

La incorporación de un microscopio electrónico de transmisión de alta resolución, fue un importante paso que dio la FCFM en el avance del estudio de nanopartículas en diversos materiales, siendo el cobre uno de los más recurrentes en las investigaciones que hoy se llevan a cabo y cuyos resultados otorgarán valiosos aportes al país con respecto a las aplicaciones de este metal.

El análisis y comprensión de la estructura de los materiales es un aspecto fundamental para marcar la diferencia al momento de desarrollar innovaciones tecnológicas, sobre todo, si se considera que una parte significativa de la industria de alta tecnología se basa en la nanotecnología.

Teniendo presente la importancia de la investigación de nanopartículas, la FCFM de la U. de Chile, en su propósito de ir a la vanguardia en el desarrollo de investigación de punta, cuenta con un moderno microscopio de transmisión electrónica -el más avanzado

## Microscopio electrónico de transmisión de alta resolución

# Hacia el desarrollo de la nanotecnología

de su tipo- cuyas aplicaciones contribuirán a lograr importantes avances, particularmente en la ciencia de los materiales.

Se trata de un microscopio electrónico de transmisión de alta resolución marca FEI modelo Tecnai F20 de 200 kV, con cañón de electrones de emisión de campo, analizador EDS, módulo STEM y una resolución entre puntos de 0,24 nm (un nanómetro equivale a la millonésima parte de un milímetro). De los países ubicados al sur de México, Chile fue el primero en tener un equipo de estas características siendo el de nuestra Facultad el único existente en el país; recién en 2006 Brasil adquirió uno, siendo hasta hoy los únicos países de la región que cuentan con una tecnología de estas características, que permite observar materia a nivel de átomos y moléculas.

La adquisición del microscopio -cuyo valor aproximado es de US\$ 1.300.000- fue posible gracias al financiamiento obtenido a través de un proyecto MECESUP que se adjudicó la "Red Nacional de Programas de Doctorados en Ciencias de los Materiales", dirigido por el profesor del Departamento de Física de nuestra Facultad, Fernando Lund e

integrado por los Programas de Ciencias de los Materiales de la Universidad de Chile y de la Universidad de Santiago y el Programa de Física de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Ubicado en el zócalo del Departamento de Geología de la FCFM, los principales beneficiados con este equipo son los estudiantes de los Programas de Doctorados de la Red, investigadores de Chile y Latinoamérica y alumnos de pregrado, en especial de los Departamentos de Mecánica, Ciencia de

La FCFM de la U. de Chile cuenta con un moderno microscopio de transmisión electrónica cuyas aplicaciones contribuirán a lograr importantes avances, particularmente en la ciencia de los materiales.

los Materiales y Geología. Su incorporación ha significado potenciar significativamente la docencia e investigación en el área de materiales.

La mayoría de los proyectos en que hoy se utiliza el microscopio, tienen que ver con explotar su capacidad de estudiar estructuras nanométricas en los materiales y, sobre todo, en materiales con base de cobre, contribuyendo así a resolver diversos problemas de nanociencia vinculados a la principal riqueza de nuestro país. De hecho, varias de las investigaciones actualmente en curso traerán importantes beneficios al posibilitar la creación de nuevas aplicaciones para este metal.

### CONOCIENDO A FONDO LAS NANOPARTÍCULAS

Sin embargo, las investigaciones que hoy se llevan a cabo con el microscopio no se enmarcan en una sola línea, según explica Alejandro Zúñiga, académico del Departamento de Ingeniería Mecánica y Coordinador Académico del Laboratorio, "se están analizando nanopartículas de distinta naturaleza: materiales compuestos nanoestructurados, materiales amorfos e inclusive nanopartículas aplicadas a biología".

Uno de los trabajos que actualmente realiza el profesor Zúñiga se relaciona con el estudio

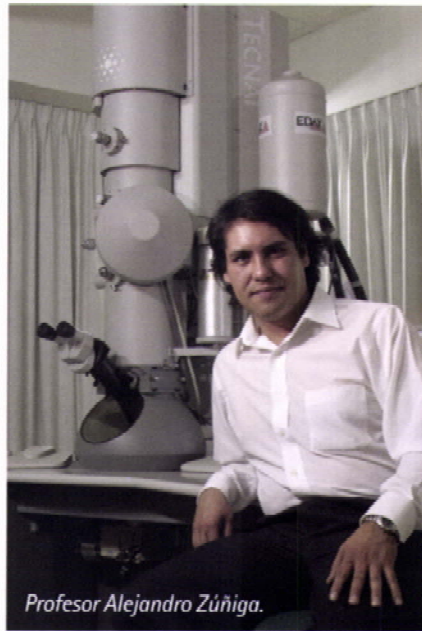
de materiales amorfos en base a cobre "que son estructuralmente casi como un vidrio, con propiedades mecánicas y físicas muy particulares que en su mayoría dependen de su estructura a nivel atómico. El interés por estudiar y comprender esa estructura es poder predecir su comportamiento mecánico".

