

Facultad de Ingeniería

Universidad de
Los Andes

CONTACTO

ISSN:2145-7077

Imagen que combina
diferentes resonancias
magnéticas para
el estudio del cerebro.

El futuro: Ingeniería + Bío

Biocombustibles, Ingeniería Biomédica,
Bionanotecnología, Modelado de sistemas biológicos

Número

03

marzo-septiembre 2011

Así avanza la movilidad

Algunas de las
estrategias impulsadas
por Los Andes

Sector floricultor

Con ingenieros industriales
busca la excelencia

Arquitecto de software

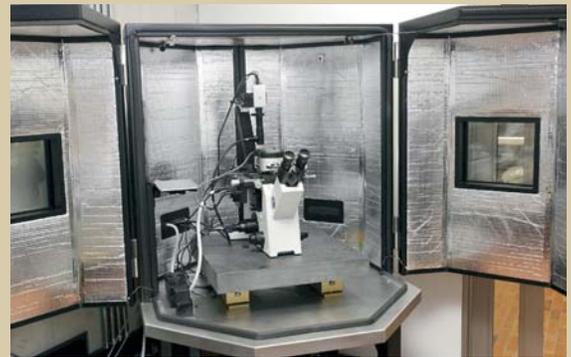
Un profesional cotizado

Centro de Microscopía

Este laboratorio, impulsado por las facultades de Ciencias e Ingeniería, es uno de los más avanzados en su clase en el país. Cuenta con el Microscopio de Fuerza Atómica (AFM por sus siglas en inglés) y el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB, pág. 63). Funciona en el edificio B-102 y fue financiado con recursos de las facultades y del apoyo a programas doctorales de Colciencias.

Usuarios: La comunidad científica uniandina y de otras universidades como Javeriana, Nacional, Externado y Distrital, y el sector externo, como Ecopetrol, Alfacrom e Invemar.

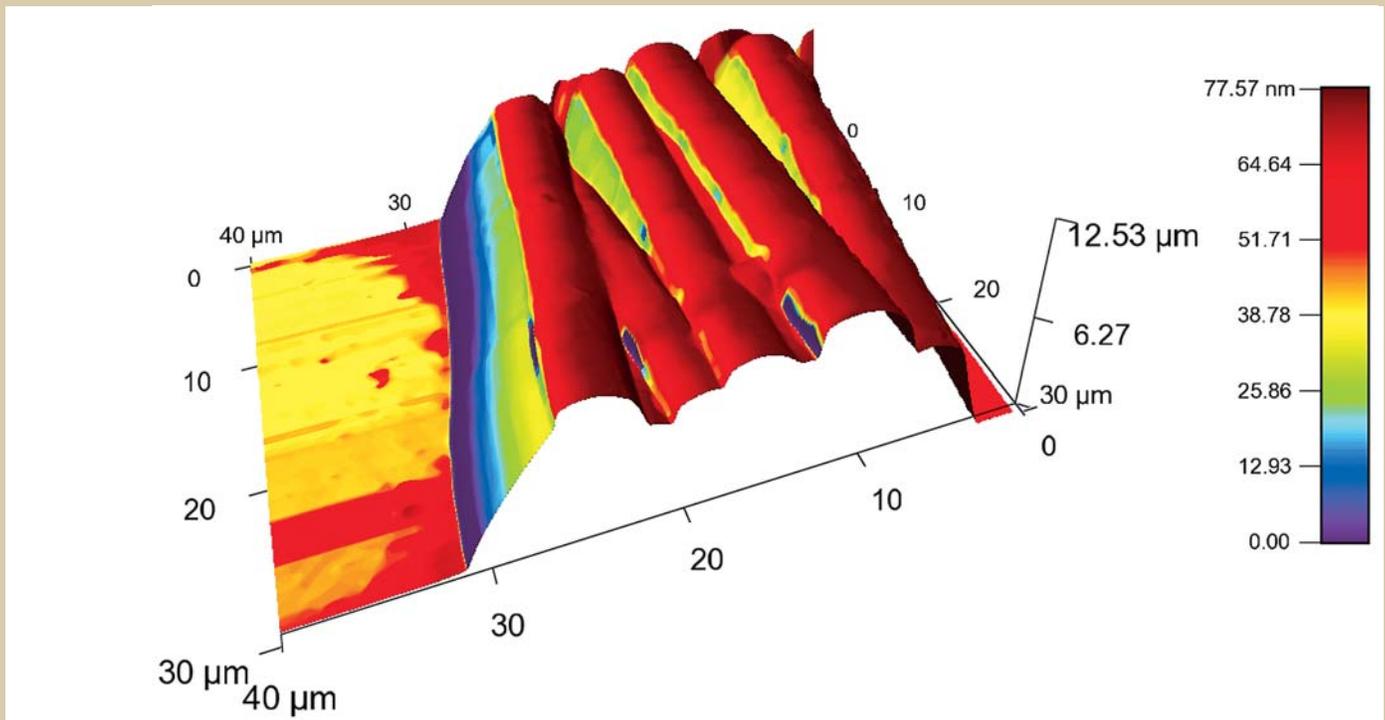
Reservas e información: <http://meb.uniandes.edu.co>



Microscopio de Fuerza Atómica

2 Microscopio de Fuerza Atómica

Referencia: Asyum Research MFP3D-Bio



Amplitud del potencial eléctrico sobre topografía de fibras de polipropileno en vidrio. Hace parte de un proyecto sobre nanofibras para textiles inteligentes, desarrollado por el Centro de Microelectrónica en colaboración con la Universidad de Cornell (Estados Unidos).

Qué es: Un instrumento científico que da acceso al estudio, manipulación y caracterización de materiales a escalas nanométricas: permite analizar un objeto 50.000 veces más pequeño que un cabello humano. Entró en operación a finales del 2010.

Costo: 650 millones de pesos.

Para qué sirve: Visualizar, caracterizar, manipular y modificar, local y globalmente, propiedades de materiales en escalas micro y nanométricas. Permite medir fuerzas del orden de picoNewtons con una precisión de posicionamiento lateral de 0,5 nm. Combina el poder de microscopía óptica de fluorescencia con la resolución de microscopía de fuerza atómica, para la experimentación en tiempo real con muestras biológicas como células, virus y ADN. Permite medir conductividad, magnetización, potencial eléctrico, adhesión, rigidez y fricción, además de ser versátil en la interconectividad de instrumentos electrónicos para caracterizar dispositivos de radiofrecuencia.

Proyectos: Caracterización, modificación y optimización de filtros de nanopartículas para aplicaciones en sistemas de aire; caracterización de películas anticorrosivas depositadas usando CVD (Deposición de Vapor Químico); caracterización de propiedades mecánicas de materiales (elasticidad, rigidez, adherencia, fricción, desgaste y lubricación, entre otras), y caracterización de las propiedades de sustitutos para la sangre.

Facultad de Ingeniería Universidad de los Andes

Marzo / Septiembre de 2011

Decano

Alain Gauthier Sellier

Vicedecana de Posgrado e Investigación

Rubby Casallas Gutiérrez

Vicedecano de Pregrado

Rafael Gómez Díaz

Vicedecano para el Sector Externo

Gonzalo Torres Cadena

Secretaría General

Claudia Cárdenas Gutiérrez

Directores de Departamento

Ingeniería Civil y Ambiental

Arcesio Lizcano Peláez

Eléctrica y Electrónica

Roberto Bustamante Miller

Industrial

Roberto Zarama Urdaneta

Mecánica

Édgar Alejandro Marañón León

Química

Óscar Álvarez Solano

Sistemas y Computación

Jorge Alberto Villalobos Salcedo

Coordinadora de Promoción y Divulgación

Margarita María Rueda Pinzón

Edición y redacción de textos

Ana Lucía Duque Salazar

Marta Lucía Moreno Carreño

Concepto gráfico y diagramación

Enrique Franco Mendoza

Fotos

Roger Triana Cárdenas

Nelson Barreto Pastrana

Retoque digital

Gabriel Daza Larrotta

Producción e impresión

OP Gráficas

2 Fitolab
Centro de Microscopía,
Microscopio de Fuerza Atómica

4 Editorial
Biología: ¿ciencia o inspiración
de la Facultad de Ingeniería?

5 Ingeniería + Bío
Modelos computacionales
para descifrar el mundo

8 Jaguares, de la selva al simulador

11 El GIB hace historia
en Ingeniería Biomédica

13 Software para el diagnóstico
de enfermedades cardiovasculares

15 Telemedicina: atención
oportuna y de calidad

18 Los fascinantes
caminos del cerebro

21 Biomecánica Computacional
para Oftalmología e Ingeniería y Ortopedia

24 Una membrana mágica

26 Imágenes para
entender los corales

29 La salud se investiga a nanoescala

32 Biocombustibles, en busca
de alternativas sostenibles



Pág. 41 Movilidad sostenible



39 En conjunto
Asocolflores, busca
la excelencia

41 Movilidad sostenible
Los Andes se mueve mejor

50 Escuela de Verano
Arquitecto de software,
perfil profesional cotizado

53 Publicaciones

53 Eventos 2010/2011

54 Reconocimientos

56 Tesis doctorales

58 La Facultad en cifras

59 In memoriam
El Chief Amaya, polifacético

60 Egresado
Jorge Pinzón, un colombiano
en la Nasa

62 Argumento
Bioingeniería: suma
de Ciencias Biológicas
e Ingeniería

63 Fitolab
Centro de Microscopía,
Microscopio Electrónico
de Barrido



Biología: ¿ciencia o inspiración de la Facultad de Ingeniería?

Es una realidad que, desde el neolítico y de manera inconsciente, el hombre ha usado su ingenio para entender y manipular la naturaleza en su propio beneficio. Basado en su conocimiento asentado en la experiencia fue capaz de obtener cultivos más resistentes a enfermedades y plagas lo que trajo como consecuencia una mayor cantidad y calidad de alimentos para la creciente población. Conforme nuestra sociedad ha evolucionado en torno al alcance de las tecnologías, la biología se ha convertido cada vez más en una ciencia fundamental de la ingeniería al igual que la física, la química y las matemáticas. Ahora, el advenimiento de la era posgenómica y de la biología molecular, la mayor capacidad en procesamiento y cómputo y el mayor alcance y resolución en microscopía han permitido que dichas tecnologías, procesos, productos o respuestas fundamentales sean más fáciles y pertinentes para el país. Esto lo ha entendido la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, por lo que, desde diferentes plataformas, basadas en sus áreas de conocimiento (Ingeniería Civil, Ambiental, Eléctrica, Electrónica, Industrial, Mecánica, Química, y Sistemas y Computación) trabaja en la construcción de distintas soluciones para una Colombia inherentemente biodiversa, tales como tecnologías de generación de energía a partir de recursos sostenibles, planteamiento de estrategias para la conservación de los jaguares, procesamiento de imágenes para la observación de corales, diseño racional de biomateriales, mejor entendimiento del comportamiento de leucocitos durante patologías, herramientas para diagnóstico médico y monitoreo de manera remota, o sobre el conocimiento de la mecánica de la córnea. Para abordar estas temáticas, Los Andes cuenta con investigadores de muy alto nivel y ha realizado una inversión considerable en laboratorios como el Centro de Microscopía, la Sala Limpia o el Laboratorio de Diseño de Productos. Esto es solo el comienzo, y considerando lo estratégicas que son para Colombia la biotecnología, la bioingeniería y la salud, estoy entusiasmado y confiado en que la Facultad seguirá inspirada por los conocimientos que la biología nos pueda brindar y será una de las universidades líderes a nivel nacional y latinoamericano. ■

Andrés González Barrios
Profesor asistente
Departamento de Ingeniería Química

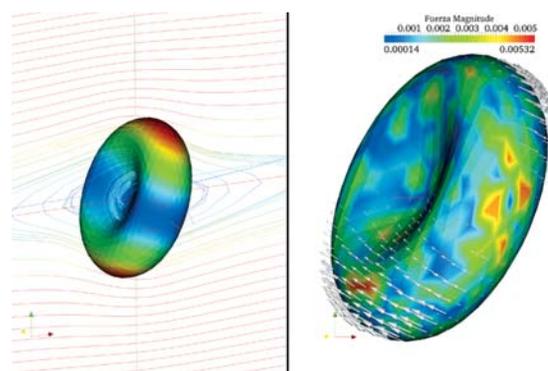
Modelos computacionales para descifrar el mundo

El trabajo empírico, de campo o de laboratorio, sirve para complementar y alimentar modelos de sistemas biológicos creados en el computador. Esta herramienta de investigación aumenta la comprensión de fenómenos sobre los cuales anteriormente no había información.

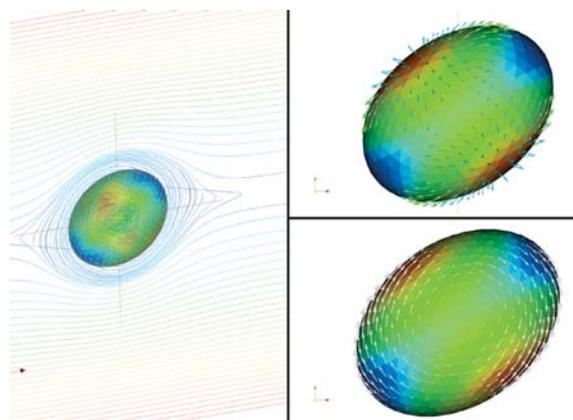
Entender el funcionamiento de sistemas biológicos como células, moléculas u organismos de mayor tamaño como jaguares o monos es uno de los propósitos de un novedoso campo de investigación de la Facultad de Ingeniería denominado modelado de sistemas biológicos. Esta herramienta se diseña para cada caso combinando los datos de la experimentación de laboratorio o del trabajo de campo con modelos computacionales que predicen procesos que no se pueden determinar empíricamente y permiten su estudio. Los modelos explican, por ejemplo, los mecanismos por los cuales una bacteria se adhiere a la pared del tracto urinario; el funcionamiento de las membranas que cubren una vesícula; cuál de las más de 1.400 reacciones que se llevan a cabo en la bacteria *Escherichia Coli* al contacto con el glicerol es la que conviene para acelerar la producción de etanol; o cuáles son los corredores por donde circulan los jaguares en Colombia y, por ende, qué regiones del país deben protegerse para la conservación de esta especie latinoamericana.

Tres ingenieros, profesores asistentes de tres departamentos de la Facultad de Ingeniería de Los Andes, están trabajando en modelado de sistemas biológicos en diferentes escalas. Ellos son Andrés González Mancera, ingeniero mecánico, doctorado en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Maryland; Andrés González Barrios, ingeniero químico, doctorado en Ingeniería Química de la Universidad de Connecticut; y Juan Manuel Cordovez, ingeniero civil y biólogo, doctorado Ingeniería Biomédica de la Universidad Estatal de Nueva York. Aunque González Mancera está resolviendo cuestiones de ciencias básicas, sus descubrimientos podrían tener utilidad en el futuro para aplicarlos en medicamentos de liberación controlada. El entendimiento de cómo se comportan los glóbulos rojos en enfermedades como la anemia falciforme podría ayudar a combatirla. Por su parte, las investigaciones de González Barrios y las de Cordovez responden a problemas específicos de la agroindustria del país y a la protección del jaguar y del mono araña en Colombia. Como se ve, es posible hacer modelado de sistemas biológicos en diferentes escalas: desde molecular (nanoescala), microescala o escala celular hasta macroescala.

De acuerdo con González Barrios, el uso de la herramienta de modelado de sistemas biológicos es una de las fortalezas de la Facultad de



▲ Imágenes del modelo computacional, construidas por Oscar Libardo Castillo Orduz, estudiante de maestría en Ingeniería Química. Pertenecen al proyecto donde se estudia el comportamiento de la sangre en la escala celular y cómo las alteraciones de la geometría y las propiedades mecánicas de los glóbulos rojos cambian el comportamiento macroscópico de la sangre.



Ingeniería de Los Andes, lo cual genera una diferencia con facultades de otras universidades. El uso de esta herramienta les permite determinar o predecir cómo interactúan sistemas en el espacio y en el tiempo, con el fin de resolver preguntas fundamentales desde la ingeniería computacional. Cada modelo es alimentado también con datos experimentales que más adelante se pueden corroborar con lo que revela el mismo modelo.

Explicaciones de ciencias básicas

A Andrés González Mancera le atrae la escala microscópica, que le permite entender los procesos fisiológicos de los sistemas que viven suspendidos en un líquido; van desde las células de la sangre —glóbulos rojos, glóbulos blancos— hasta las bacterias como un todo: “Me interesa la interfaz entre el fluido y esa estructura, estudiar cómo el fluido afecta y determina el comportamiento de las estructuras”.

Aunque a este ingeniero mecánico le preocupan las respuestas a preguntas de ciencias básicas, cada uno de los trabajos que desarrolla podría tener aplicaciones médicas y en la industria farmacéutica.

Por una parte, desde hace ocho años busca comprender cómo funcionan las vesículas lipídicas, un modelo de célula muy simple compuesta de una membrana, en un líquido. “Estamos a la par con muchos laboratorios del mundo, tenemos modelos computacionales muy robustos, diseñados en la Universidad de los Andes, que capturan la física de lo que se ve experimentalmente”, dice González Mancera. Los resultados que arroje el modelo tendrían aplicaciones en el empaquetamiento de medicamentos que se conducirían a un lugar específico del cuerpo donde se romperían las vesículas y se liberaría una droga. El proyecto de tres años fue financiado por Colciencias, con un costo de algo más de 400 millones de pesos.

Otro de los modelos computacionales diseñados por el ingeniero mecánico pretende explicar la estructura elástica de los glóbulos rojos, que se deforma con el fluido, para estudiar el efecto de algunas enfermedades en ellos, como la anemia falciforme que afecta el flujo de los glóbulos rojos en la circulación. Explica que “estas enfermedades cambian la forma y las estructuras mecánicas del glóbulo rojo, lo cual dificulta su paso por los capilares más pequeños y, por ejemplo, se produce anemia. Se hacen simulaciones computacionales del flujo de esas células en situaciones reales para entender cómo funciona esa enfermedad desde el punto de vista de la ingeniería, para proponer soluciones”.

Por último, González Mancera diseña otro modelo computacional con el que estudia cómo se adhiere una bacteria a la superficie de un organismo que está atacando, como por ejemplo el tracto urinario: “Tratamos de entender, en diferentes escalas, cómo se mueve la bacteria en el fluido; y en la escala molecular, buscamos explicar cómo funcionan los filamentos que le permiten mantenerse muy bien adherida”. Este trabajo comenzó hace un año con prototipos experimentales que arrojan muchos datos

que analizan y comparan con simulaciones computacionales: “Solo entonces empezamos a comprender sus mecanismos, sus propiedades orgánicas, su comportamiento: la idea es entender cómo funcionan esos sistemas orgánicos”, concluye.

Soluciones modeladas

A Andrés González Barrios le interesa ofrecer soluciones a necesidades del país, como el desarrollo de alimentos para la exportación pues la práctica de la agricultura verde ayuda a superar barreras. El uso de biopesticidas para el control de plagas, con derivados de la naturaleza misma, es uno de los medios para lograrlo. “Una de las estrategias típicas para controlarlas —explica González Barrios— es con una proteína que se expresa en el *Bacillus Thuringiensis*. No es como los químicos que son de amplio espectro y de alta residualidad, es decir, que pueden permanecer mucho tiempo en el ambiente. Sin embargo, *B. Thuringiensis* requiere de varias horas —alrededor de 20 a 25— para sintetizar la proteína a escala industrial lo que implica un alto consumo eléctrico y de personal que debe manejar el proceso”. El modelo computacional podría ayudar a reducir el tiempo de producción del biopesticida pues la herramienta es capaz de predecir cómo va a comportarse el bacilo si cambian las condiciones y las diferentes escalas de producción para disminuir tiempos y lograr una relación costo/tiempo más beneficiosa: “Es diferente producir 10 ml de la toxina en un laboratorio a producirlo en un reactor de un metro cúbico: algunos fenómenos cambian”, señala González Barrios.

