docente e investigador, Manuel Duarte de la Finarq.*

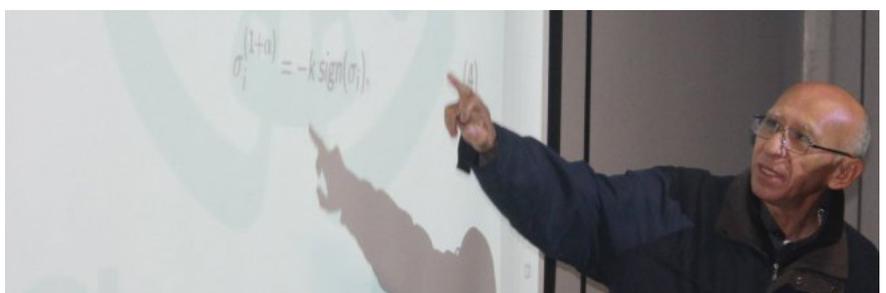
El Instituto de Investigación y Postgrado organizaron un ciclo de charlas sobre robots móviles, controles automáticos y sistemas dinámicos dictadas por el profesor Rafael Castro, académico e investigador del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional de México.

La visita se da financiada por el Proyecto FONDECYT 1190959 del docente e investigador, Manuel Duarte, quien sostuvo reuniones técnicas y académicas con el profesor Castro.

Según comentó el profesor Duarte, este ciclo abordó, entre otras temáticas como la de un “controlador por modos deslizantes de orden fraccional para mantener la formación con sincronización de un gru-

po de robots móviles terrestres. El controlador propuesto permite que un grupo de robots móviles terrestres siga una trayectoria dada mientras mantienen la formación con sincronización”.

Por lo mismo el investigador de la Finarq agrega que “esta actividad es de suma importancia para nuestra Facultad y Universidad, ya que nos permite estar al tanto de los últimos adelantos en investigación sobre la temática del control automático de sistemas dinámicos empleando técnicas avanzadas de control tales como el control de orden fraccionario y adaptable”.



# Semblanza



## ➤ Natacha Pino Acuña

Ingeniera Civil Industrial en la Universidad de La Frontera. Magíster en Ingeniería Avanzada.

Producción Logística y Cadena de Suministro en la Universidad Politécnica de Valencia.

En la Universidad de Aysén, desde noviembre de 2018, se desempeñaba como jefa de la carrera de Ingeniería Civil Industrial. Constituyéndose en septiembre de 2019 en la primera mujer electa rectora por sus pares en una universidad chilena.

Desde abril 2021, asume como rectora encargada de la Comisión de Igualdad de Género del Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas (CRUCH), compuesta por 29 universidades desde donde se busca abordar las desigualdades de género existentes en los contextos universitarios; prevenir el acoso sexual, la violencia de género y las discriminaciones sexo-genéricas; y promover buenas prácticas, contribuyendo al desarrollo de un modelo de educación no sexista. Además, es miembro de la Red de Investigadoras de

Chile (RedI), que reúne a más de 180 investigadoras/es en pro de la equidad de género en la investigación en todos los ámbitos del conocimiento.

En agosto de 2022, fue elegida, de manera unánime, como la primera presidenta de la Agrupación de Universidades Regionales, anteriormente se había ya desempeñado como vicepresidenta de la misma agrupación, constituyéndose como la primera mujer en conformar parte del Directorio, desde donde impulsa la línea Universidad y Territorio, buscando posicionar a las universidades como un actor clave en el desarrollo de las Regiones; en la misma línea es parte del Comité Especial de Desarrollo Regional, al alero del Consejo de Coordinación de Universidades del Estado, junto a otros cuatro rectores de universidades estatales de regiones y zonas extremas del país.

En el transcurso de su carrera académica, ha realizado docencia en pre y postgrado, además ha participado en grupos de investigación y liderado proyectos de interés local y regional vinculados al entorno.