Explica que la industria asociada a materiales amorfos como los vidrios metálicos en base a zirconio ha desarrollado aplicaciones para sistemas específicos, por ejemplo, palos de

"Ya hemos encontrado muchísimos tipos de nanopartículas, que son capaces de llegar hasta los pulmones y hay planes de incorporar a gente de la Facultad de Medicina para que trabaje con nosotros"

golf de gran eficiencia capaces de transferir la energía mecánica hacia la bola en casi un cien por ciento. Asimismo, señala que una de las ventajas de las aleaciones amorfas en base a cobre es que son, por lo menos, dos veces más resistentes que las convencionales, ya que soportan altos esfuerzos antes de deformarse plásticamente y presentan otras propiedades físicas interesantes como resistencia a la corrosión. "En este sentido, mi proyecto es más bien exploratorio, trata de desarrollar estas aleaciones y estudiar su estructura, ya que todavía no se comprende muy bien cómo se comportan (deforman) y cómo ese comportamiento repercute en sus propiedades mecánicas o físicas. Y de comprobarse algunas propiedades de este material, como la alta resistencia a la corrosión, incluso podría competir en ciertas aplicaciones con el acero".

Otra de las investigaciones en que trabaja Zúñiga, en conjunto con el académico del



Profesor Alejandro Zúñiga.

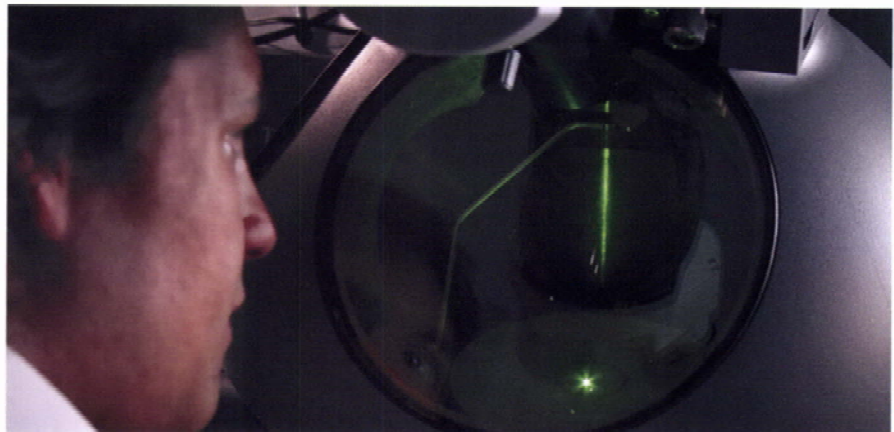
Departamento de Ingeniería Mecánica, Mauricio Osses, es en el estudio de material particulado generado por vehículos pesados que operan con combustible diesel, con el objetivo de estudiar las características físicas y químicas de partículas ultrafinas emitidas en el proceso de combustión interna del diesel, para posteriormente entregar antecedentes sobre la toxicidad de estas partículas en organismos vivos.

Y para lograr este objetivo parte importante del estudio se desarrolla en el Laboratorio de Microscopia Electrónica de Transmisión,

donde se han analizado una gran cantidad de nanopartículas. "Ya hemos encontrado muchísimos tipos de nanopartículas que son capaces de llegar hasta los pulmones y hay planes de incorporar a gente de la Facultad de Medicina para que trabaje con nosotros, procesando la información que recopilamos para establecer cuál es el impacto de esas partículas en la salud", explica Zúñiga.

En este sentido, el académico destaca que la utilización del microscopio no se adscribe exclusivamente al ámbito de la ingeniería. "Por ejemplo con el profesor Marcelo Kogan de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas estamos iniciando una colaboración de investigación para estudiar nanopartículas que se adhieren selectivamente a ciertas estructuras del cerebro que tendrían incidencia en el alzheimer. El objetivo, es que después se puedan manipular esas nanopartículas de modo de poder tratar este mal y otras enfermedades similares. Y para lograr eso hay que caracterizar muy bien lo que ocurre con la nanopartícula, lo que es posible gracias a las posibilidades que ofrece el microscopio".

Es así como este equipo se está utilizando activamente en el desarrollo de investigación básica y aplicada: "hay investigación aplicada en aleaciones de cobre, que es el



mejor ejemplo de aplicación directa, pero también hay otras investigaciones de tipo básico en las que se han analizado nanopartículas, óxidos y películas delgadas de materiales para aplicaciones en la industria micro electrónica", señala Zúñiga.