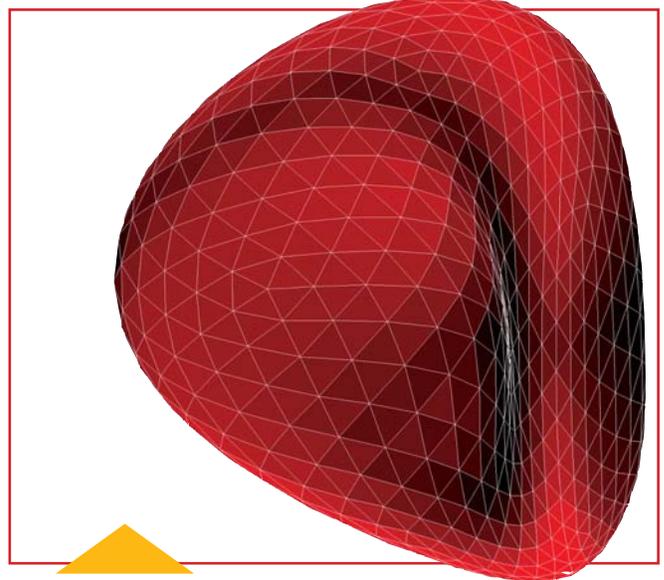


Imagen correspondiente a la simulación del comportamiento de una cápsula sintética, que puede ser usada en la entrega controlada de medicamentos, en un flujo cortante. Imagen construida por Oscar Libardo Castillo Orduz.

► En la investigación de biopesticidas, el modelo computacional se alimenta con los datos que se obtienen de la experimentación en el laboratorio de Micología y Fitopatología (LAMFU).



En este caso, afirma, se aplica la biología de sistemas, una herramienta que “estudia los componentes de un sistema biológico bajo una aproximación holística y no reduccionista, mirándolo como un todo del cual emergen las respuestas que lo explican. La idea, entonces, es predecir el comportamiento de sistemas biológicos con aproximaciones matemáticas aplicadas al escalado para determinar y disminuir tiempos de fermentación”. Esta es una de las líneas más fuertes de investigación en Ingeniería Química.

El profesor Harold Castro, de Ingeniería de Sistemas, y Andrés González Barrios crearon un modelo utilizando una aproximación cinética estocástica (con modelos de probabilidad) capaz de predecir la concentración de proteínas y ARN en el tiempo, para muchos individuos (100 o 200 mil bacterias), utilizando el *grid* —una red de computadores al servicio de la investigación Ver CONTACTO número 2 “La virtualidad llegó a la ciencia”— porque requiere mucha capacidad computacional. Con este modelo se estima cómo es el comportamiento del bacilo en diferentes concentraciones de oxígeno en el tiempo —porque sube y baja—, fenómeno que sufren estos organismos en los reactores donde se fermentan. “La idea es ofrecer soluciones, por ejemplo a partir de modificaciones genéticas, para que el bacilo no se resienta con esas oscilaciones”. El software, que está registrado, se puede emplear en cualquier modelamiento estocástico

de este tipo de bacterias una vez se conoce cómo se regula genéticamente el proceso de producción de la proteína.

La biología de sistemas también se puede aplicar para resolver el problema de la sobreoferta de uno de los subproductos de la industria de palma, el glicerol o glicerina. “En Los Andes utilizamos biología computacional para aumentar la producción de etanol a partir del glicerol, gracias a modelos a escala genómica que tienen en cuenta alrededor de 1.400 reacciones de una bacteria que se emplea en su producción”, para ver cuál de ellas se puede modificar y hacer más eficiente el proceso. La investigación está en la etapa de experimentación. ■



CONTACTO:

Andrés González Barrios,
ingeniero químico, profesor
asistente del Departamento
de Ingeniería Química.
andgonza@uniandes.edu.co



Andrés González Mancera,
ingeniero mecánico, profesor
asistente del Departamento
de Ingeniería Mecánica.
angonzal@uniandes.edu.co

Jaguares, de la selva al simulador

Un modelo que muestra las rutas por donde se mueve el jaguar en territorio colombiano es una herramienta clave para determinar los sitios que deben ser especialmente conservados para lograr la preservación de este felino americano en peligro de extinción.

Colombia es pieza clave en la movilidad del jaguar y, por lo tanto, en la subsistencia de esta especie, que se pasea desde México, por todo el continente, hasta el sur de Brasil. Un modelo computacional, desarrollado en Los Andes, ha permitido establecer cuáles son los corredores por donde transita este animal. El trabajo ha sido realizado por Juan Manuel Cordovez, ingeniero civil y biólogo con doctorado en Ingeniería Biomédica de la Universidad Estatal de Nueva York, y profesor asistente del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de los Andes, y su estudiante de maestría Adriana Bernal Escobar. Gracias a los datos obtenidos, la Fundación Panthera, ONG internacional para la protección de la especie, pondrá énfasis en aquellos lugares donde el paso del jaguar se encuentra

en peligro. Zonas altamente pobladas o cultivadas son lugares que ofrecen riesgo para la supervivencia del animal.

“El jaguar es una sola especie y es importante mantenerla unida para garantizar su estabilidad genética. La migración genética a través del continente evita la endogamia que acelera el peligro de extinción”, dice Cordovez.

El modelo se alimenta con datos de campo suministrados por cámaras trampa que ha colocado la Fundación Panthera, más diez variables de la realidad geográfica y poblacional del país y otras provenientes de la biología del jaguar. “Este se conoce como un modelo explícito de dispersión e involucra la ecuación de reacción/difusión. Un modelo típico de dispersión, que se refiere a que los animales se encuentran en un sitio y

El jaguar, indicador de biodiversidad

En Colombia hay seis tipos distintos de felinos — probablemente hasta siete—, entre los cuales el más importante es el jaguar. Habita por debajo de los 2.000 metros sobre el nivel del mar, en la Amazonía, los Llanos, la zona baja del norte del país y de la Sierra Nevada de Santa Marta y el Chocó. Su presencia en selvas y bosques indica —según el biólogo Esteban Payán, director ejecutivo de la Fundación Panthera— la sanidad de muchos ecosistemas. Los machos de jaguar colombiano pesan entre 70 y 80 kilos, y las hembras entre 60 y 65 kilos; la altura promedio es de 75 centímetros. Es un carnívoro grande con enormes requerimientos de área, proporcionales a su demanda alimenticia. “Un macho precisa de 100 kilómetros cuadrados de área, que comparte con dos hembras que se superponen”, dice Payán y explica: “Es una ‘especie indicador’ porque si hay jaguar en un bosque es porque sus presas tienen suficientes plantas y frutos para alimentarse y estos, a su vez, disponen de buenos suelos y buen agua para crecer”. Por eso, la preservación del jaguar es, en cierta forma, la preservación del medio ambiente, pues su extinción alteraría todas las condiciones de la fauna y flora que están interrelacionadas con este felino.

Y aunque en Colombia el jaguar no está en vías de extinción, sí corre peligro debido al factor humano y todo lo que ello implica. Los sitios más críticos están en el Magdalena Medio —nudo de Paramillo, sur de Córdoba, sur de Bolívar, sur del Cesar— y en el Catatumbo, por donde pasa “la ruta del sol”, una carretera que se ampliará a cuatro carriles con enorme riesgo para la vida del jaguar si no se preservan varios sectores por donde pasan el felino o sus presas. Más que su desaparición, lo que preocupa a la Fundación Panthera es la variabilidad genética de la especie, que es una sola desde el sur de México hasta Brasil. Para que esa variedad se mantenga, evitando la endogamia, la Fundación está trabajando en promover el “corredor jaguar”. Este se basa en la variabilidad genética, pero el objetivo último es la conservación a largo plazo.

“Con este corredor —señala el biólogo— estamos salvando también la biodiversidad social: la conservación del jaguar tiene consecuencias en la preservación de la biodiversidad del país”.

¿Cuántos animales hay que conservar para que en 300 años haya jaguares? La renovación genética se asegura con 500 animales juntos, que requerirían un área cercana a 17.000



El jaguar americano se distingue de otros felinos parecidos porque sus manchas se forman alrededor de un punto negro. Foto de Steve Winter.

kilómetros cuadrados, explica Payán. La alternativa viable para lograr este espacio es el corredor genético, “que no implica una horda de jaguares por el país, ni va contra el desarrollo. Solo es necesario que los campesinos no los cacen, ni a sus presas, que se conserven los bosques alrededor de las carreteras, que cerca de los cultivos y de los ríos les dejen una franja de bosque por donde ellos y sus presas puedan pasar. Necesitamos buenas prácticas agrícolas, de explotación agropecuaria, de explotación petrolera, que no echen venenos. Porque si desaparece el jaguar, cambiaría la estructura de la selva y la forma como esta se regenera. Y eso afectaría los patrones de sombra, que son los que regulan la evapotranspiración del suelo que afecta las cuencas de los ríos y el nivel de las aguas”.

“El modelo computacional realizado por Juan Manuel Cordovez nos permite ver cómo todas las variables afectarán la presencia del jaguar en determinados períodos de tiempo. Lo que nos muestra el modelo refuerza el entendimiento del problema tan dramático: si no se toman las acciones necesarias para que exista el “corredor jaguar”, en dos años la variabilidad genética continental quedará interrumpida por siempre”, concluye el director ejecutivo de la Fundación Panthera.

luego se dispersan. A este le superpusimos el componente de la ecuación de reacción/difusión, que además, supone la biología de la especie, es decir, que no solo se mueven sino que además se están reproduciendo, y el sitio donde estén determina cuántos de ellos puede haber, o sea, la capacidad de carga. Esto quiere decir que un kilómetro cuadrado de la Amazonía, por ejemplo, puede albergar más jaguares que un kilómetro cuadrado en el bajo Magdalena cerca de La Dorada, que no presenta las mismas condiciones. El modelo mide cómo será la situación transcurridos dos, tres, seis y diez años”, señala el ingeniero civil y biólogo.

Modelos matemáticos computacionales como el empleado en este estudio permiten combinar y analizar tantas variables como sea necesario, lo cual otorga una amplia comprensión de la realidad, imposible de obtener de otro modo. Cordovez dice que “la biología —a nivel: celular, sistémico, de poblaciones, en medicina— es la ciencia que me interesa entender y la ingeniería provee las herramientas de simulación matemática y computacional para ello. Si bien no proporciona todas las respuestas sobre lo que se necesita saber de los jaguares porque refleja lo que se conoce hoy de su biología, es una herramienta sólida” que permite prever

que, “si todo siguiera como está, eventualmente vamos a tener una población saludable”. Esto depende también de que las políticas de Estado sean conservacionistas y de que la Fundación Panthera pueda actuar allí donde están los lugares críticos para la supervivencia y movilidad del animal.

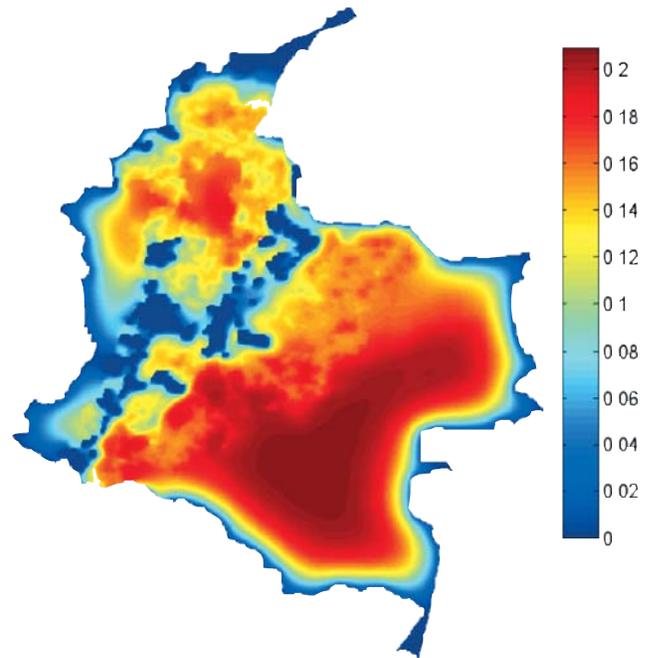
De acuerdo con el estudio de Cordovez, estos son los ubicados al norte de las cordilleras, en los territorios bajos, porque el felino no sube más allá de los 2.000 metros sobre el nivel del mar. Pero esas regiones casi siempre están muy pobladas o cultivadas, entonces son escasos los territorios para transitar.

En el modelo de Cordovez se introdujeron diez variables de cobertura, cada una de ellas con un costo: una zona asociada a su hábitat —bosques altos, con dosel y sotobosque, con una estructura compleja, que albergan variedad de animales para su alimento— tiene un costo cero, mientras que en lugares como el desierto de la Tatacoa, la Guajira o los páramos y nevados, sin cobertura vegetal, el costo asociado es ocho. Este índice aumenta en las zonas fronterizas entre parques naturales protegidos que limitan con zonas cultivadas y va aumentando cuanto más poblada es la región, pues los jaguares han aprendido que el hombre es su predador y se alejan de donde los pueden matar. Otros lugares ‘enemigos’ de la especie son los lagos, las ciénagas, las zonas inundadas. No así los sitios de ganadería donde pueden cazar hasta una vaca joven y arrastrarla por un par de kilómetros, dada su fortaleza y tamaño. “Además, consideramos que si un asentamiento o una vía están a más de 16 kilómetros de distancia del hábitat del jaguar, esa región tiene un costo de cero. Cuando está a menos de dos kilómetros el costo asociado para el jaguar es muy alto. Entonces no andarán por ahí”. Condiciones como el conflicto armado o las fumigaciones con glifosato no han sido estudiadas.

Con los resultados, la Fundación Panthera tendrá más herramientas para proteger al jaguar ya que, a futuro, puede visualizar cómo será la situación si no actúa en las regiones en que el felino está en riesgo.



▲ La Fundación Panthera ha instalado cámaras trampa en distintas regiones del país para detectar la presencia de jaguares. Esta información sirve para alimentar el modelo computacional.



▲ En este mapa se representan los resultados de densidad poblacional para las áreas donde se ha hecho observación del jaguar, utilizando dos capacidades de carga diferentes, es decir, el número máximo de individuos que puede albergar un tipo de paisaje. Y mientras más costoso es para el jaguar, menos individuos puede albergar.

El mono araña

Con el modelo en mano, Cordovez pensó aplicarlo a otras especies, y se contactó con el biólogo Andrés Link, profesor invitado de Los Andes, que realiza un trabajo para la protección del mono araña. Aunque se aplicaron las mismas variables de dispersión y capacidad de carga de los territorios, se ha podido concluir que las estrategias necesarias para su protección son diferentes ya que la biología del mono es distinta: tiene unas estructuras sociales muy complejas y solo algunas hembras migran, mientras que los machos se mantienen unidos en grupos. Los monos permanecen en un terreno donde haya alimento disponible y, si lo abandonan en caso de que no les sea suficiente, sería en cientos de años. Por eso, de acuerdo con las simulaciones de Cordovez, la estrategia adecuada es la introducción de algunos individuos en zonas que estén bien protegidas para que se reproduzcan allí y formen una población estable. ■



EL GRUPO: Ingeniería Biomédica (GIB), Centro de Información en Ingeniería Ambiental (CIA).
CONTACTO: Juan Manuel Cordovez, ingeniero civil y biólogo, profesor asistente del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.
jucordov@uniandes.edu.co

El GIB hace historia en Ingeniería Biomédica

En la Universidad hay nueve líneas de investigación en la materia, están creando un programa de pregrado en el tema y la maestría en Ciencias Biomédicas se convertirá en maestría en Ingeniería Biomédica.

La perseverancia, el relevo generacional y la buena calidad de los estudiantes son la clave del éxito del Grupo de Ingeniería Biomédica (GIB), dirigido por el ingeniero mecánico Juan Carlos Briceño, doctor en Ingeniería Biomédica de la Universidad de Texas (Estados Unidos).

Esta disciplina aplica las herramientas de la Ingeniería a la solución de problemas biológicos y médicos. Puede, entonces, relacionarse con animales o plantas o directamente con la salud humana, campo en el que se centran los estudios de Los Andes y que responden a nueve líneas investigativas: biomateriales e ingeniería de tejidos; biomecánica; dinámica cardiovascular; hemosustitutos (sangre artificial); logística hospitalaria (ver CONTACTO número 2, “La salud, de la mano de la Ingeniería Industrial”); modelamiento de sistemas biológicos, oftalmología; procesamiento de imágenes, y telemedicina. Todos estos son trabajos multidisciplinarios que demandan el concurso de ingenieros, médicos, veterinarios y biólogos, entre otros profesionales; multiinstitucionales, en los que participan, además de la Universidad, entidades como la Fundación Santa Fe, el Hospital San Ignacio, el Instituto Roosevelt de Ortopedia Infantil y la Fundación Cardioinfantil, y multimillonarios, por cuanto cada investigación requiere cuantiosas inversiones; 95 por ciento de estos proyectos son financiados por Colciencias.



▲ El investigador Juan Carlos Briceño sostiene el Balón Coil, un dispositivo que patentó y que permite obstruir el ductus arterioso persistente.

Para ejemplificar la constancia, el profesor Briceño menciona que un investigador puede tardar entre 10 y 15 años en convertir su idea en prototipo y lograr que llegue a los pacientes. Esta tarea supone un trabajo muy estrecho con el médico, que es quien comienza y cierra el círculo, porque plantea la necesidad y es el usuario de estas tecnologías. También requiere una estructura de innovación y emprendimiento, transferencia de tecnología e inversionistas. “En los úl-

timos 15 años, hemos trabajado más de 100 proyectos de grado, de los cuales 10 llegaron a uso clínico o están muy cerca de hacerlo —dice—. Tratamos de crear un círculo con las facultades de Ingeniería y Administración, con inversionistas y gente que trabaja en emprendimiento, como la Cámara de Comercio de Bogotá, y los concursos de planes de negocios o *ventures*, para que los proyectos no se queden en prototipos. Por fortuna en Colombia ya se está hablando de em-

Membranas de colágeno, una puerta de posibilidades

Hace 10 años, Juan Carlos Briceño, actual director del Grupo de Ingeniería Biomédica (GIB), el cirujano máxilofacial Fernando Briceño y la ingeniera química Diana Tabima lograron transferir la tecnología para que las membranas de colágeno fueran usadas en pacientes que necesitaban reconstrucción del hueso máxilofacial. Esta tecnología, necesaria para hacer implantes dentales, está disponible en el mercado y unos 200 pacientes se han beneficiado de ella. Para producirlas y comercializarlas, se necesita un registro del Invima que solo se otorga a las empresas, razón por la cual crearon Biomaster Ltda. Se trata de membranas de colágeno de intestino de porcino que funcionan como soportes celulares y permiten la regeneración celular del maxilar más rápido que con los métodos convencionales. Estas son tratadas en el laboratorio, donde las limpian para quitarles las células y las esterilizan, antes de ponérselas al paciente. El modelo fue desarrollado en Estados Unidos y sus aplicaciones no se reducen al hueso máxilofacial. “Esas membranas son mágicas y tienen muchos usos —dice el ingeniero Briceño—. Si se ponen en la piel, se vuelven piel, si se ponen en una arteria en forma de tubo, se vuelven arteria (Pág. 24).



▶ Las membranas de intestino de cerdo son tratadas en el laboratorio, donde las limpian para quitarles las células y las esterilizan.

prendimiento y de transferencia de tecnología”.