Entrevista

### **¿Quién o qué la inspiró para seguir una carrera en STEAM?**

Desde niña me cautivaron los números y las matemáticas, esto porque mis padres son profesores de matemáticas y por lo tanto siempre me inculcaron esa curiosidad no sólo por los números sino por la ciencia. Los juegos de química, los experimentos, la física, la programación, recuerdo el lenguaje logo en los 80 o programar en basic, todo esto en un computador muy básico. Cuando llegó el momento de decidir, sabía que sería alguna ingeniería y tuve de referente a un buen amigo de la infancia que estudiaba la carrera de Ingeniería Civil Industrial mención Informática y me comentó de que se trataba y me pareció interesante.

### **¿Cómo se siente siendo una mujer en un mundo predominante por hombres?**

Me siento bien, me siento cómoda. Creo que desde los tiempos de universidad, en que efectivamente las estudiantes de ingeniería no éramos más del 20% cosa que en la actualidad continúa siendo una brecha muy marcada, me he sentido así, ocupando un espacio de hombres pero siempre con la convicción que las mujeres tenemos las mismas capacidades y podemos sacar las mismas tareas adelante. Luego en el campo laboral, poco a poco fui adquiriendo experiencia en liderar proyectos, impulsar iniciativas y ocupar cargos de jefatura o dirección. Lo anterior no fue fácil, porque en primer lugar muchas veces fui de las más jóvenes en los equipos y además mujer, se mezclan los sesgos y prejuicios: ¿Cómo esta mujer, joven con poca experiencia lo podrá hacer?, ¿lo podrá lograr?, y bueno finalmente apoyándonos entre las propias colegas mujeres y colegas hombres que confían y se permiten ser liderados por mujeres y que construyen un camino junto a estas lideresas se logra avanzar, pero ciertamente aún hay muchas brechas que romper.

### **¿Cuáles son los principales desafíos que ha enfrentado como tal?**

Los desafíos son varios, uno de ellos es romper esa sensación de tener que validar todas las acciones. Hay muchos prejuicios sobre las capacidades y herramientas que las mujeres tenemos para asumir un rol de liderazgo y toma de decisiones en un espacio masculino, surgen muchas preguntas inicialmente que debes responder. Como por ejemplo: cómo conciliar la vida laboral con la vida familiar, preguntas que seguramente a un científico o líder masculino no se lo preguntarían. Otro desafío importante es tener un estilo propio que sea equilibrado, que sea cercano, que permita la escucha y al mismo tiempo tenga voz de mando, las relaciones interpersonales creo es lo más complejo.

### **¿Cómo ha superado los prejuicios y estereotipos sexistas en su carrera?**

Primero, reconociendo e identificando estos prejuicios o estereotipos, luego reflexionando acerca de cómo se construyen las relaciones, cómo generamos desde estas prácticas relacionales patrones más o menos sexistas. La igualdad de oportunidades es un cambio relacional. Es desafiarse no solo a comprender los estereotipos, como los construimos, sino avanzar hacia nuevas formas de relacionarnos, libre de prejuicios y estereotipos.

### **¿Qué cree que se debería hacer para promover el liderazgo femenino en el área científica?**

Creo que el camino es comunicar, visualizar, divulgar a las científicas de nuestro país, en todas las áreas del conocimiento. Que sea común conocer lo que investigan, lo que descubren, lo que hacen y todo lo que significa posicionarse en un espacio tan masculino, desde la investigación. Además de incentivar desde temprana edad que las niñas pueden ser científicas, que les sea un lenguaje común. En ese sentido es bueno tener referentes, desde la educación superior acercarnos al nivel escolar con nuestras académicas e investigadoras para que conozcan el quehacer investigativo y al mismo tiempo acompañar el camino de las estudiantes de pregrado al iniciarse en la investigación, siendo parte de equipos de proyectos, participando de congresos y compartiendo experiencias con sus pares.