Y si bien el trabajo que se desarrolla con el microscopio se centra principalmente en el ámbito de la investigación académica, también se contempla la prestación de servicios, en particular, ya se han realizado asesorías a empresas asociadas a la minería.

## INNOVANDO DESDE BEAUCHEF

Alejandro Zúñiga es Ingeniero Civil Mecánico y Magíster en Ciencias de la Ingeniería mención Mecánica de la FCFM. Fue escogido para ser parte del plan de formación de académicos jóvenes de la Facultad y como parte de las exigencias realizó su doctorado en Ciencias de los Materiales en la Universidad de California en Davis, Estados Unidos. "En ese período trabajé muchísimo con microscopios electrónicos de estas características, por eso conozco bastante del tema, porque mi investigación fue en torno a nanoestructuras en aleaciones base aluminio, donde estudié en profundidad la estructura y las propiedades mecánicas de esos materiales", cuenta.

Volvió a la FCFM a mediados de 2006, retomando sus actividades docentes y asumiendo el desafío de formar y fortalecer una comunidad científica dedicada a la microscopía electrónica, de modo que ésta se consolide como una línea de investigación importante en nuestro país.

Por lo mismo, un tema relevante para Zúñiga es la formación de recursos humanos dedicados a la microscopía que sean capaces de avanzar con ideas cada vez más complejas

**APLICACIONES PARA COMPONENTES ANTISÍSMICOS**

Hoy son variados los proyectos de académicos de la FCFM que utilizan el microscopio de transmisión electrónica.

Es el caso del proyecto de los profesores Aquiles Sepúlveda del Departamento de Ingeniería Mecánica y María Ofelia Moroni, del Departamento de Ingeniería Civil, quienes trabajan con aleaciones base cobre con memoria de forma (materiales que se pueden recuperar después de deformados, ya sea calentando o bien simplemente retirando la carga), cuyos resultados serán de gran utilidad en materiales antisísmicos. En estos materiales ocurre una transición de fase que los hace ser "súper elásticos", es decir, tienen un elevado porcentaje de elongación elástica (entre 2 a 8%) en relación con cualquier otro metal común y corriente. Asimismo, en el caso de cargas cíclicas, estos materiales presentan un gran amortiguamiento interno (histéresis). Esto resulta muy importante para una estructura sísmica porque permite que se mueva, se expanda y se contraiga, quedando, después del terremoto, igual que antes, sin deformación, a la vez que disipa la energía sísmica. Lo que se está estudiando es por qué y cómo ocurren estas transformaciones microestructurales del material. Los resultados que se obtengan se podrán aplicar en el desarrollo de nuevos materiales para edificios antisísmicos, algo de alta relevancia para un país como Chile.

Otro de los proyectos en desarrollo lo lidera el profesor Rodrigo Palma del Departamento de Ingeniería Mecánica, quien estudia materiales compuestos nanoestructurados en base a cobre reforzado con nanopartículas cerámicas, con el propósito de mejorar sus propiedades a temperaturas elevadas. Estos estudios servirán para producir materiales con alta resistencia mecánica para aplicaciones a altas temperaturas y que podrían, por ejemplo, utilizarse en componentes de reactores nucleares y en switch de conectores de alto rendimiento en la industria electrónica. Actualmente ya se han hecho algunas pruebas en electrodos de soldadura, que resisten más que los electrodos convencionales de cobre.

Porsu parte, el académico del Departamento de Ciencias de los Materiales, Eduardo Donoso utiliza el microscopio para observar aleaciones de cobre endurecidas por precipitación (formación de partículas), estudiando principalmente aleaciones de cobre con cobalto, titanio y cromo. El valor de entender estas transformaciones de fase radica en que estas aleaciones están pensadas para remplazar a otras que se usan en el mercado que son de cobre con berilio, las que también son endurecidas por precipitación pero con la desventaja que el berilio es tóxico, produce cáncer, por lo que la industria del cobre está tratando de remplazarlas por otras aleaciones que no sean nocivas para el ser humano.

y destaca que la mejor base para crear un grupo que permanentemente se dedique a la microscopía es precisamente a través de los estudiantes de postgrado.

Y para avanzar en la formación de esta comunidad, el profesor Zúñiga trabaja activamente desde la docencia: desde el año pasado dicta el curso Microscopía Electrónica de Transmisión Avanzada en el Doctorado en Ciencias de los Materiales, cuya creación obedece a la necesidad de

enseñar esta materia en mayor profundidad. "Este semestre tengo diez alumnos, número bastante alto para un curso de postgrado, lo que refleja que hay interés. Estamos tratando de crear recurso humano y la idea es también instaurar una vez por semestre o una vez por año, un curso práctico en que los alumnos aprendan a usar el equipo y se motiven a desarrollar estudios en microscopía electrónica de modo que haya cada vez más gente haciendo investigación en esta área".