Briceño no duda en calificar de logro el relevo generacional que se ha dado entre los profesores de la Universidad que trabajan en Ingeniería Biomédica. Las primeras investigaciones se hicieron a finales de los sesenta como respuesta a las necesidades de los médicos y tuvieron como pioneros a Luis Enrique Amaya, el Chief, del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental (Págs. 22 y 59); y Jaime Loboguerrero, del Departamento de Ingeniería Mecánica. Ninguno de ellos era ingeniero biomédico, pero sembraron las bases para que varios de sus alumnos cursaran doctorados en

Ingeniería Biomédica en Estados Unidos y Francia y regresaran a Los Andes, donde hoy lideran las investigaciones.

Otro logro, sin duda, es el reconocimiento social obtenido por el GIB, en cuanto a que es el grupo de investigación de la Facultad de Ingeniería con más premios y menciones en el Premio Nacional

de Ciencia Alejandro Ángel Escobar. Y no hay que olvidar que la válvula de Hakim, dispositivo empleado en el tratamiento de la hidrocefalia, empezó a ser concebida en Los Andes, o que en 2009 Juan Carlos Briceño patentó el Balón Coil, un dispositivo para obstruir el ductus arterioso persistente. ■



EL GRUPO: Grupo de Ingeniería Biomédica (GIB).

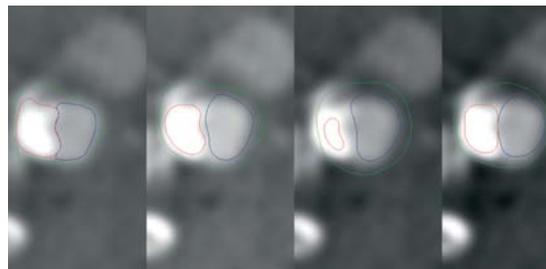
CONTACTO: Juan Carlos Briceño, ingeniero mecánico, director del GIB, profesor titular del Departamento de Ingeniería Mecánica. jbriceno@uniandes.edu.co

Software para el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares

Con imágenes diagnósticas de las arterias carótidas y coronarias que arrojan la resonancia magnética y el TAC, investigadores del Grupo Imagine y del Grupo de Ingeniería Biomédica están creando programas computacionales que faciliten la tarea de los médicos especialistas.

El desarrollo de software para hacer más rápido, preciso o fácil el diagnóstico de enfermedades como el infarto, la trombosis y el derrame cerebral, que suelen ser mortales o altamente incapacitantes, es el objetivo de las investigaciones en Ingeniería Biomédica de la ingeniera de sistemas y computación Marcela Hernández Hoyos.

Sus trabajos, financiados principalmente por Colciencias y por fondos internos de Uniandes, se basan en el procesamiento de imágenes médicas en las áreas cardiovascular, en la que ya hay resultados, y máxilofacial, que apenas está comenzando. "Nuestro objetivo es contribuir a la ciencia en el diagnóstico asistido por computador de las enfermedades cardiovasculares, que son la primera causa de muerte en el mundo", dice la investigadora.

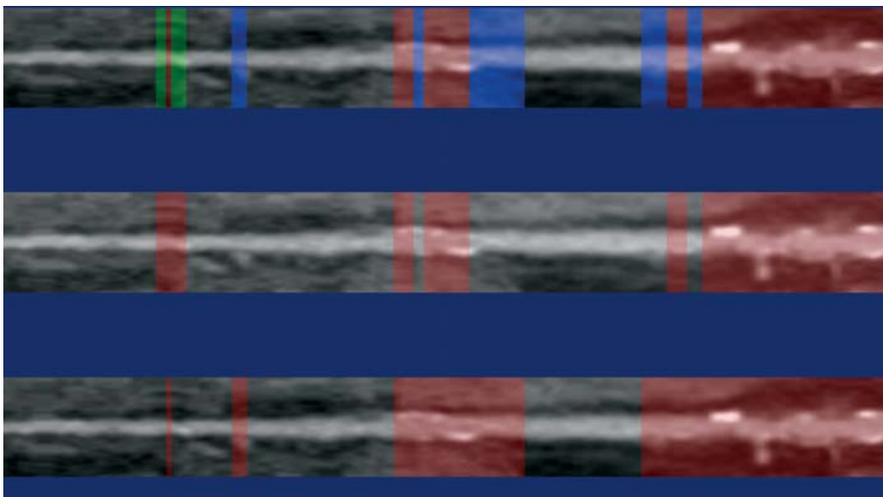


◀ Extracción de contornos de lumen [azul, 1], calcificaciones [rojo, 2] y pared externa [verde, 3] sobre arterias carótidas. De izquierda a derecha, contornos extraídos por el software, contornos extraídos por el experto 1, el experto 2 y el experto 3.

Los socios científicos de Hernández son Maciej Orkisz, investigador del Laboratorio Creatis (<http://www.creatis.insa-lyon.fr>) de Lyon (Francia); Luis Felipe Uriza, director de Radiología del Hospital Universitario San Ignacio, de Bogotá, y Philippe Douek, director de Radiología del Hospital Cardiológico de Lyon (Francia). Este año comenzó un proyecto en arterias coronarias con la Fundación Santa Fe de Bogotá.

El interés por el área cardiovascular le surgió en el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas (INSA) de Lyon, con el equipo del Laboratorio Creatis, mientras hacía su doctorado en Ingeniería Biomédica con énfasis en Procesamiento de Imágenes. Hace siete años se vinculó a la Universidad de los Andes, donde es apoyada por tres o cuatro estudiantes de posgrado cada año.

Al comienzo se centró en las arterias carótidas. El objetivo era cuantificar la estenosis (estrechez arterial) basándose en imágenes de resonancia magnética. Cuando se presenta esta anomalía y se desprende la placa de la arteria, se produce un accidente cerebrovascular (ACV), porque el trombo sube al cerebro



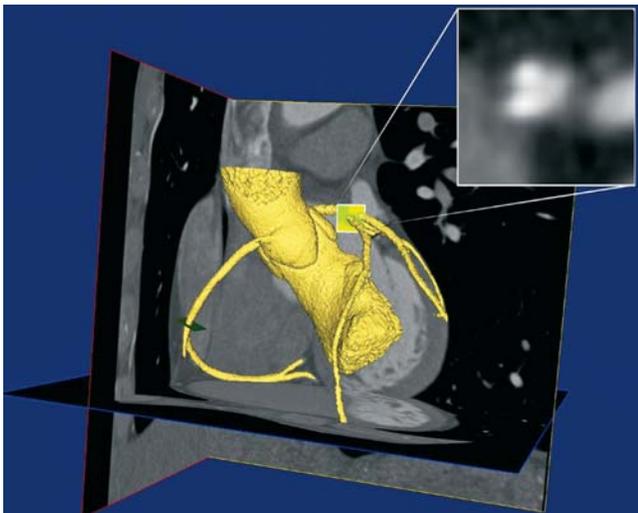
◀ Detección de anomalías en arterias coronarias. En primera fila se observan los resultados comparativos entre la detección automática hecha por el software y las anotaciones hechas por un experto. En rojo: verdaderos positivos. En azul: los falsos positivos. En verde: los falsos negativos. En segunda fila, cortes patológicos indicados por el experto (en rojo), y en tercera fila, cortes patológicos detectados por el software (en rojo).

e interrumpe la irrigación, lo cual causa incapacidades severas. “La herramienta está enfocada en la precisión del diagnóstico, por cuanto la estimación de la severidad de la patología se hace de manera visual —explica Hernández—. Su objetivo no son tanto los médicos expertos, como aquellos que deben atender urgencias o hacer turnos en horarios en los que no están los especialistas”.

Como resultado, en conjunto con el Laboratorio Creatis, desarrolló un algoritmo que compró la firma japonesa Hitachi en 2005. Posteriormente, se asociaron con los investigadores del Departamento de Ingeniería Mecánica de Uniandes, para hacer simulaciones hemodinámicas y predecir los riesgos de ruptura de las placas. El equipo de Hernández les entrega a sus colegas la geometría tridimensional de arterias reales, obtenida a partir del procesamiento de imágenes.

Hace dos años, gracias a los avances técnicos de los equipos para toma de imágenes de diagnóstico, los esfuerzos se extendieron a las arterias coronarias cuyo taponamiento es el responsable del infarto del miocardio, pero no abandonaron la línea de carótidas. El propósito es desarrollar una herramienta de diagnóstico más rápido, tarea que hoy en día le puede tomar más de una hora al especialista.

“Cuando comenzamos en 1997 con las carótidas solo usábamos resonancia magnética que nos permitía ver la estrechez de la arteria. Ahora, con el TAC, cuya resolución es relativamente más alta, empezamos a ver los componentes de la placa y dependiendo de si son grasa, calcio, trombos o fibra, es más o menos vulnerable a la ruptura”, precisa la profesora. Agrega que en el caso de las coronarias todavía es osado hablar de la composición de la placa pues son arterias muy pequeñas para la resolución de las imágenes actuales.



▲ Detección automática de anomalías arteriales por una técnica de aprendizaje no supervisado. Aquí se llama automáticamente la atención al médico sobre los segmentos donde la arteria coronaria presenta calcificaciones.

▶ Las investigaciones de la profesora Marcela Hernández Hoyos con imágenes diagnósticas permiten reproducir la geometría tridimensional real de arterias como esta.



Los logros

Además de la transferencia tecnológica a Hitachi, las investigaciones biomédicas en el área cardiovascular han tenido, entre otros, los siguientes reconocimientos en los últimos cinco años:

- Segundo premio nacional Otto de Greiff (2008) al Proyecto de Grado en Ingeniería de Sistemas y Computación de Michael Baltaxe.
- Premio nacional Gonzalo Esguerra Gómez (2008), de la Asociación Colombiana de Radiología, a la tesis de Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación de Diego Cantor.
- Participación en 2 concursos internacionales, en los que se enfrentaron a los principales grupos de investigación vascular del mundo, así como a los constructores más grandes de equipos médicos (Philips, Siemens y General Electric). Ellos son: CAT 2008 - Coronary Artery Tracking (Nueva York); de 49 trabajos presentados, aceptaron solo 13 y obtuvieron el séptimo puesto en el concurso en línea. Y CLS 2009 - Carotid Lumen Segmentation and Stenosis Grading (Londres); de 27 trabajos, aceptaron 8 y ocuparon el sexto lugar.
- Publicaciones de impacto desde el 2005: 14 fueron indexadas en la base de datos SCOPUS y 2 en la base de datos ISI.
- Financiación para dos proyectos Ecos Nord (2007-2009), programa francolatinoamericano piloteado en Colombia por Colciencias. ■



LOS GRUPOS: Imagine [computación Visual] e Ingeniería Biomédica.

CONTACTO: Marcela Hernández Hoyos, ingeniera de sistemas y computación, profesora asociada del Departamento de Sistemas y Computación.
marc-her@uniandes.edu.co

Telemedicina: atención oportuna y de calidad



▶ En primer plano se aprecia un sistema de TeleORL (otorrinolaringología) y al fondo un sistema de captura de placas de RX. Las imágenes se transmiten por el software AndesPACS mediante protocolo DICOM.

Desarrollar herramientas para realizar diagnósticos médicos o seguimiento materno-infantil de manera remota, fabricar equipos para monitoreo en salas de cuidados intensivos y medir la seguridad eléctrica y la compatibilidad electromagnética de los equipos médicos son algunas investigaciones en telemedicina e instrumentación biomédica del GIB y el Centro de Microelectrónica de la Universidad de los Andes (CMUA).

Llevar la medicina a sitios remotos y de baja demanda es costoso, sobre todo en países como Colombia que no pueden hacer grandes inversiones para garantizar la atención oportuna y calificada de los pacientes. Pero gracias a los avances en las Tecnologías de Comunicaciones e Información (TIC) y a los esfuerzos de los investigadores, la telemedicina es una realidad que se traduce en acciones como el telediagnóstico y la teleconsulta.

Desde hace varios años, el Grupo de Ingeniería Biomédica (GIB) y el Centro de Microelectrónica de la Universidad de los

Andes (CMUA) llevan a cabo investigaciones en instrumentación biomédica, con el fin de diseñar y fabricar dispositivos de captura y tratamiento de señales originadas en el cuerpo, que permiten a los médicos realizar diagnósticos y tratamientos. Recientemente se ha creado una línea de investigación en telemedicina, que es la aplicación de las TIC en la prestación de servicios médicos a distancia, en la cual es un factor primordial la separación geográfica entre el paciente y el médico o entre varios médicos que se consultan entre sí. Cuando se involucran acciones más amplias como la promoción y prevención en sa-



▲ El estetoscopio digital (derecha) transmite los sonidos con su propio protocolo, o utilizando sistemas de videoconferencia como Netmeeting o AccessGrid.

lud, se habla de telesalud, y en la actualidad, dado el auge de estas aplicaciones sobre la web, se utiliza un término más amplio: “e-Health”.

En telemedicina se desarrollan proyectos de investigación en temas relacionados con redes de telemedicina y sistemas de información; telemetría y telemonitoreo —basados en estándares y protocolos internacionales—. También se hace evaluación técnica y financiera de redes de telemedicina y se tratan temas de normatividad y regulación de la misma. Las investigaciones se llevan a cabo en el Laboratorio de Electrofisiología y Telemedicina del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Uno de los principales proyectos consiste en el desarrollo de aplicaciones de computación para hacer telediagnóstico basado en el estándar internacional DICOM (Digital Image Communication in Medicine), que se usa desde 1982 para gestionar imágenes médicas. Desde 2007 está a disposición de la comunidad médica el software gratuito AndesPACS¹ registrado por los investigadores de Los Andes, que puede personalizarse según las necesidades de cada especialista y que les significa ahorros en costos de operación y compra de software.

El ingeniero eléctrico Antonio Salazar, doctor en Telerradiología de la Université de Technologie de Compiègne-Francia y cabeza de las investigaciones en telemedicina, explica que el objetivo es integrar la forma de trabajar de los médicos alrededor de la norma DICOM cumpliendo con los estándares del Ministerio de la Protección Social colombiano. La herramienta permite capturar imágenes médicas y transmitir las a un lugar

¹ AndesPACS es un sistema de almacenamiento, distribución, transmisión, visualización e impresión de imágenes médicas diagnósticas. Este tipo de soluciones se conoce con la sigla PACS (*Picture Archiving and Communications Systems*). AndesPACS-Server tiene funciones de servidor y administración [Versión 1.0. 2007. Registro de Derechos de Autor 13-18-

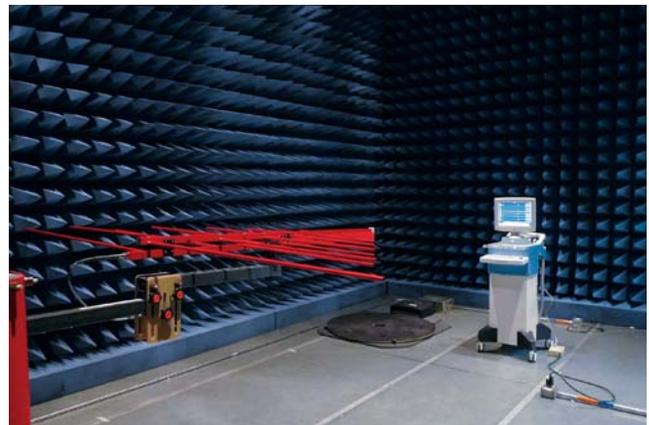
Instrumentación, otra línea investigativa

Dentro de las investigaciones biomédicas de Los Andes hay una línea de instrumentación y señales biomédicas, cuyo objeto es el desarrollo de equipos electrónicos para medicina que se ejecuta en conjunto con el CMUA. Su importancia es tal que van a crear una línea investigativa en instrumentación biomédica en el Centro de Microelectrónica.

Este grupo ha fabricado equipos como el Medivent (de mecánica respiratoria), y sistemas de comunicación para personas con discapacidad cognitiva, plantillas de monitoreo de pie diabético y dispositivos para electromiografía para estimular los músculos de discapacitados, con el fin de que puedan ejecutar actividad física.

remoto, para hacer por ejemplo diagnósticos en radiología convencional (placas de rayos X), tanto o más certeros que los que se hacen con métodos convencionales, y a bajo costo. Así lo demostró un estudio terminado en agosto de 2010 por el ingeniero Salazar y radiólogos de la Fundación Santa Fe de Bogotá (FSFB). Este estudio, financiado por la Facultad de Ingeniería y el Centro de Investigaciones de la FSFB (CEIS), será publicado en la revista indexada *Telemedicine and e-Health*, de las asociaciones americana y canadiense de telemedicina.

En el estudio intervinieron seis radiólogos de ese centro



▲ En la cámara anecoica se hacen pruebas de seguridad eléctrica y de compatibilidad electromagnética de equipos médicos.

427 de 28/08/2007. Licencia Propietaria]. AndesPACS-Viewer permite la visualización, análisis, procesamiento, envío y captura de imágenes médicas. [Versión 1.0. 2007. Registro de Derechos de Autor 13-18-428 de 28/08/2007. Licencia Propietaria]. Actualmente son utilizados en varios centros médicos del país.

asistencial que diagnosticaron tres patologías difíciles de detectar con estudios de rayos X, basados en las imágenes digitalizadas por tres equipos cuyos costos difieren radicalmente: uno especializado de 15.000 dólares, un escáner convencional de 1.800 dólares y una cámara digital de 400 dólares. Los especialistas tomaron las placas de 160 pacientes y obtuvieron 2.880 lecturas para los tres dispositivos. Se trató de un análisis estadístico de la sensibilidad y sensibilidad de los estudios, los dos parámetros usados en medicina para determinar la precisión de un mecanismo de diagnóstico, el cual demostró que los tres permiten tener una precisión diagnóstica estadísticamente similar. Esto representa una gran oportunidad para la implantación de la telerradiología en los países en vías de desarrollo mediante dispositivos de bajo costo como las cámaras digitales.

Otros proyectos

Otro de los proyectos de investigación se centra en el desarrollo e implementación en hardware de algoritmos para separar los sonidos cardiacos y pulmonares de un estetoscopio digital. "Esto es importante porque los dos sonidos llegan mezclados y eso dificulta el diagnóstico remoto —dice el ingeniero—. Además, se necesita un ancho de banda mayor". En el momento, hay prototipos desarrollados por estudiantes de pregrado y maestría.

De igual manera, se trabaja en telemonitoreo materno-infantil para disminuir el alto índice de mortalidad en Colombia. El propósito es diseñar un sistema de seguimiento a mujeres con embarazo de alto riesgo durante la gestación y el puerperio. El proyecto se desarrolla en conjunto con el profesor Antonio García y otros profesores del CMUA y con la asesoría del médico ginecobstetra Iván Gómez de la FSFB.

Un reciente tema de estudio corresponde a la certificación de los equipos médicos que desarrollan estudiantes e investigadores de Los Andes o que están en el mercado, con el fin de garantizar que son seguros eléctrica y electromagnéticamente para el paciente y para otros equipos médicos del entorno. Uno de los equipos analizados es el Medivent (de mecánica respiratoria), desarrollado por el CMUA para la Fundación Neumológica

Beneficios de la telemedicina

Para el paciente

- Minimiza tiempos de respuesta
- Mejora calidad del servicio
- Evita desplazamientos innecesarios
- Proporciona acceso a especialistas
- Cuenta con segunda opinión
- Detección temprana

Para el médico remitente

- Cuenta con el apoyo del especialista
- Disminuye riesgos profesionales
- Posibilidad de interconsulta

Para el médico especialista

- Diversidad de pacientes y casos
- Disponibilidad para procedimientos
- Ahorro de tiempo
- Reducción de costo de transporte

Para las instituciones

- Evita migración de pacientes
- Reduce costos de transporte
- Mayor cobertura
- Aumenta productividad y rentabilidad
- Integra la información
- Factor diferenciador frente a la competencia
- Disminuye riesgos y costos (por ejemplo en prisiones)

Colombiana, el cual opera en la Unidad de Cuidados Intensivos de dicha Fundación. Este fue sometido a pruebas de seguridad eléctrica y de compatibilidad electromagnética en la cámara anecoica del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (única en Colombia).