### **¿Cuál ha sido el impacto de la ciencia en su vida personal?**

Bueno, la ciencia siempre ha estado presente sobre todo porque en el ámbito universitario la tenemos muy cerca, cada día buscando y generando nuevos conocimientos que permitan entregar una posible solución a necesidades reales. El impacto es muy alto cuando se es consciente de la importancia de hacer ciencia, desde cada uno de los espacios universitarios, centros de investigación, experimentación y más aún cuando es ciencia pertinente a los territorios donde nos encontramos.

El impacto científico es el efecto producido por la novedad y el aporte teórico-práctico de los nuevos conocimientos como resultado del proceso investigativo, los cuales son aceptados y divulgados a través de diferentes publicaciones oficiales, reconocidos y citados por la comunidad nacional e internacional.

### **¿Qué consejo le daría a las mujeres jóvenes que desean convertirse en científicas?**

Que todo es posible cuando te lo propones, no es un camino fácil y tampoco existe una receta o un único camino, pero lo importante es que si tienen inquietud por el ámbito científico, se acerquen a sus profesoras y profesores, la invitación es a no decaer aunque parezca difícil. Apoyarnos en nuestras pares es importante y cada día hay más espacios para eso, redes académicas, de jóvenes científicas etc.

# Instituto de Investigación y Postgrado de la FINARQ recibe la visita de investigador del Instituto de Ciencia Materiales de Madrid

*Durante una semana nos visitó el Dr. Rafael Pérez, investigador titular del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, ICMM-CSIC, experto en estudios experimentales sobre procesos de imanación a escala nanométrica.*

Desde el 11 al 15 de octubre nos visitó el Dr. Rafael Pérez del Real, investigador titular del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, ICMM-CSIC, quien fue invitado por el Dr. Juan Luis Palma, Director del Instituto de Investigación y Postgrado de la FINARQ a través sus proyectos Fondecyt y del proyecto Basal asociado al centro CEDENNA.

Rafael Pérez del Real es Dr. en Física por la Universidad Complutense, su investigación la ha desarrollado en el ámbito de magnetismo en materia condensada, en el Grupo de nanomagnetismo y procesos de imanación, GNMP del ICMM. El GNMP es un grupo interdisciplinar cuya actividad principal es el estudio experimental y teórico de las estructuras magnéticas y la dinámica de imanación. Entre estos estudios, destacan aquellos en nanohilos magnéticos, campo en el que este grupo es referente a nivel mundial, como por ejemplo el trabajo sobre nanohilos modulados en diámetro o multicapa se han encontrado estructuras de dominio complejas para aplicaciones tecnológicas como sensores. Otras líneas del grupo, en el que pertenece el Dr. Pérez del Real, incluyen la dinámica de estructuras magnéticas bajo campo, corriente, radio-frecuencia y temperatura, en las simulaciones atomísticas y micromagnéticas de estructuras magnéticas, dinámica de imanación ultra-rápida y efectos térmicos. Además, el grupo mantiene una línea de fabricación de elementos sensores basados en microhilos apoyada por distintos proyectos con empresas.

Debido a que el Dr. Pérez del Real y su grupo del ICMM poseen experiencia en Microscopía de Fuerzas Magnéticas y Dicroísmo Circular Magnético para caracterizar procesos de inversión de imanación en la nanoescala, su visita fue ideal para que el investigador conociera el microscopio de fuerza atómica (AFM), JUPITER

XL-OXFORD de la FINARQ y entablara colaboraciones con los investigadores Dr. Juan Luis Palma, Dr. Alejandro Riveros y Dr. Felipe Tejo en nanoestructuras magnéticas.

La visita a los laboratorios de la UCEN y el CEDENNA sirvió para conocer las potenciales colaboraciones que se pueden generar entre el ICMM y el Instituto de Investigación y postgrado FINARQ.

Finalmente, la visita del Dr. Pérez del Real culminó con una charla magistral titulada "Cylindrical Micro and Nanowires: Geometry, Magnetization and Applications", donde el investigador resumió las principales características de hilos magnéticos, incluyendo técnicas para su fabricación y caracterización de sus propiedades magnéticas, junto con el uso de microhilos y nanohilos en aplicaciones de sensores, o en aplicaciones de biomédica, como en el tratamiento de cáncer, o en agentes de contraste para imágenes por resonancia magnética (MRI). La charla fue realizada en el auditorio (Salon Rojo) del campus Gonzalo Hernández Uribe de la Universidad donde asistieron estudiantes e investigadores de diferentes universidades de Santiago.