Los estudiantes Fredy Sanabria y Rafael Romero también desarrollaron un sistema de tarjetas inteligentes que almacenan la historia clínica del paciente y que el médico va actualizando. Se cargan en la billetera, de modo que en caso de accidente, los organismos de socorro saben a cuál EPS está afiliado o qué alergias tiene el herido, entre otra información útil. Este fue el mejor proyecto de innovación Cintel 2005.

Así mismo, se han realizado experimentos en telediagnóstico utilizando la plataforma Access Grid, en conjunto con el Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación, para hacer teleconferencias basadas en sistemas de computación, más económicos que los convencionales. Por ejemplo, les ponen cámara y conectan al computador los microscopios, que no fueron diseñados para hacer telemedicina, y pueden diagnosticar en tiempo real. Además, hacen modelos de evaluación financiera de redes de telemedicina, aplican técnicas de optimización para, por ejemplo, seleccionar los canales de comunicación, y ahora quieren comparar la calidad de los monitores en que se hacen los telediagnósticos midiendo su precisión diagnóstica.

Antonio Salazar es coautor de un libro de telemedicina con el médico Alberto Kopeck para el Organismo Andino de Salud, financiado por la OPS y la OMS, y del libro

Las TIC en el sector salud en Latinoamérica, financiado por la Fundación Telefónica, de España. ■



LOS GRUPOS: Grupo de Ingeniería Biomédica (GIB) y Centro de Microelectrónica de la Universidad de los Andes (CMUA).

CONTACTO: Antonio Salazar, ingeniero eléctrico, profesor asistente del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
ant-sala@uniandes.edu.co



Los fascinantes caminos del cerebro

Investigadores del grupo Imagine pretenden dar a los médicos una herramienta que les permita cruzar información visual de la anatomía y las funciones cerebrales, así como sobre los caminos por donde se mueven las señales o sobre cómo responde el cerebro a ciertos estímulos electromagnéticos.

18

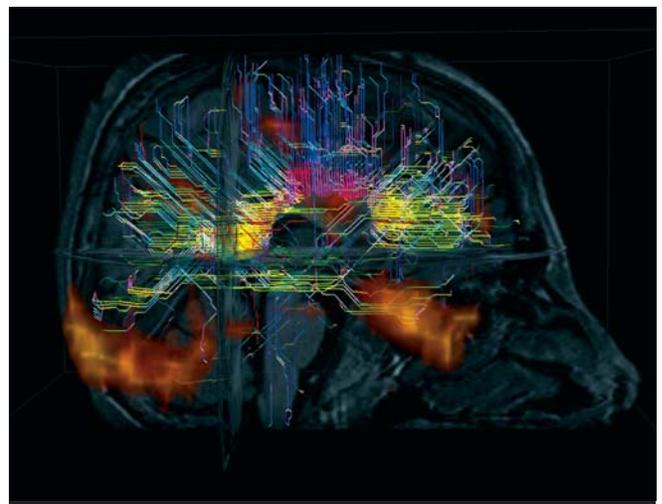
El cerebro humano es tan complejo que los médicos se especializan en tratar alguna de sus facetas, lo que dificulta generar una discusión común sobre los resultados de distintos exámenes para diagnosticar enfermedades y recomendar tratamientos. Para superar el inconveniente, investigadores del grupo Imagine de la Universidad de los Andes diseñan un software donde se puedan visualizar de manera tridimensional los resultados de diferentes imágenes diagnósticas en un mismo espacio virtual. Así podrán evidenciar relaciones entre los exámenes o indagar sobre aspectos específicos de un examen con base en información de otro, para enriquecer el análisis de esta compleja información.

Al frente de la iniciativa está José Tiberio Hernández, doctor en Diseño Aplicado por Computador–Informática Aplicada, de la École Nationale Supérieure de Technique Avancées (Francia), profesor asociado del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación, cuyos socios científicos son la Fundación Canguro, la Fundación Santa Fe y Hospital San Ignacio/Universidad Javeriana (todos en Bogotá), y la Universidad Laval, de Quebec (Canadá).

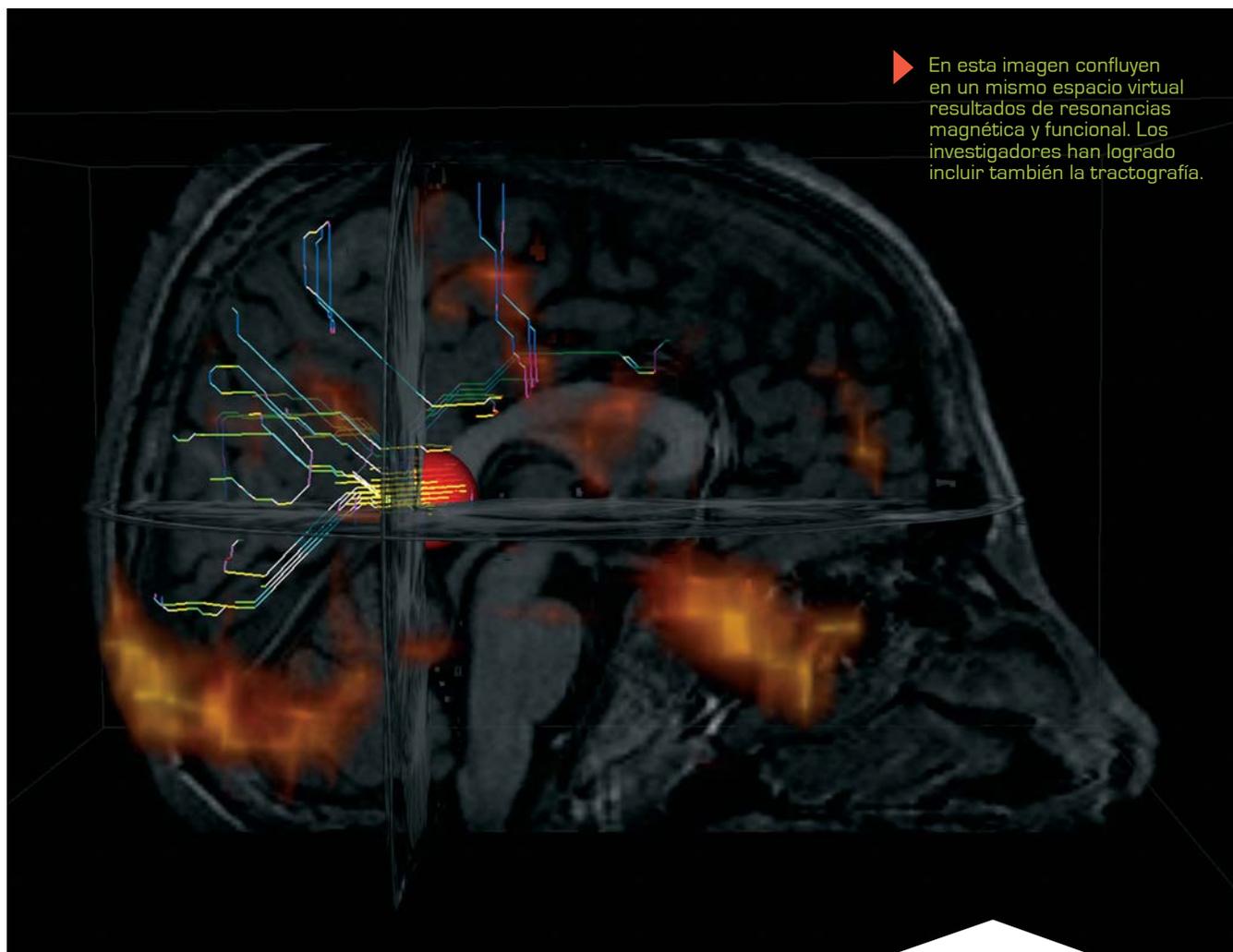
Estos trabajos sobre el cerebro son la línea más reciente de investigación del grupo Imagine, especializado en procesamiento y visualización de imágenes para apoyar la toma de decisiones. La otra línea es cardiovascular (ver pág 13). Ambos hacen parte de los estudios en Ingeniería Biomédica en Los Andes, de cuyos avances habla este número de CONTACTO.

“La preocupación es que cada vez existen más técnicas y aparatos para capturar imagen del cerebro, pero no es fácil juntar las lecturas de los especialistas médicos”, explica el profesor. Precisa que en este caso, emplean las imágenes calculadas a partir de cuatro exámenes, cada una de las cuales se concentra en un aspecto específico del cerebro: la anatomía (con base en la resonancia magnética convencional), las activaciones durante una tarea (con base en la resonancia magnética funcional),

los “caminos” por donde se mueven las señales (con base en la tractografía), o la respuesta a determinados estímulos electromagnéticos (con base en la estimulación magnética transcraniana). Estas provienen de un estudio exploratorio que adelantan las instituciones mencionadas con un grupo poblacional colombiano. En dicho estudio se tiene una cohorte de 31 niños de 15 años que nacieron con menos de 32 semanas de edad gestacional (un embarazo normal dura 40 semanas) y fueron seguidos en un Programa Madre Canguro, durante su primer año de vida. La mitad de ellos fueron cargados al menos 15 días en posición canguro por su madre en la casa y la mitad se quedaron en una incubadora. Todos recibieron el mismo apoyo y el mismo seguimiento clínico. A esta cohorte se adi-



▲ La imagen muestra la combinación de resultados de las resonancias magnéticas. Lo que está iluminado corresponde a las funciones cerebrales, lo gris es anatómico y los cables azules y morados son las conexiones por donde circulan las señales.



▶ En esta imagen confluyen en un mismo espacio virtual resultados de resonancias magnética y funcional. Los investigadores han logrado incluir también la tractografía.

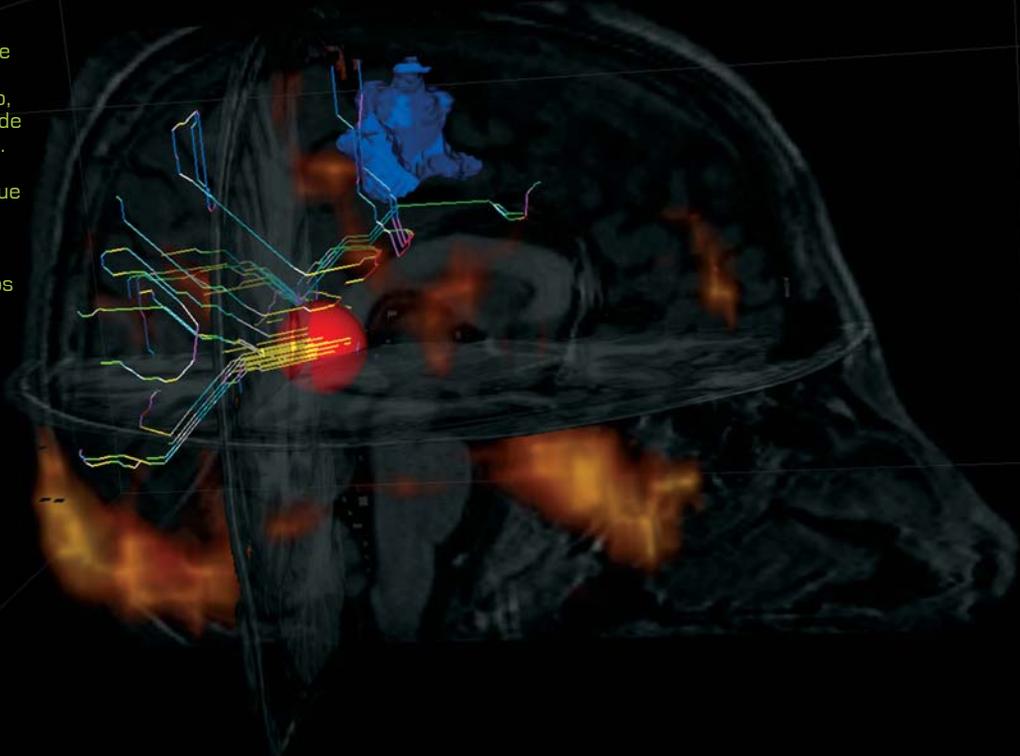
cionaron 9 niños nacidos a término de un embarazo sin riesgo, provenientes del mismo medio socioeconómico y con igual seguimiento clínico. A estos 40 niños se les practicaron los exámenes de resonancia magnética y de estimulación magnética transcraneana descritos en este artículo, además de un examen clínico completo que incluye un examen neurológico y visual y un examen de desarrollo psicomotor con evaluación del coeficiente intelectual (WISC 4 y Beery VMI). También se evaluó la calidad de vida y conducta con una encuesta al paciente, a los padres y al profesor principal de la clase (CBCL). Los resultados están en análisis.

Las imágenes de la anatomía cerebral se capturan mediante la resonancia magnética clásica que permite ver en detalle la densidad del cerebro en fragmentos de $1 \times 1 \times 1$ milímetros. Así, los médicos pueden estudiar aspectos como dónde están los ventrículos, el cuerpo caloso, el córtex, la materia blanca y la materia gris, entre otros componentes.

A su vez, la resonancia magnética funcional captura las zonas del cerebro que se activan al desempeñar una función como apretar la mano derecha o pensar en correr cuando le proyectan al paciente una imagen con esa palabra. Hernández explica que aunque la persona no puede moverse dentro del resonador, al ver la palabra se le activan la zona cerebral relacionada con el lenguaje y la parte de la zona motora de las piernas.

La tractografía, por su parte, utiliza un resonador calibrado para capturar imágenes de $1 \times 1 \times 4$ milímetros y estimar la dirección en que se mueve el agua dentro del cerebro. “Por donde se mueve el agua se mueven iones o elementos químicos con carga eléctrica y la hipótesis es que por ahí se mueven las señales cerebrales —precisa—. Al unir esas direcciones se puede estimar dónde están los cables por donde se comunican las señales, que son distintos en cada persona, y proporcionarles a los médicos más información sobre la estructura del cerebro”.

El software permite que el especialista, en un ambiente foco-contexto, pueda indagar acerca de aspectos de su interés. En estas imágenes se observan los tractos que pasan por una región de interés y las zonas de activación funcional relacionadas con dichos tractos (en azul).



Por último, la estimulación magnética transcraneana pretende inducir señales directamente en el cerebro, mediante un campo magnético dirigido con un aparato puesto en la cabeza que mide el tiempo en que la señal llega a su destino. “Por ejemplo, el neurofisiólogo le pide al paciente apretar un lápiz, pero al mismo tiempo le envía una señal magnética que le ordena abrir la pinza de la mano —dice el investigador—. Así puedo establecer los tiempos de comunicación entre los dos hemisferios”.

“La ambición de este proyecto es contribuir a los esfuerzos de los especialistas en estudios de cerebro con una herramienta de análisis visual interactivo de la compleja información ofrecida por los diferentes exámenes, que cada vez nos permiten tener más datos sobre la estructura y funcionamiento de nuestro cerebro”, afirma el profesor.

Los estudios del grupo Imagine sobre cerebro comenzaron hace dos años cuando el físico Jaime Castro, investigador en este proyecto, desarrollaba su tesis de maestría en Ciencias Biomédicas utilizando imágenes de tractografía. Su investigación consistió en calcular por dónde hay canales de comunicación o “cables” por donde viajan las señales en el cerebro de una persona usando las imágenes de 1 x 1 x 4 milímetros que arroja el resonador. Es uno de los insumos que están empleando en la investigación para crear el software que integre los exámenes del cerebro con el fin de facilitar la discusión conjunta entre los especialistas. ■

Los trabajos sobre cerebro son la línea más reciente de investigación del grupo Imagine, especializado en procesamiento y visualización de imágenes para apoyar la toma de decisiones.

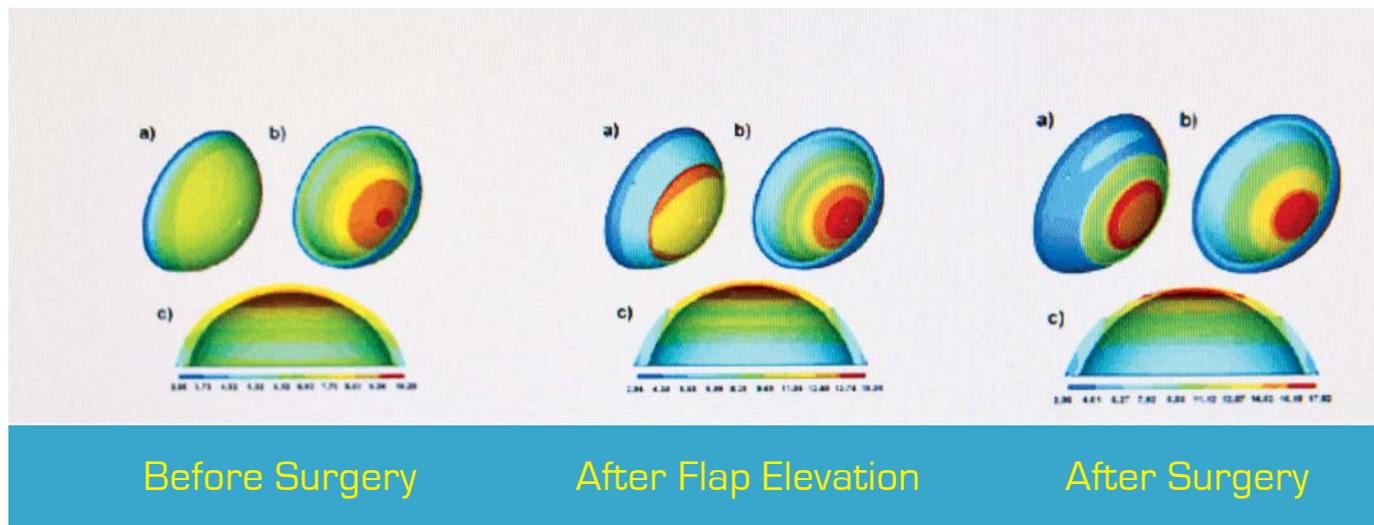


EL GRUPO: Imagine (computación visual) del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación.

CONTACTO: José Tiberio Hernández, profesor asociado del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación. Director del grupo Imagine.
jhernand@uniandes.edu.co

Biomecánica Computacional para Oftalmoloingeniería y Ortopedia

Investigadores de la Universidad de los Andes, en conjunto con el Instituto Barraquer de América y la Fundación Santa Fe, utilizan el método de elementos finitos para simular, por ejemplo, el comportamiento mecánico de la córnea y de la articulación del pulgar.



▲ Distribución de esfuerzos en la córnea antes y después de la cirugía refractiva de miopía.

D iagnosticar enfermedades, planear cirugías y predecir los efectos a corto y largo plazo de procedimientos quirúrgicos en el ojo y las articulaciones es posible mediante simulación computacional del comportamiento mecánico de los sistemas biológicos.

Biomecánica es la disciplina que aplica los principios de la mecánica para el estudio del comportamiento y respuesta de sistemas biológicos ante la acción de fuerzas que pueden ser externas y/o desarrolladas durante el funcionamiento propio del sistema. Infortunadamente, la determinación experimental *in vivo* de la respuesta mecánica de sistemas biológicos del cuerpo humano requiere métodos invasivos, los cuales, en la mayoría de los casos, no son éticamente aceptables. La alternativa,

entonces, es la simulación computacional del comportamiento mecánico de estos sistemas mediante la aplicación de diferentes métodos numéricos, de los cuales el más ampliamente usado es el de elementos finitos. Su ventaja es que no es invasivo y, por ende, no acarrea problemas éticos; además, puede aplicarse de manera particular para cada paciente específico.

En la Universidad de los Andes, al frente del desarrollo de estas herramientas para responder a las necesidades planteadas por los médicos, está el ingeniero civil Fernando Ramírez, profesor asociado del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental e integrante del Grupo de Ingeniería Biomédica (GIB) y del Centro de Investigación en Materiales y Obras Civiles (CIMOC).

Ramírez, doctor en Ingeniería con énfasis en Mecánica Computacional, de Colorado State University (Estados Unidos), trabaja en dos áreas de la Biomecánica: la Oftalmoloingeniería y el sistema óseo, campos en los que investiga con el oftalmólogo Alejandro Arciniegas, del Instituto Barraquer; Constanza Moreno Serrano, ortopedista de la Fundación Santa Fe; Andrés Guzmán, egresado del programa de Doctorado en Ingeniería de Los Andes y profesor de la Universidad del Norte, y estudiantes uniandinos.

Simulaciones en Oftalmoloingeniería

Entre las investigaciones en el área de Oftalmoloingeniería está la simulación computacional de cirugías refractivas LASIK para corregir

La herencia del Chief Amaya

El pionero en la investigación en Oftalmología en Los Andes fue el profesor Luis Enrique Amaya Isaza, fallecido hace algo más de cuatro años, quien junto con el oftalmólogo Alejandro Arciniegas, empezó a investigar sobre el ojo humano a mediados de los setenta. El Chief como era conocido en la Universidad, era ingeniero civil, con maestría y doctorado de la Universidad de Notre Dame (Estados Unidos).

Algunos de los aportes más valiosos del Chief y Arciniegas incluyen la detención de la miopía evolutiva mediante la vitrectomía radical, la corrección de la miopía simple y el astigmatismo miópico simple y compuesto por medio de incisiones dobles paralelas realizadas en los meridianos correspondientes al defecto óptico, y la corrección de los astigmatismos hipermetrópicos simples, compuestos y mixtos por medio de incisiones curvas.

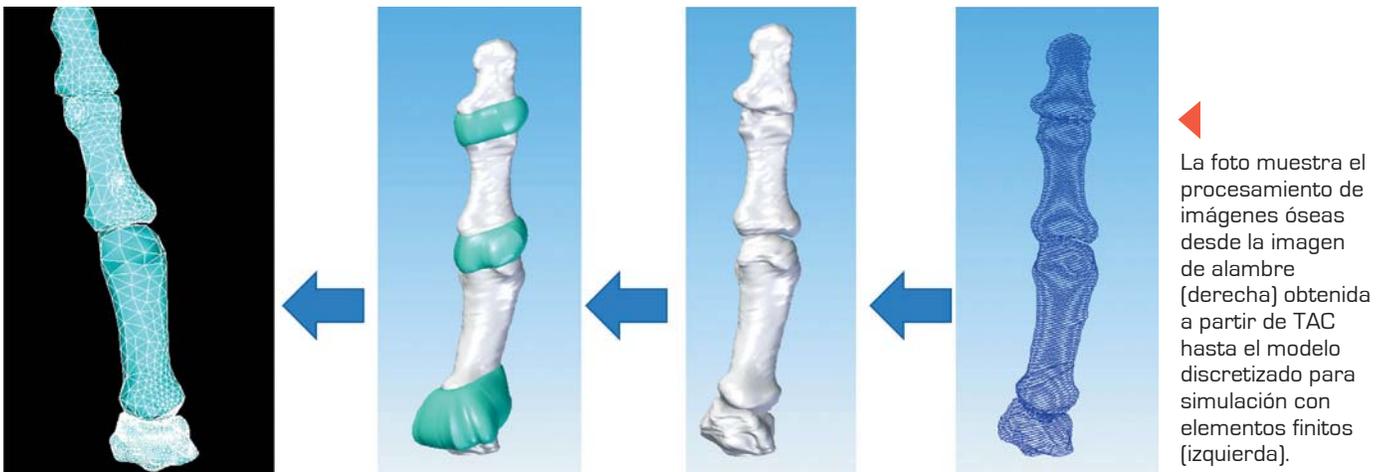
ametropías (irregularidad en la forma de la córnea que impide el adecuado enfoque de la imagen en la retina), como miopía, hipermetropía y astigmatismo. Este procedimiento consiste en levantar una capa muy delgada de la córnea y tallarla con el láser para corregir su forma, lo que genera también cambios geométricos bruscos en la córnea. Estos producen concentraciones de esfuerzos que podrían ser las responsables de las posteriores regresiones o ametropías inducidas que han sido reportadas en la literatura médica. El propósito, entonces, era tratar de explicar, con la simulación de la cirugía, por qué había regresión o por qué se inducían otras enfermedades con el tiempo. “Lo primero que propusimos —dice Ramírez— fue que estas se generan por el incremento en fuerzas o esfuerzos, junto con el comporta-

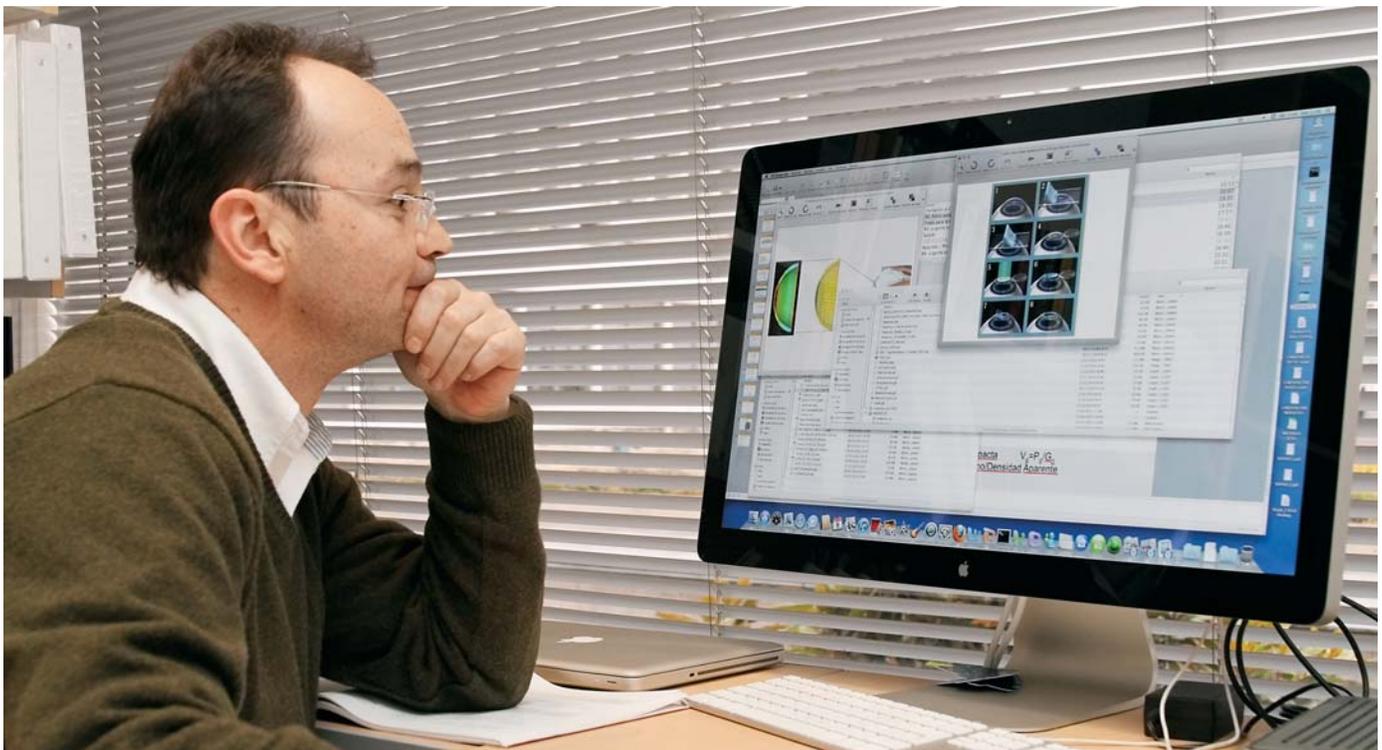
miento viscoelástico del tejido corneal, en el cual las deformaciones causadas por estos mayores esfuerzos aumentan con el tiempo”. Adicionalmente, la literatura médica recomienda que el mínimo espesor corneal residual debería ser de 250 micras sin importar el espesor inicial; pero los investigadores de Los Andes encontraron que este espesor debe expresarse como un porcentaje del espesor inicial y no en términos absolutos, de tal manera que se reduzca el cambio abrupto en la geometría corneal y por lo tanto la magnitud de los esfuerzos generados. La simulación computacional de cirugías refractivas permite, entonces, predecir el efecto real en la geometría corneal de cada paciente y, por lo tanto, planear adecuadamente la intervención.

Los investigadores también están trabajando en la evaluación experimental del

comportamiento y propiedades mecánicas del tejido corneal. El conocimiento de esta información es indispensable para la simulación computacional biomecánica de la misma. Hoy en día, no existe un consenso en la comunidad científica internacional acerca de estas propiedades y por esto se están realizando ensayos mecánicos en el Laboratorio de Ingeniería de Tejidos de la Universidad utilizando inicialmente ojos de porcinos, cuyo comportamiento es muy similar al del humano. Los resultados preliminares indican que efectivamente el tejido corneal es viscoelástico. Es decir, el tejido experimentará una disminución de esfuerzos y/o aumento en las deformaciones con el tiempo, aun sin ser sometido a solicitaciones adicionales. Sin embargo, se ha encontrado que a niveles de esfuerzo y deformación bajos, que corresponden a las condiciones fisiológicas normales, la relajación de esfuerzos y las deformaciones a largo plazo son muy pequeñas.

Otro proyecto de gran interés para el profesor Ramírez es la medida de la presión intraocular, herramienta indispensable para la detección temprana de enfermedades oculares como el glaucoma. El tonómetro de Goldmann es el dispositivo más ampliamente usado en el mundo para medir esta presión. “El problema con el tonómetro de Goldmann es que considera el globo ocular, y en particular la córnea, como una esfera de pared infinitamente delgada —explica el ingeniero Ramírez—. Pero en la disertación doctoral de Andrés Guzmán, que consistió en la simulación computacional de este procedimiento, encontramos que esa hipótesis no es válida, y que la lectura tonométrica depende en gran medida





▲ El investigador Fernando Ramírez observa imágenes de varias de sus investigaciones sobre el ojo.

de factores como las propiedades mecánicas del tejido corneal y del espesor y curvatura de la córnea". Dada la importancia diagnóstica de la medida de la presión intraocular, los investigadores han explorado diferentes alternativas para su correcta medición. "Hemos encontrado que las frecuencias naturales de vibración de la córnea están directamente relacionadas con sus propiedades mecánicas y la presión intraocular —dice el profesor—. Por esto, queremos desarrollar un prototipo para excitar la córnea humana y medir sus frecuencias naturales de vibración, de tal manera que pueda correlacionarse con la presión intraocular y obtener así un dispositivo para su medición indirecta".

El reto de simular las articulaciones

En cuanto al área de Ortopedia, el sistema mecánico por excelencia lo constituyen el sistema óseo y el muscular, entre cuyas patologías están las relacionadas con las articulaciones. La simulación computacional biomecánica de sistemas óseos es de gran importancia tanto en investigación como en la práctica médica, pues determinar el nivel de esfuerzo en dife-

rentes articulaciones serviría para explicar y diagnosticar patologías óseas, planear intervenciones quirúrgicas, diseñar prótesis, seleccionar tratamientos, tipo y tamaño del implante, etc. Los investigadores de Los Andes han trabajado en el estudio de la articulación trapecio-metacarpiana, localizada en la muñeca, en la base del pulgar, la cual es quizás una de las más importantes del complejo osteoarticular de la mano, pues asume cerca del 50% de la función prensil durante las maniobras de agarre de objetos. Se busca evaluar el nivel de esfuerzos a que es sometida esta articulación en condiciones normales de trabajo para tratar de explicar su desgaste y desarrollar una herramienta computacional para diseñar y seleccionar el implante más adecuado dependiendo del paciente específico.

Para simular sistemas óseos se requiere reconstruir la geometría de huesos y tendones. Sin embargo, los procedimientos existentes para este fin no son automáticos, lo que dificulta y alarga la tarea. Por eso, pretenden desarrollar una aplicación computacional que, a partir de imágenes médicas tales como resonancias magnéticas y tomografías axiales computarizadas, y usando NURBS (nonuniform racional B-splines) y la técnica de cuerpos deformables, permita generar y discretizar modelos tridimensionales de sistemas óseos. "Esta aplicación será una herramienta que permitirá la fácil y rápida simulación de casi cualquier parte del sistema óseo con fines de diagnóstico, planeación de tratamientos y diseño de implantes", dice Ramírez. ■



LOS GRUPOS: Grupo de Ingeniería Biomédica (GIB) y Centro de Investigación en Materiales y Obras Civiles (CIMOC).

CONTACTO: Fernando Ramírez, ingeniero civil, profesor asociado del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. framirez@uniandes.edu.co

Una membrana mágica

Una investigación sobre un injerto vascular de colágeno, con posibilidades de aplicación a escala mundial, puede dar origen a una empresa. Los investigadores desarrollan, al mismo tiempo, las cuestiones científicas y las de negocio. Un ejemplo que ilustra cómo debería ser el futuro.

A la par que Juan Carlos Briceño y dos alumnas suyas trabajan en una innovación que sustituiría las prótesis que se emplean en la reparación de arterias —el primer injerto que regeneraría vasos sanguíneos—, realizan un plan de negocios de la empresa que se constituirá en caso de que este invento supere con éxito todas las etapas de experimentación y sea aprobado para uso en humanos.

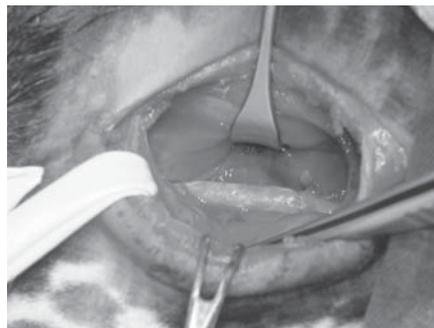
Y es que Juan Carlos Briceño, ingeniero mecánico con doctorado en Ingeniería Biomédica de la Universidad de Texas, profesor titular del Departamento de Ingeniería Mecánica y director del Grupo de Ingeniería Biomédica (GIB), lleva más de 20 años en investigaciones y ya sabe que la innovación da réditos. Ejemplo de ello es la empresa Biomaster Ltda., en la que tiene participación junto con el cirujano maxilofacial Fernando Briceño, y de la ingeniera química Diana Marcela Tabima, que nació de las investigaciones en el mismo material biológico del cual están hechos los injertos (submucosa intestinal porcina) para la regeneración de hueso maxilar (ver pág. 11).

Ese producto es la base de la innovación que trabaja en la actualidad Briceño con la estudiante de doctorado en Ingeniería Biomédica Diana Sánchez, ingeniera mecánica, y la bióloga y magíster en Ciencias Biomédicas Lina María Quijano. Briceño ha dirigido esta investigación que tiene sus antecedentes en diversos estudios que empezaron hace diez años: la exploración de la posibilidad de hacer piel artificial, idea que trabajó con el entonces estudiante Juan Manuel Díaz; y el soporte de polímeros biodegradables para la regeneración de células, desarrollado por Andrés González Mancera en su proyecto de grado. Esto devino en el estudio de la submucosa intestinal porcina —proveniente del intestino delgado—, un tejido con propiedades sorprendentes, porque después de un tiempo regenera



▲ La patente de protección del procedimiento para desarrollar los tubitos de colágeno, que remplazarían las arterias se encuentra en trámite.

el tejido sobre el cual se implanta, con células propias del paciente.



▲ Procedimiento de implantación de un injerto vascular de colágeno en una arteria carótida bovina.

A partir del 'descubrimiento' de este tejido empezaron a trabajar en él hasta obtener una membrana de colágeno —que en todos los mamíferos es muy similar por lo cual el cuerpo no la rechaza—. Con un proceso mecánico se obtiene la capa submucosa del intestino y con un proceso químico se deja totalmente acelular. Después se fabrican tubos del tamaño y grosor necesarios para remplazar las arterias. Esta matriz de colágeno funciona como un soporte al que se adhieren las células del paciente y la colonizan hasta regenerar una nueva arteria.

En una de las líneas del Grupo de Ingeniería Biomédica, en el seno del cual se realiza la investigación, siempre se ha trabajado en soluciones para el sistema cardiovascular. Señala Juan Carlos Briceño: "Particularmente nos interesa la cirugía cardiovascular pediátrica porque cuando se reemplaza una arteria de un niño con un injerto sintético, al cabo del tiempo, hay que reemplazarlo pues este no crece con ellos. Como el injerto de colágeno regenera y después de un corto tiempo da lugar a una arteria propia, no hay necesidad de cambiarla".

La primera parte de la investigación tuvo que ver con la fabricación de los tubos, que se hacen con moldes de la forma requerida y se pueden almacenar. Ya está en curso el trámite de las patentes que protegen tanto este procedimiento como el de la obtención de las membranas de colágeno.

Ahora, experimentan con mamíferos, en arterias carótidas, y en su curso han observado algunos problemas, como una reacción inflamatoria que sucede en el primer mes, y la formación de trombos, promovida por el contacto con el colágeno: "La inflamación disminuye a medida que las células van colonizando la matriz, pero uno de los conflictos presentados es que el colágeno es trombogénico, y las terapias antitrombogénicas y anticoagulantes no están muy desarrolladas para animales, por lo cual no hemos podido controlarlo en nuestros modelos animales. Adicionalmente, como se ha pensado aplicarlo en cirugía pediátrica vascular, la dificultad es mayor pues durante el crecimiento hay mucho calcio en el organismo y el calcio es como la gasolina para la generación de trombos. Una opción es cubrir los tubitos con heparina, un anticoagulante".

Aunque las arterias de los bovinos en los que se realizaron los primeros experimentos eran pequeñas, y por lo tanto más difíciles de reemplazar y regenerar, se observó cómo, a los seis meses, varios injertos se convirtieron en una arteria estructuralmente arraigada, con todos los tipos de células organizadas en las tres capas propias. Las pruebas se llevan a cabo en la sala de cirugía experimental de la Fundación Cardioinfantil con quien el Grupo de Ingeniería Biomédica desarrolla diversos proyectos de investigación desde hace 25 años.

Además de la aplicación en niños, están comenzando a estudiar la utilización de los tubos de colágeno en fístulas arteriovenosas para pacientes en hemodiálisis: en la actualidad, este procedimiento se realiza con un injerto sintético que se implanta en el brazo conectando una arteria con una vena, y se tapa después de un tiempo, por lo que es necesario reemplazarlo. "Queremos hacer esa fístula en este material que se regenera



▲ Lina María Quijano, Diana Sánchez Palencia y Juan David Pérez, investigadores del proyecto de injertos vasculares de colágeno.

pensando en que posiblemente tendría una mayor duración que la del que se usa hoy. Es un destino interesante porque hay muchos pacientes en hemodiálisis", señala Juan Carlos Briceño, quien comenta que también han estudiado el uso de los tubos en venas, pero que en este caso los injertos se ocluyen mucho más que las arterias por la baja presión sanguínea.

Como las posibilidades de este injerto son evidentes presentaron el proyecto en Ventures, el concurso de planes de negocio más grande de Colombia, que promueve y asesora iniciativas innovadoras. Luego de dos capacitaciones y cuatro filtros de selección, el proyecto quedó entre los 10 finalistas

entre más de 1.000 proyectos concursantes, por lo cual obtuvieron un premio honorífico para asesoría jurídica en el montaje de una empresa que se llamará SiSgraft: "Tenemos el nombre y las proyecciones del negocio. Además, el producto es de interés internacional porque en el mundo no hay un injerto vascular regenerativo", apunta el ingeniero mecánico.