## “Universidad Central organizó congreso internacional en Chile sobre magnetismo junto a prestigiosas instituciones del país”

*Entre el 16 al 20 de octubre se celebró el LAW3M en el sur de Chile, un importante congreso internacional sobre el área de magnetismo donde participaron investigadores del Instituto de Investigación y Postgrado de la FINARQ como organizadores y como expositores.*



Luego de siete años se retomó la organización de la serie de congresos Latinoamericanos en Magnetismo y Materiales Magnéticos (LAW3M). La XII edición de este congreso internacional fue celebrada en Chile en Puerto Varas entre el 16 y 20 octubre. El LAW3M es la más importante conferencia en América Latina del área magnetismo que reúne a estudiantes, investigadores y académicos de todo el mundo, incluyendo la participación de reconocidos científicos. “Es una oportunidad única para presentar a la comunidad científica investigaciones de vanguardia desarrolladas por investigadores latinoamericanos y genera nuevas oportunidades de colaboraciones entre países de la Asociación Magnética de Latinoamérica (LATAM), entre los cuales destacan Chile, Argentina, Colombia y Brasil, brindando más oportunidades a nuestros estudiantes y postdoctorados de visitar otros laboratorios en la región” comenta el Dr. Juan Luis Palma, director del Instituto de Investigación y Posgrado de la FINARQ y presidente de la IEEE Magnetics Society Chile Section, quien participó en la comisión organizadora en conjunto con investigadores de destacadas instituciones del país. Además, este evento contó con tres

presentaciones de integrantes del instituto de investigación y postgrado FINARQ, del Dr. Denilson Toneto, del Dr. Juan Luis Palma y se destaca la charla sobre aplicaciones tecnológicas en nanodiscos magnéticos del Dr. Alejandro Riveros.

“En esta oportunidad 4 Universidades y un Centro de Investigación fueron los organizadores de la conferencia. Para la organización del evento se unieron universidades como la Universidad Central

de Chile, la Universidad Técnica Federico Santa María, la Universidad de la Frontera y la Universidad de Santiago de Chile. Además, contamos con la participación del Centro para el Desarrollo de la Nanociencia y la Nanotecnología, el centro de nanotecnología más importante de Chile” menciona el Director del Instituto de la FINARQ.

Este es el quinto evento organizado por la Universidad Central de Chile a través de la IEEE Magnetics society desde el 2019, y contó con la participación de 112 científicos, con una participación de 22% de mujeres, desde instituciones de América, Europa y Asia, incluyendo charlas plenarias de destacados profesores que investigan en el área del magnetismo y charlistas distinguidos de la IEEE Magnetics Society como Dra. Susana Cardoso, Manuel Vázquez, j. Ping Liu, Yichihiro Tanak, Brurkard Hillebrands y Antonio Azevedo. 66 Charlas fueron presentadas en la conferencia, con 32 contribuciones orales, 28 charlas invitadas y 6 charlas de plenarios. El congreso fue patrocinado por 6 instituciones levantando aportes que superaron los 10.000 USD. Instituciones como IEEE Magnetics Society, ALMA (Asociación Latinoamericana de Magnetismo), revistas como Journal Of Magnetism and Magnetic Materials, y empresas como Quantum Design, VSA Lab, y Thor Labs, patrocinaron el evento.





Universidad  
Central

PROGRAMA  
**ADVANCE**  
ADMISIÓN 2024

ESTRENA TU TEMPORADA CON UNA  
**NUEVA CARRERA**

**INGENIERÍA  
COMERCIAL**

MODALIDAD

**Online**

**Grado Académico :**  
*Licenciado/a en Ciencias  
de la Administración*