La investigación avanza. "Estamos buscando un modelo animal en el cual podamos evaluar el injerto de manera más controlada, pues esto tiene que ver con el control de la formación de coágulos: buscamos el animal apropiado y la arteria apropiada, debido a que necesitas diámetro, buena presión sanguínea, un animal más grande porque en los conejos, el último modelo que hemos estado estudiando, las venas y las arterias son muy pequeñas y no conocemos los mecanismos de coagulación en ellos para generar los trombos. Adicionalmente, en humanos las terapias anticoagulantes son muy efectivas, por lo que también estudiamos cuáles serían las más adecuadas para favorecer la regeneración".

El trabajo ha tenido un costo superior a los 500 millones de pesos. Estos recursos provienen de Colciencias, la Fundación Cardioinfantil y la Universidad de los Andes. Mientras está en la etapa de investigación no será tan difícil conseguir la financiación. Y luego, incluso si la empresa es exitosa, tendrán que evaluarla como se valoran los negocios: no temerle a vender si hay una buena oferta. ■



EL GRUPO: Grupo de Ingeniería Biomédica (GIB).

CONTACTO: Juan Carlos Briceño, ingeniero mecánico, profesor titular del Departamento de Ingeniería Mecánica y director del Grupo de Ingeniería Biomédica (GIB).
jbriceno@uniandes.edu.co

Imágenes para entender los corales

La observación de los canales de alimentación de esta asociación de algas y pólipos permitirá entender la biología de una especie marina que está extinguiéndose.

26

Por primera vez en el país es posible ver imágenes en tres dimensiones de los canales de alimentación del coral, gracias al software creado por la ingeniera de sistemas y computación Marcela Hernández profesora asociada del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación,

con el concurso del biólogo marino Juan Armando Sánchez, doctorado en Ciencias Biológicas de la State University of New York en Buffalo (Estados Unidos), director de Investigaciones y Posgrados de la Facultad de Ciencias de Los Andes, y director del Laboratorio de Biología Molecular Marina (Biommar), proporciona los corales

a los cuales se les hace una tomografía axial computarizada de alta resolución, de micrómetros o microTAC.

La posibilidad de apreciar los canales de alimentación del octocoral se debe a la investigación que Hernández y varios estudiantes de maestría y doctorado de Los Andes realizan a partir imágenes de rayos

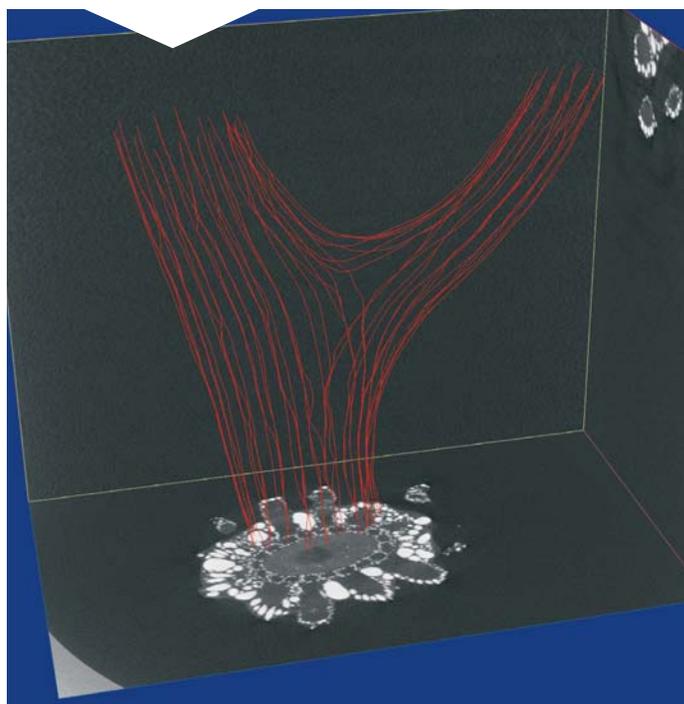


▲ Octocoral *muricea* del cual se hizo el estudio de los canales.

X obtenidas por microTAC, adquiridas en el Laboratorio Mateis del INSA y con la colaboración del Laboratorio Creatis, ambos de Lyon (Francia). En poco tiempo, gracias a la tecnología del detector Medipix, las imágenes incluirán no solo los escleritos que separan los canales sino también el colágeno y otros tejidos blandos que conforman el coral que ahora no se registran porque el microTAC solo captura las estructuras calcificadas. Esta parte del proyecto contará con la participación del profesor Bernardo Gómez, investigador del laboratorio de Altas Energías de Los Andes.

Hernández señala que si bien las imágenes no inciden directamente en la conservación de este animal marino, la herramienta de trabajo ayuda a los biólogos a conocer mejor una de las bases de la vida marina. Su extinción es un efecto más del calentamiento global y la consecuente acidificación oceánica, por exceso de CO₂.

El área fuerte de investigación de Hernández, con doctorado en Imágenes y Sistemas del Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Lyon (Francia), es el sistema cardiovascular humano y el diagnóstico de sus patologías. Desde hace tres años trabaja con Juan Armando Sánchez en el proyecto de canales de corales, no solo por la experiencia del grupo de Ingeniería en imágenes vasculares sino además por la analogía del sistema humano con el marino. "La estructura interna del coral es una red vascular, una pseudovasculatura por la que transmiten y comparten todos los alimentos. Los canales son diminutos, tienen entre 50 y 150 micrones. Hasta ahora se disponía de imágenes obtenidas con microscopio de sectores muy específicos, por cortes



▲ En la imagen se observa la extracción de canales internos de octocorales sobre imágenes de microtomografía axial computarizada. La visualización de las redes de canales permitirá evaluar esta estructura, el nacimiento, las uniones y las bifurcaciones.

transversales; se habían hecho algunos esquemas pero no se había visto la red y menos en tres dimensiones. De esta manera, ayudamos a los biólogos a entender cómo es esa estructura interna". Las imágenes han revelado, por ejemplo, que el diámetro del canal no se mantiene estable en una misma colonia, "y además, al final, cuando llegan al pólipo, se unen".

Gracias a esta herramienta, también han visto "cuántos canales hay en la base del coral, cómo se ramifican, que hay canales que crecen de la nada en la mitad del coral, que algunos desaparecen y otros se fusionan, que no todos llegan a los pólipos, y en varias muestras hemos estudiado la relación existente entre los patrones de crecimiento y ramificación del coral con la pseudovasculatura interna. Analizamos cuál es la relación entre tamaño del canal y el coral", señala Marcela Hernández.

Además de lo anterior, la investigadora y algunos de sus estudiantes han diseñado otras dos aplicaciones, proyectos que trabajan con Biommar: con uno de ellos estudian la superficie de estos animales cuando han sido atacados por un hongo marino que los devora; con el otro miden la calcificación de los corales.

"Podemos establecer los estragos de los hongos en el coral abanico de mar y calcular las curvas de recuperación y decrecimiento y del efecto del hongo", señala.

La acidificación del océano —por el exceso de CO₂— impide la calcificación de los corales, cuya estructura es calcéina. "Medimos las tasas de calcificación en diferentes sitios del océano sobre escleritos de coral, una estructura muy particular donde está la

calcificación", explica Hernández.

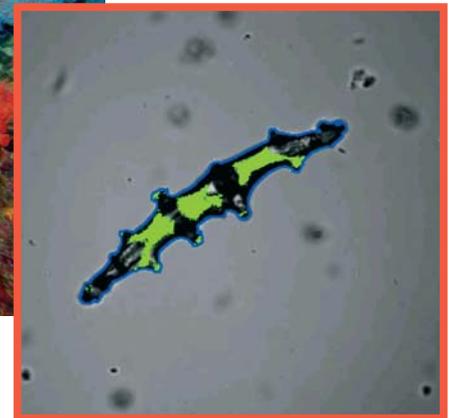
Aunque las herramientas diseñadas en Los Andes no tienen una incidencia directa en la protección del coral, es claro que proporcionan un elemento de trabajo a los biólogos preocupados por su conservación.

La muerte del coral

Uno de los efectos del calentamiento global es la acidificación del océano, por exceso de CO₂. El biólogo marino Juan Armando Sánchez, explica que el mar captura una de cada tres moléculas de CO₂ que entra al océano, de tal forma que cuanto más gas haya en el aire habrá también mayor cantidad en las profundidades. Esto hace que el agua sea más ácida, con el consecuente efecto en la vida marina. Una de las investigaciones que realiza el biólogo marino, apoyado en las imágenes que le proporcionan Marcela Hernández y el grupo Imagine, pretende



▶ La foto corresponde a una adquisición de microscopía confocal en donde se han segmentado el esclerito (región enmarcada en azul) y la calceína que se adhirió al mismo (región en verde). El porcentaje de calceína que presenta el esclerito representa la tasa de calcificación del coral. A la izquierda, el abanico de mar.



averiguar el efecto del calentamiento global en los corales del Pacífico. La hipótesis de trabajo es que la acidificación disminuye la calcificación del coral y lo debilita.

“Necesitábamos conocer la estructura del coral a un nivel microscópico para medir qué componentes se podían afectar a esa escala porque los primeros efectos de la acidificación del agua son muy difíciles de evaluar. El grupo Imagine nos ha apoyado en el análisis de los datos de una manera especializada, y nos permite estudiar la calcificación en períodos de tiempo cortos para investigar el efecto que tienen las variaciones del pH (alcalinidad) y la temperatura del agua sobre el coral. Además, como científicos nos interesa conocer muy bien por qué se organizan las cosas de esta manera o de otra y con Marcela encontramos un problema común: queríamos entender analíticamente cómo se organiza el coral con un modelo matemático”.

El coral es un organismo que genera hábitat a todo tipo de especies: por ejemplo, es hogar para los huevos de algunos tiburones, para caracoles y can-

grejos, y da refugio a peces pequeños que se esconden de los depredadores. En octocorales de Noruega se han encontrado más de 6.000 individuos de 16 especies de crustáceos y en corales se han contabilizado, mediante técnicas metagenómicas, 3.000 especies diferentes de bacterias. Pero además, explica el biólogo marino Sánchez, los corales cumplen la función de atrapar parte de la energía que se genera en la superficie del océano y permiten que esta llegue hasta las profundidades, por el intercambio que hay entre los organismos que viven allí y los que se alimentan de ellos. Y, contrario a lo que se cree popularmente, se encuentran no

solo en los trópicos: también en la Antártica, y hasta profundidades de 8.000 metros.

Pero la mayor presencia de CO₂ en el océano está afectando la calcificación de los corales y, sumado a otros factores, puede ocasionar su desaparición. “Todos los organismos que se benefician de él desaparecerían también, lo que ocasionaría una disminución de la diversidad, así como esa estructura física que ayuda a detener las corrientes y a generar complejidad biológica”, afirma Juan Armando Sánchez. ■



EL GRUPO: Imagine, del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación.

CONTACTO: Marcela Hernández, ingeniera de sistemas y computación, profesora asociada del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación.

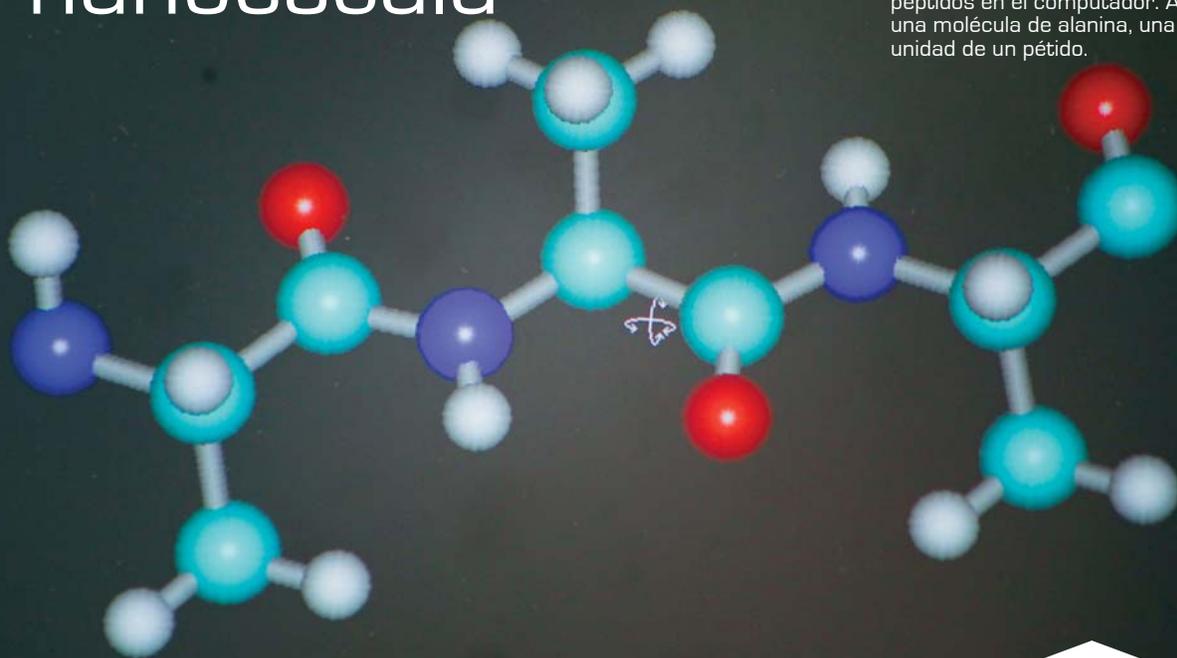
marc-her@uniandes.edu.co

Juan Armando Sánchez, biólogo marino, director de Investigaciones y Posgrados, profesor asociado del Departamento de Ciencias Biológicas.

juansanc@uniandes.edu.co

La salud se investiga a nanoescala

▶ La búsqueda de tensoactivos menos contaminantes para estabilizar las emulsiones es un propósito de las investigaciones. Para ello modelan diferentes péptidos en el computador. Acá una molécula de alanina, una unidad de un péptido.



En los laboratorios de Bioquímica, de Micología y Fitopatología y de Procesos Químicos, entre otras instalaciones, profesores y estudiantes sintetizan nanopartículas y moléculas que afectan al ser humano y plantas como el tomate y el banano.

Modelar moléculas para combatir el marchitamiento de las plantas de tabaco, banano y tomate o para minimizar los efectos secundarios de la quimioterapia convencional con un método que localiza nanopartículas en el tumor cancerígeno son algunas de las investigaciones en nanobiotecnología en la Universidad de los Andes. Los estudios en la escala nano también se centran en la búsqueda de sustancias tensoactivas, necesarias para la industria cosmética, que sean menos contaminantes y provengan de fuentes distintas a la industria petroquímica. Además, pretenden implementar un biosensor para detectar la bacteria patógena causante de la úlcera gástrica y estudiar el movimiento y el efecto en los tejidos de nanopartículas presentes en medicamentos y cosméticos.

Los investigadores en nanobiotecnología están liderados por los ingenieros químicos Andrés González Barrios y Watson L. Vargas, de cuyos trabajos se hablará en este número de CONTACTO. También los encabeza el ingeniero eléctrico y electrónico Johan

Facelo Osma, quien se ocupa del diseño de microsistemas a los que inyecta enzimas encapsuladas para reducir la toxicidad y la turbidez a los tintes de la industria textil (ver CONTACTO número 2, octubre de 2010). Los trabajos responden al nuevo enfoque de la carrera de Ingeniería Química en la Universidad, que hace énfasis en el diseño de productos y procesos.

Moléculas diseñadas en escala nano

El ingeniero químico Andrés González Barrios, doctor en Ingeniería Química de la Universidad de Connecticut (Estados Unidos), lidera dos investigaciones en bionanotecnología, en las que diseña moléculas en escala nano (10 a la menos 9 metros).

La primera de ellas se lleva a cabo en los laboratorios de Bioquímica y de Micología y Fitopatología (LAMFU), de la Universidad, para estudiar la interacción del agente patógeno *Ralstonia solanacearum*. Este microorganismo se introduce en el sistema vascular de las plantas de tabaco, banano y tomate y causa su



▲ Mayra Quiroz, Lina Ubaque, Ángel Galvis y Juan Rodrigo Reyes son algunos de los estudiantes que investigan con el profesor Watson L. Vargas (derecha).

marchitamiento por la expresión de un polímero. González explica que para hacerlo, el microorganismo necesita saber cuántos individuos iguales a él tiene a su alrededor y para censarlos emite una señal. De ahí que se propusieron encontrar una molécula que degrade esas señales (ya la hallaron) y ahora estudian si realmente inhibe todos los procesos que se dan en la bacteria para atacar la planta.

El otro estudio se realiza en colaboración con la Universidad Nacional de Medellín y se relaciona con la búsqueda de tensoactivos, sustancias empleadas para estabilizar las emulsiones que utilizan industrias como la cosmética. Usualmente, los tensoacti-

vos provienen de la industria petroquímica, cuyos recursos son finitos y muy contaminantes, pero también están presentes en la naturaleza.

González precisa que estabilizar las emulsiones significa poner a convivir las sustancias hidrofílicas e hidrofóbicas que las componen. Esto puede hacerse por ensayo y error, que resulta muy costoso, o mediante el método de “dinámica molecular” que usa modelaje computacional para simular la convivencia entre las sustancias hidrofóbicas e hidrofílicas, y determinar su estabilidad en el tiempo. Actualmente, están obteniendo y purificando las proteínas en el laboratorio para hacer pruebas de estabilidad y usando las salas de computadores de la Facultad de Ingeniería durante la noche con base en un *grid* para modelar diferentes péptidos (proteínas pequeñas)

y obtener la respuesta rápidamente. “Queremos usar los computadores de una sala de la Universidad como centro de procesamiento y diseño de moléculas —dice el ingeniero—. Lo novedoso es que usaremos las tarjetas de video o unidades de procesamiento gráfico (GPU) para hacer el modelamiento de un péptido diferente en cada una de ellas”.

Estudios para mitigar el impacto de la quimioterapia

El ingeniero químico Watson L. Vargas, doctor en Fenómenos de Transporte de la Universidad de Pittsburgh (Estados Uni-

Modelamiento a micro y nanoescalas

El Centro de Microelectrónica de la Universidad de los Andes (CMUA) desarrolla proyectos de modelamiento de propiedades térmicas y eléctricas a micro y nanoescalas liderados por Alba Ávila, profesora asociada del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. El interés en transporte térmico —explica la profesora Ávila—, ha permitido estudiar nuevos límites de disipación térmica para aplicación en nanodispositivos electrónicos, control de flujo térmico en dispositivos multiplexores y conductividad térmica en nanoestructuras. Dentro de este tema cabe destacar la consultoría prestada a Semiconductor Research Corporation (SRC) para determinar los límites

fundamentales de disipación térmica que han guiado el desarrollo de iniciativas en nanoelectrónica definidas por la National Science Foundation (NSF) del gobierno de Estados Unidos y empresas líderes en producción de dispositivos semiconductores.

En el campo de propiedades eléctricas, el grupo tiene proyectos de colaboración con la Universidad de Cornell, para crear modelos a partir de mediciones de técnicas basadas en microscopía de barrido, para determinar distribución de carga dentro de nanofibras de poliestireno, utilizadas en sistemas de aire acondicionado, y para la caracterización de materiales compuestos. Actualmente el CMUA también se enfoca

en la caracterización y actuación de materiales nanoestructurados para usarlos como actuadores ópticomecánicos y en la optimización de su respuesta a partir de la concentración y características de las nanoestructuras, explorando nuevas técnicas electrostáticas basadas en microscopía de Fuerza Atómica (AFM).



EL GRUPO: Centro de Microelectrónica de la Universidad de los Andes (CMUA).

CONTACTO: Alba Ávila, profesora asociada del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. a-avila@uniandes.edu.co

dos), y varios estudiantes de pregrado y maestría en Ingeniería Química, adelantan investigaciones cuyos efectos pueden tener implicaciones importantes en el ser humano.

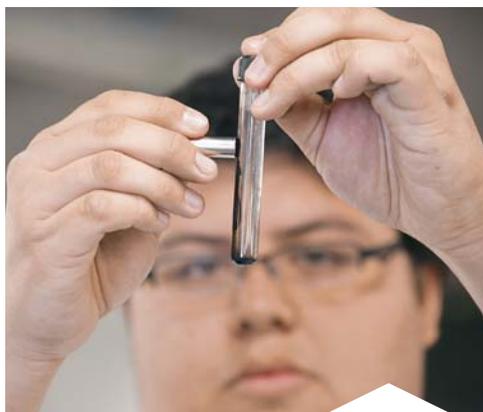
Uno de estos trabajos se centra en la síntesis y caracterización de nanopartículas magnéticas funcionalizadas con agentes antitumorales. Es decir, generan una partícula de óxido de hierro (magnetita) recubierta con óxido de silicio, en cuya superficie se adhiere un anticancerígeno, y que se puede manipular con campos magnéticos externos. Este procedimiento, que aplica aproximaciones que aún no se han reportado en la literatura científica, busca minimizar los efectos secundarios de la quimioterapia convencional, pues permite localizar las partículas específicamente en el tumor, sin afectar las células buenas que lo rodean. También se propone aumentar la capacidad del principio activo para reducir el tumor de forma más efectiva.

Ya lograron que funcionara el puente entre la nanopartícula y el antitumoral, caracterizaron la partícula e hicieron pruebas biológicas de citotoxicidad y de genotoxicidad en los laboratorios de Procesos Químicos, de la Facultad de Ingeniería; de Genética Humana, de la Facultad de Ciencias, y de Superconectividad, del Departamento de Física. Además, redujeron la actividad hemolítica, un logro importante por cuanto los antitumorales causan anemia por el rompimiento de los glóbulos rojos o hemólisis. Ahora, el objetivo es hacer pruebas de localización de las partículas para poder manipularlas usando campos magnéticos y efectuar pruebas *in-vivo* en animales.

Biosensores para detectar bacteria causante de úlcera gástrica

Estudiantes de sexto semestre de Ingeniería Química trabajan un proyecto de mitad de carrera para desarrollar un biosensor que detecte patógenos en agua con sondas de ADN y nanopartículas de oro. La bacteria escogida es la *Helicobacter pylori*, causante de la gastritis crónica, enfermedad que puede derivar en cáncer gástrico, uno de los más frecuentes en la población colombiana.

El biosensor funciona en dos etapas: una de hibridación y otra de detección. En la primera, se calienta agua con la cadena de ADN de la bacteria hasta 95 grados Celsius para separar la doble hélice del ADN en dos cadenas sencillas, proceso que se denomina denaturación. Luego se utiliza un primer sintético de la bacteria, que es una secuencia corta o fragmento específico de su ADN y se calienta hasta 55 grados Celsius para hibridarla con una de las dos cadenas sencillas de ADN. Posteriormente,



▶ Los investigadores generan una nanopartícula de óxido de hierro (magnetita) recubierta con óxido de silicio, le adhieren un anticancerígeno y la manipulan con campos magnéticos externos. Buscan reducir los efectos de la quimioterapia.

se lleva a cabo la etapa de detección, en la que al combinar el producto de la hibridación con nanopartículas de oro coloidal, se obtiene un cambio de color si está presente la bacteria. Las pruebas preliminares indican que el biosensor desarrollado es específico para el patógeno de interés; trabajos futuros en este tema intentarán extender esta aproximación a otros patógenos tales como *E. Coli* y *Salmonella*.

Transporte de nanopartículas

En la industria se están usando nanopartículas para la producción de alimentos, medicinas y cosméticos sin evaluar detalladamente los efectos secundarios que pueden causar en el organismo humano. Así, por ejemplo, un bloqueador solar puede cumplir

su función de impedir la entrada de los rayos, pero ocasionar daños en órganos vitales, debido a la presencia de material nanoparticulado. Por eso, en un proyecto de grado de maestría, se decidió estudiar el transporte de nanopartículas en medios complejos (medios biológicos) para evaluar su toxicidad en los tejidos, estableciendo cómo se mueven las nanopartículas al ponerse en contacto con la piel.

Mediante la técnica *in-vitro*, en el Laboratorio de Bioprocesos de la Facultad de Ingeniería, se expondrá piel de cerdo a nanopartículas de óxido de silicio, zinc y titanio y se analizará si estas ingresan a la capa que está debajo de la dermis y de ahí potencialmente se transportan hasta el torrente sanguíneo y, por ende, a otros órganos. También se estudiará si causan efectos en esos órganos. Además del modelo experimental, se hará simulación computacional para describir el fenómeno del transporte y se utilizarán señales fluorescentes para visualizarlo. ■



EL GRUPO: Diseño de Productos y Procesos (GDPP).

CONTACTO: Andrés González Barrios, ingeniero químico, profesor asistente del Departamento de Ingeniería Química.
andgonza@uniandes.edu.co



Watson L. Vargas, ingeniero químico, profesor asistente del Departamento de Ingeniería Química.
wvargas@uniandes.edu.co

Biocombustibles, en busca de alternativas sostenibles

Cuatro investigaciones de la Facultad de Ingeniería buscan, por diferentes métodos, ofrecer al país combustibles verdaderamente competitivos, a partir de residuos o subproductos de la industria. Así se proponen soluciones a la implementación de tecnologías y energías sostenibles.

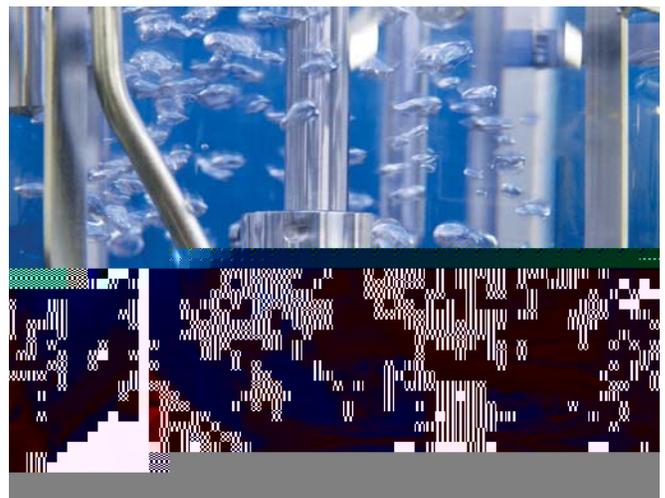
32

La investigación en biocombustibles de segunda generación, que se podrían obtener a partir de biomasa —residuos lignocelulosos de la agroindustria colombiana— para producir etanol o gasolina, además de otros subproductos, es una búsqueda en la que están empeñadas cuatro investigaciones de la Facultad de Ingeniería. Estos biocombustibles serían verdaderamente amigables con el medio ambiente, no competirían con la industria alimentaria ni comprometerían el cultivo de tierras para producir energía para los automóviles —como sucede hoy con la caña de azúcar y con la palma de aceite— y, además, solucionarían un problema de utilización de los subproductos derivados de estas industrias que son contaminantes y representan un problema para un país como Colombia, donde se produce en enormes cantidades.

Las investigaciones, que buscan enfrentar el tema con cuatro procedimientos diferentes, podrían ofrecer alternativas o complementos viables a los combustibles fósiles, responsables en buena medida de la emisión de los gases de efecto invernadero. Sin embargo, las tecnologías existentes para la obtención de biocombustibles implican una inversión que no puede competir con los derivados del petróleo, aunque las investigaciones que se realizan en todo el mundo pueden solucionar este escollo al cabo de 10 o 15 años.

En Colombia se utilizan caña de azúcar y palma de cera para obtener etanol, biogás y biodiesel, con una evidente competencia frente a productos de la canasta familiar —el azúcar y el aceite de palma— y comprometiendo tierras de cultivo de alimentos para satisfacer la demanda, que aumentará en 2012, cuando entre en vigor el documento Conpes 3510 que determina que la gasolina deberá contener un 20% de este alcohol. Para evitar esa competencia entre el consumo humano y el de los carros se propone producir biocombustibles que utilicen como sustrato derivados industriales o desechos. Esa es la línea de investigación que atraviesa los proyectos de diferentes departamentos de la Facultad de Ingeniería: Manuel Rodríguez, profesor del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, trabaja en la

producción de biocombustibles a partir de excrementos y de basuras; Rocío Sierra, profesora del Departamento de Ingeniería Química, a partir de la fermentación de residuos lignocelulosos; Gerardo Gordillo, profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica, con la conversión de biomasa en combustibles gaseosos o líquidos, usando procesos termoquímicos. Andrés González Barrios, profesor del Departamento de Ingeniería Química, está involucrado en tres investigaciones. En la primera emplea modelos computacionales para optimizar el metabolismo de una bacteria y así acelerar la producción de etanol a partir de subproductos de la industria del aceite de palma —Colombia es el tercer productor del mundo— como el glicerol, un alcohol, del cual hay sobreoferta. También participa en otra investigación que busca microorganismos nativos del país capaces de sintetizar varias clases de alcohol, así como otros diferentes en una librería metagenómica que degraden la tusa de palma de



▲ Como el etanol es tan corrosivo para los motores, las investigaciones en el mundo estudian alternativas con otros alcoholes, como el butanol y el 1.3 propadienol.



Los biocombustibles, como una alternativa a los de origen fósil, reducirían la contaminación por emisión de gases de efecto invernadero. Las investigaciones apuntan a encontrar opciones competitivas frente a la gasolina.

aceite para aumentar la eficiencia del proceso de producción de etanol.

Explica González Barrios, ingeniero químico, doctorado en Ingeniería Química de la Universidad de Connecticut, que el etanol, el alcohol que tradicionalmente se usa como combustible, tiene varios problemas: es de difícil almacenamiento porque es muy volátil; es muy corrosivo en motores, problema que se acentúa a mayor concentración. Y de un litro de gasolina se obtiene más energía que de un litro de etanol, lo cual incide en la potencia del carro. Conscientes de ello, investigadores de todo el mundo buscan utilizar otra clase de alcoholes, tales como el butanol o el 1.3 propadienol, con los que se puede obtener más energía, no son tan corrosivos y son menos volátiles.

“Junto con el centro de investigaciones microbiológicas — explica González Barrios—, buscamos aislamientos colombianos, es decir, microorganismos de nuestro suelo que sean capaces de sintetizar, a partir del glicerol, en estos alcoholes. Esto es: se coge una muestra de tierra (aislamientos) y se pone a crecer en glicerol, para establecer cuáles son los microorganismos que se multiplican. Se están caracterizando genéticamente y se están haciendo los ensayos de producción a nivel de 10 litros en fermentador”.

Al mismo tiempo, junto con Corpogen, un importante centro de investigación colombiano, trabaja en la búsqueda de enzimas capaces de degradar celulosa, un procedimiento necesario para el proceso de sacarificación que lleva a la producción de etanol. Los investigadores de Corpogen, que desarrollan el proyecto llamado GebixR de metagenómica de ambientes ex-

temos, “recogen muestras de diferentes sitios en Colombia y purifican el ADN. Luego, nuestro grupo, junto con el Laboratorio de Micología y Fitopatología de la Universidad de los Andes (LAMFU), busca ADN en librerías de metagenómica con la capacidad de degradar la tusa de palma de aceite —celulosa—. Este trabajo pretende aumentar la eficiencia del proceso de producción de etanol para que este biocombustible sea más competitivo frente a la gasolina, que hasta ahora sigue siendo más barata”, explica el ingeniero químico.

Una vez se establece cuáles son, se purifica la enzima y se caracteriza, es decir, se establece a qué velocidad reacciona y cuál es la secuencia del gen que expresa esa proteína, entre otros. Finalmente, por medio del modelamiento matemático se trata de explicar por qué es la enzima que puede romper ese largo polímero que es la celulosa.

Estas investigaciones, todavía en etapa incipiente, podrían influir en un cambio de rumbo del país frente a la producción de biocombustibles más amigables con el medio ambiente y verdaderamente competitivos frente a los combustibles fósiles. ■



LOS GRUPOS: Centro de Investigaciones Microbiológicas [CIMIC] y Laboratorio de Micología y Fitopatología [LAMFU] y Corpogen.

CONTACTO: Andrés González Barrios, ingeniero químico, profesor asistente del Departamento de Ingeniería Química.
andgonza@uniandes.edu.co

Combustibles de la condensación de gases

Del hidrógeno se obtiene una de las energías más amigables con el medio ambiente pues su combustión genera vapor de agua. Se puede obtener de desechos agroindustriales.

34



Este gasificador fue diseñado en el Laboratorio de Conversión de Energías para los experimentos del profesor Gerardo Gordillo.

Producir combustibles gaseosos o líquidos usando aire y vapor en procesos termoquímicos de conversión de energía, a partir de biomasa como sustrato, es la investigación que realiza Gerardo Gordillo.

Uno de los trabajos busca obtener hidrógeno de la gasificación de biomasa para usarlo como un combustible de alto poder calorífico y no contaminante, pues su combustión produce calor y vapor de agua.

En este proceso también se genera CO₂ que se separaría del hidrógeno y se inyectaría en pozos de petróleo vacíos. La idea, al enterrarlo, es no enviarlo hacia la atmósfera. Pero además,

asegura Gordillo, posiblemente dentro de millones de años se convertiría de nuevo en petróleo.

Explica también que, aunque la gasolina generada con biomasa es igual a la del petróleo, el CO₂ producido en la combustión no es contaminante porque ha sido tomado de la atmósfera: "Es un combustible neutro, que no adiciona carbón al medio ambiente como lo hacen los combustibles fósiles cuando se extraen, pues el carbón que estaba bajo tierra se arroja como gas al aire".

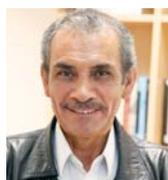
En otro de los trabajos investiga la producción de gasolina, ACPM y alcohol por un método denominado pirólisis. De

acuerdo con el ingeniero mecánico, doctorado de la Universidad de Texas A&M (Estados Unidos), la biomasa tiene entre 70 y 80% de 'materia volátil' que, cuando se calienta, se volatiliza. Está compuesta por gases que, al condensarlos, producen una especie de crudo de petróleo biológico, un crudo tecnológico. Al añadirle hidrógeno por medios químicos se obtienen combustibles líquidos.

Gerardo Gordillo ha caracterizado una parte de la biomasa producida en la agroindustria colombiana, por medio de un análisis termoquímico para conocer todos sus componentes —carbón, ceniza, humedad, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno—: bagazo de caña, cascarilla de café, cascarilla de arroz, la fibra y la tusa de la palma de cera, que es la más promisoría porque tiene más hidrógeno. Estos datos se procesan para determinar la fórmula empírica que describe el tipo de biomasa. Después, por medio de modelos computacionales se estiman los gases que pueden producir variando algunos parámetros de operación como son el tipo y cantidad del agente oxidante. "Cuando el modelo muestra con cuál de los agentes se produce más hidrógeno trabajo con ese. Otra forma de caracterizar es determinar la rata de reacción —señala el ingeniero mecánico—, la cantidad de materia volátil que se evapora en una unidad de tiempo: establecer los parámetros cinéticos de la reacción pirolítica de la biomasa".

Los resultados del modelo se comprueban experimentalmente en el laboratorio para determinar su validez. El problema, sin embargo, es que el transporte del hidrógeno es muy complicado y para almacenar un kilogramo hay que comprimirlo a unas presiones elevadas. Así que, dice Gordillo, la solución es instalar un gasificador y utilizar el combustible en el mismo lugar donde se produce, con lo cual el problema se reduce.

"Si se mira desde el punto de vista del negocio, en este momento la producción del combustible no es competitiva en comparación con la gasolina del petróleo, que tiene un costo ambiental altísimo. Pero en 10 o 15 años lo será. La ventaja de Colombia, además, es que genera una gran cantidad de biomasa", concluye el profesor. ■



EL GRUPO: Conversión de Energía.

CONTACTO: Gerardo Gordillo, ingeniero mecánico, profesor asistente del Departamento de Ingeniería Mecánica. Director del Grupo de Conversión de Energía. g.gordillo43@uniandes.edu.co



▶ La producción de biocombustible a partir de procesos fermentativos no requiere de cuidados especiales en esta etapa.

Biocombustibles por fermentación y química

Rocío Sierra investiga un proceso de conversión de residuos lignocelulósicos (principalmente material vegetal) a biocombustibles y otros productos químicos de alto valor agregado. La tecnología fue originalmente desarrollada en la Universidad de Texas A&M por el profesor Mark Holtzapple y es conocida con el nombre de "Proceso MixAlco®". La etapa principal es una fermentación (conversión biológica), cuyo producto son sales carboxílicas que se someten a diversos mecanismos de conversión química para

obtener una amplia variedad de productos, entre los que se incluyen cetonas, aldehídos, éteres y ésteres, o combustibles líquidos tales como alcoholes o gasolina. Estos métodos se pueden comparar muy bien con la refinación del petróleo y puede denominarse "biorrefinería".

Muchos de los procesos fermentativos para la producción de bioetanol que usan como materia prima residuos lignocelulósicos requieren el uso de fermentadores de alta sofisticación y baja capacidad, que han sido

profusamente esterilizados para garantizar máxima productividad. En algunos casos, los microorganismos han sido manipulados genéticamente en procesos que son dispendiosos, muy caros y que requieren extensas y costosas sesiones de mantenimiento.

Por el contrario, las fermentaciones MixAlco® pueden hacerse en cualquier recipiente, no requieren esterilizaciones previas y no necesitan mantenimientos o cuidados especiales, salvo la vigilancia de los niveles de pH que pueden ser extremadamente bajos y por consiguiente tóxicos para los microorganismos. Esta robustez del proceso

permite su fácil escalamiento y control, además del uso de cualquier tipo de materia prima.

En Colombia no hay una política para la adecuada disposición de los cientos de miles de toneladas de diversos residuos lignocelulósicos que se producen anualmente. Proviene principalmente de la industria agrícola y de alimentos, aunque también hay una buena contribución de desechos municipales. Por ello, es deseable darles un uso adecuado para la producción de biocombustibles, que alivia los problemas de abastecimiento que tienden a agravarse con el crecimiento de la población y la

industrialización de los países.

Rocío Sierra, ingeniera mecánica con doctorado de la Universidad de Texas A&M, investiga las condiciones de aplicabilidad del proceso MixAlco® en Colombia, puesto que se requiere el desarrollo de modelos y coeficientes que son específicos para cada sustrato. Con la colaboración de su grupo de investigación, se dedica a obtener una adecuada caracterización de la composición de los residuos lignocelulósicos tales como tusa de palma africana, cascarilla de cera de palma, material vegetal de desecho proveniente de la industria azucarera, residuos municipales, residuos del

procesamiento de la fruta y otros residuos orgánicos. Con base en los resultados de esta caracterización, se está haciendo una amplia experimentación tendiente al establecimiento de las condiciones adecuadas en las que este material se prepara para la fermentación (etapa conocida como pretratamiento); además, se llevan a cabo estudios para determinar cuáles microorganismos nativos presentan alta eficiencia para ser aplicados en la fermentación.

Las sales carboxílicas producto de esta etapa del proceso son sometidas a degradación térmica y se convierten en ácidos



En el biorreactor del Laboratorio de Ingeniería Civil y Ambiental se llevan a cabo las pruebas para la producción de hidrógeno, a partir de la fermentación de desechos orgánicos y aguas residuales.

carboxílicos que luego pueden transformarse catalíticamente en cetonas. Esto se denomina "cetonización". Alternativamente, los ácidos carboxílicos pueden reaccionar con alcoholes para producir ésteres. La profesora Sierra, trabajando en coordinación con el grupo de investigación MixAlco® y con el doctor Holtzapfle, ha enviado hasta la fecha cinco estudiantes del pregrado del programa de Ingeniería Química a la Universidad de Texas A&M. Estos estudiantes han realizado contribuciones en estudios tendientes a establecer las condiciones en que las etapas de degradación de sales, obtención de cetonas

y de ésteres dan los máximos rendimientos.

Las dos sustancias pueden someterse a procesos de hidrogenólisis de los cuales resultan alcoholes transformables catalíticamente en gasolina.

El estudio realizado por la profesora Rocío Sierra abarca, además de la parte química, la de evaluación del negocio. Asegura que el ideal es establecer diferentes puntos de fermentación en donde se produce la basura agroindustrial. Cada tanque estaría conectado por un sistema de tuberías con una biorrefinería central en donde se llevaría a cabo el proceso de producción de los diferentes derivados químicos, todos ellos de

mucha demanda en el mercado industrial.

Con respecto a la economía global de proceso, se ha calculado que dos toneladas por hora de estos desechos podrían producir 2,3 millones de galones de alcohol por año; y que el costo de capital por año, para una planta de 2 ton/hora, sería de 2,29 dólares por galón/año. Si la capacidad de la planta fuera mayor (80 ton/hora), el costo/capital por año sería de 0,55 dólares por galón/año.

El futuro inmediato de esta investigación está en acabar de encontrar los coeficientes de conversión de cada etapa, de acuerdo con los recursos del país, y afinar los costos de producción, que dependen de los resultados. Luego, dentro de varios años, se montaría una planta piloto en Colombia, para la producción de estos combustibles y químicos que sí son amables con la naturaleza. ■



LOS GRUPOS: Grupo de Diseño de Productos y Procesos (GDPP) y Grupo de Conversión de Energía.

CONTACTO: Rocío Sierra, ingeniera química, profesora asistente del Departamento de Ingeniería Química. rsierra@uniandes.edu.co

Las basuras se transforman en energía limpia



◀ El estiércol de cerdo y el mucilago de café, dos productos de las fincas cafeteras, son las materias primas para la investigación de Manuel Rodríguez.

Desde hace cuatro años, Manuel Rodríguez Susa, ingeniero químico con doctorado en Ingeniería Ambiental del Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse (Francia), trabaja con aguas residuales y desechos orgánicos para producir biogás como energía no contaminante.

Explica el profesor asistente del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental que la digestión anaerobia convierte el contaminante que está en fase líquida —por ejemplo aguas residuales— y lo lleva a fase gaseosa, y ese gas es combustible. Por medio de fermentación se puede hacer lo mismo con las basuras orgánicas. Sin embargo, ese producto es metano (CH_4), uno de los gases responsables del efecto invernadero, y componente del biogás que se utiliza hoy. Así que, controlando variables como la temperatura y el pH, "evitamos la segunda parte del proceso de digestión anaerobia, cuando empieza a generarse el metano y producimos hidrógeno (H_2)". Luego, el proceso continúa hacia metano, pero en menor cantidad. Aunque este gas

La idea del ingeniero químico Manuel Rodríguez Susa es que haya fincas, como las granjas cafeteras, autosuficientes en la producción del combustible.



David Bonilla Abreo, Federación Nacional de Cafeteros. Copyright FNC 2011

podría degradarse todas las veces que sea necesario para producir siempre hidrógeno y eliminar el contaminante del biogás, cuando el combustible está compuesto solamente de H_2 contiene siloxanos, que causan problemas en motores de combustión, disminuyendo el efecto lubricante del aceite. Sin embargo, si se mezcla en adecuada proporción de CH_4 con hidrógeno, los siloxanos tienen un menor efecto sobre el motor, disminuyendo su deterioro, explica.

La ventaja no solo radica en la disminución del gas de efecto invernadero sino también en que el hidrógeno, energéticamente, es más activo y en que, al realizarse la combustión, el motor emite agua, no CO_2 . Debido a estas cualidades y a su abundante presencia en la naturaleza, numerosas compañías no solo de la industria automotriz —que ya ha realizado prototipos de automóviles impulsados por hidrógeno—, están empeñadas en la investigación de este biocombustible.

De acuerdo con las pesquisas de Rodríguez y de varios de sus estudiantes de doctorado, se puede obtener hidrógeno tanto de residuos orgánicos líquidos como sólidos. Una parte de su trabajo busca obtenerlo de la combinación de estiércol de cerdo con mucílago de café, elementos que se encuentran en muchas fincas colombianas: “Estamos estudiando la codigestión, es decir, la mezcla de residuos: el estiércol, que tiene más nutrientes, con desechos vegetales, que tienen menos. El mucílago posee más carbono y al combinarlo hay mejor alimento para las bacterias responsables de la fermentación. Así se potencia el proceso”. Sin embargo, la materia orgánica es, molecularmente

compleja —se denomina sustratos complejos—, de tal forma que estabilizar la producción del hidrógeno es mucho más difícil. “A eso hay que sumarle que el estiércol del cerdo no siempre es de las mismas características: si, por ejemplo, se le cambia la alimentación al animal, su composición varía también, así como si lo vacunan, entre otras razones. Ahí radica la dificultad de la estandarización del proceso”, anota Rodríguez.

Por eso, con el CIA (Centro de Investigaciones de Ingeniería Ambiental), y ahora con la colaboración de la Escuela de Minas de Nantes (Francia), están concentrados en la producción estable del combustible en el laboratorio. Como la idea de Manuel Rodríguez Susa es que pueda haber fincas autosuficientes en la producción y generación de esta energía limpia, en dos años espera establecer un prototipo piloto en una granja para probar las bondades de sus investigaciones. Hasta el momento la inversión ha sido cercana a 400 millones de pesos, que la Universidad ha asumido en su mayoría, más una parte financiada por el programa Ecosn Nord, de Colciencias. ■



EL GRUPO: Centro de Investigaciones de Ingeniería Ambiental (CIA). Con la colaboración de Escuela de Minas de Nantes (Francia).

CONTACTO: Manuel Rodríguez Susa, ingeniero químico, profesor asistente del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. manuel-r@uniandes.edu.co

En busca de la excelencia

Una investigación del Departamento de Ingeniería Industrial diagnosticó el funcionamiento de la cadena logística de la exportación de flores, desde la poscosecha hasta el despacho final en los aeropuertos internacionales. Asocolflores, entidad contratante, busca optimizar su negocio.

El escenario puede ser como sigue: En la mira, 14 de febrero, San Valentín, una de las mejores épocas para la venta de flores colombianas en el mercado de Estados Unidos, estimadas en 500 millones de botones, cerca del 15% del volumen anual. Programa: 28 vuelos diarios para cubrir esa demanda. Los clientes: 40% floristerías, 60% supermercados. De acuerdo con Andrea González, directora de logística de Asocolflores, aunque en fechas como esta es relativamente fácil planear las ventas y los despachos, en épocas de temporada baja la venta depende de los pedidos que, día a día, hacen los clientes en Estados Unidos. De esta manera, el negocio de las flores del segundo exportador mundial —después de Holanda, que lleva 100 años haciendo lo mismo— se convierte en un ejercicio de mucha adrenalina y gran capacidad de reacción con poco tiempo disponible para tomar las decisiones correctas.

Además, algunos de los factores pueden alterar la planeación: Un clima frío significa que el brote de la flor se retrasará; uno cálido, que el producto se adelantará; tal vez el día de la exportación, el aeropuerto amanezca cerrado; en el aeropuerto de Miami, la policía aduanera puede decidir hacer una requisa exhaustiva a los aviones de Colombia. O bien, las autoridades fitosanitarias detectan alguna plaga que afecta las flores que ha enviado uno de los cultivos y hasta cuando la fumigan no liberan toda la carga que viene de varios cultivos más que no están afectados.

Problema: en el proceso de exportación de flores intervienen varios actores: proveedores con cultivos de varios tamaños, operadores de transporte terrestre, agencias de carga y agencia de aduana, operadores de transporte aéreo y aerolíneas y el aeropuerto internacional de Miami. Ninguno está suficientemente informado sobre el detalle del trabajo del otro y esto afecta la operación.



Foto: cortesía Asocolflores

▲ Factores externos que no pueden controlarse como los cambios climáticos también influyen en el proceso de exportación de flores.

Solución: realizar un estudio que diagnostique cuáles son las fallas de cada parte del proceso para optimizar la cadena logística de exportación de flores y propender hacia la excelencia del segundo exportador mundial de flores, Colombia.

El elegido para hacer este estudio fue el Grupo PyLo (Producción y Logística), del Departamento de Ingeniería Industrial, a cargo del profesor Fidel Torres, ingeniero eléctrico y matemático, con doctorado en Producción de la Universidad de Toulouse III, Paul Sabatier (Francia), y de Gonzalo Mejía, ingeniero mecánico con doctorado en Ingeniería Industrial de la Universidad de Lehigh (Estados Unidos). Como resultado, no solo se presentó un diagnóstico de las fallas en el proceso y en las interacciones de los diferentes agentes, sino que además se propuso un conjunto de soluciones realizables en el estado actual y se proporcionó una capacitación al final de la consultoría encaminada a concientizar e ilustrar sobre los problemas detectados para superarlos.



▲ El diagnóstico elaborado por el Departamento de Ingeniería Industrial sobre el proceso logístico de exportación de flores involucró a todos los agentes que participan en esa labor, empezando por el cultivo.

Para efectuar el diagnóstico, el grupo PyLo y el Centro Nacional de Consultoría visitaron 70 cultivos donde realizaron varias encuestas para caracterizar los procesos de producción; allí se hicieron estudios de tiempos y movimientos y se identificaron las actividades que no agregan valor al producto. Con base en esto, PyLo produjo un modelo de simulación que analiza el efecto de variables como la reducción de los tiempos muertos, el aumento de las tasas de producción, la coordinación con los operadores de transporte terrestre, la calidad documental en el cultivo (de los procesos de negocio, de transporte, legales y fitosanitarios) que al mejorarlas, tendrían efecto en el proceso exportador. Una de las principales recomendaciones del diagnóstico es que cada uno de los actores vinculados a la exportación de flores conozca mejor los detalles del trabajo de los otros, objetivo de las capacitaciones, a cargo de la Universidad de Los Andes. “También se hicieron dinámicas lúdicas —explica Fidel Torres—: ‘el juego de la cerveza’, donde intervienen varias personas que cumplen un papel en la distribución; y Babelas, un juego de dinámica interpersonal de cómo cada actor interpreta un mensaje y formula estrategias para comunicarlo a los demás”.

De acuerdo con los tiempos actuales, una flor se corta a las seis de la mañana en un cultivo de la sabana de Bogotá y llega a Miami a las 4 a. m. del día siguiente, si todo va bien. Y a las 12 del día está lista para que el camión la recoja. Estas son algunas de las conclusiones del informe presentado con respecto a cada actor:

De acuerdo con el diagnóstico de Los Andes, una forma de que la logística sea más eficiente es disminuir los tiempos de espera de los Operadores de Transporte Terrestre (OTT), así como que los conductores conozcan los horarios de salida de los aviones.

Para mejorar este punto, el grupo PyLo “desarrolló en detalle una estrategia que permite, desde Asocoflores, liderar pro-

cesos que garantizan una mejor calidad y confiabilidad en las actividades logísticas realizadas por los actores involucrados en la exportación, a través de seguimiento a los operadores, y la evaluación y consolidación de bases de datos que consignen su desempeño. Con la utilización de modelos de simulación se buscó identificar posibilidades de optimización de los procesos críticos, así como una mejor coordinación entre actores”, señala el informe presentado.

Algunos de los problemas y demoras que deben superarse vienen por cuenta del ‘papeleo’ (o logística documental). La gran diversidad de documentos generados por cada cultivo, y que deben revisar y ayudar a tramitar las agencias de carga y de aduana, exige que haya mejor funcionalidad de los sistemas de información disponibles para consolidar los trámites; y diligenciarlos de manera unificada y completa. Así se evitarán las demoras o los inconvenientes en el envío de los despachos, que pueden generar problemas en el aeropuerto de Miami si no se corrigen antes de que la carga despegue.

Igualmente, para incrementar la eficacia de la cadena logística se requiere una mejor coordinación y planeación entre cultivos, operadores de transporte aéreo y terrestre y agencias de carga y aduana. Esto evitará la congestión en la plataforma y los riesgos de romper la cadena de frío que afecta la calidad de la flor.

Cuando los aviones arriban con su carga al aeropuerto de Miami, algunos factores que demoran la llegada de la flor a su destino final son: la ausencia de sitios de fumigación con cuartos fríos cercanos al aeropuerto y la falta de inspectores fitosanitarios que agilicen el proceso de inspección de las muestras que no se seleccionan rápidamente.

En la búsqueda de excelencia del negocio de exportación de flores, la siguiente etapa es la puesta en práctica de nuevas capacitaciones para mejorar la interacción y la comunicación de los diferentes agentes que intervienen en la cadena logística. Todo ello con el fin de que el camino hacia el consumidor sea más expedito y el producto sufra menos tropiezos. ■



EL GRUPO:
Producción y logística [PyLo].

CONTACTO:
Fidel Torres, ingeniero eléctrico,
profesor asociado del Departamento
de Ingeniería Industrial.
ftorres@uniandes.edu.co



Gonzalo Mejía, ingeniero mecánico,
profesor asociado del Departamento
de Ingeniería Industrial.
gmejia@uniandes.edu.co



▶ Durante el Día sin Carro, los estudiantes dan ejemplo entre los bogotanos como usuarios de la bicicleta.

Los Andes se mueve mejor

41

Hacer más agradable la vida de la comunidad universitaria y de los habitantes de su entorno inmediato es prioritario para la Universidad. Las estrategias abarcan investigaciones en movilidad sostenible y acciones puntuales como la promoción del uso de la bicicleta.

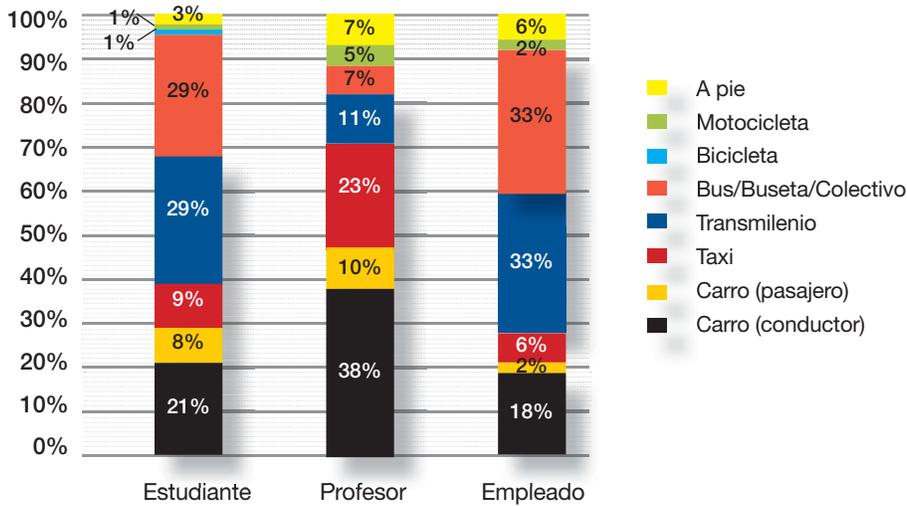
Moverse en bicicleta en Bogotá es más rápido, placentero, saludable y barato que utilizar carro privado, busetas o TransMilenio. Por eso, para los investigadores en movilidad este es el modo de transporte más recomendable, seguido por buses y busetas de transporte público. Sin embargo, la mayoría de estudiantes, profesores y empleados uniandinos perciben la bicicleta como insegura, lenta y poco saludable (contaminación) y optan por otros medios.

Tales son los resultados de las encuestas en línea que se hicieron en la Universidad dentro del proyecto para incentivar el uso del carro compartido (pág. 49) y que se están utilizando en el diseño de todas las herramientas para mejorar la movilidad en el campus y su entorno en el centro de Bogotá (ver "Un tema prioritario" pág. 43).

Las mediciones muestran diferencias significativas en los medios de transporte usados por la comunidad, según sean estudiantes, profesores o empleados, y según su ingreso mensual: casi el 60% de los viajes de los estudiantes son en transporte público, mientras que cerca del 70% de los profesores llegan en carro o taxi. Pero los universitarios cuya mesada es superior a 200.000 pesos utilizan menos TransMilenio y busetas y pasan a ser conductores o pasajeros de carros particulares (figura 1).

El instructor Álvaro Rodríguez, del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, destaca que aunque el uso de la bicicleta es bajo, Los Andes es ejemplo entre las universidades en Bogotá y en jornadas como la del Día sin Carro es la que mayor proporción de ciclistas registra. Según las encuestas, el factor más desmotivante para su uso entre los no ciclistas es la inseguridad; también pesan el clima, el trayecto muy largo, las

Figura 1. Medios de transporte utilizados por los uniandinos, según actividad e ingreso mensual



rampas y ascensores para personas con movilidad reducida y la ampliación e instalación de techo para el cicloparqueadero.

Rodríguez, ingeniero civil con maestría en Planeación de Infraestructura de la Universidad de Stuttgart (Alemania), explica en qué consisten estas y otras actividades para mejorar la movilidad en Los Andes. Él lideró la iniciativa de la Carrera de Modos y moderó el Foro de la Semana de la Movilidad Uniandina, que se efectuaron en octubre pasado.

Carrera de Modos

Surgió para desvirtuar la percepción de lentitud de aquellos que no usan la bicicleta (calificado como factor desmotivante con 4,1 en una escala de 1

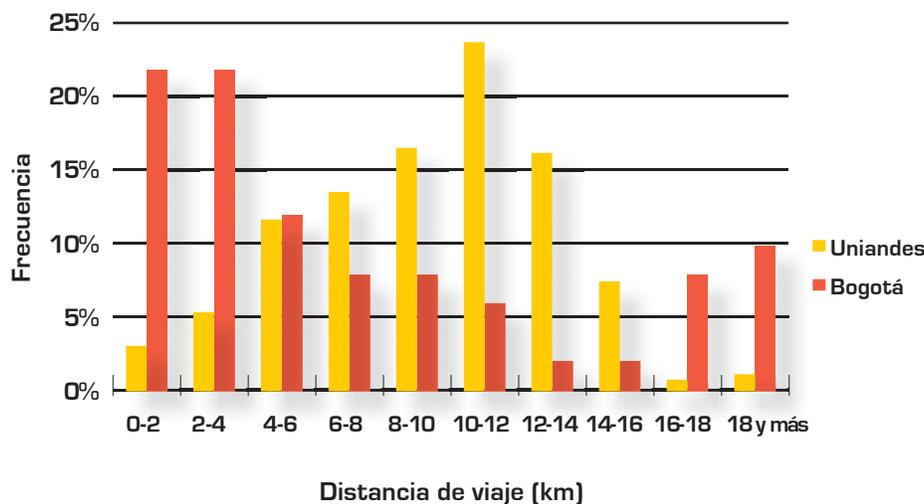
a 5, frente a la calificación de 1,8 entre los ciclistas). Participaron el rector Carlos Angulo, en su carro; el instructor Jorge Sefair, en bicicleta; el presidente del Consejo estudiantil, Daniel Lozano, en TransMilenio, y el instructor Álvaro Rodríguez, en buseta. La cita fue en la carrera 15 con calle 85 y la distancia hasta la Universidad era de entre 8,5 y 9 kilómetros. Cada uno llevaba un dispositivo GPS para reportar su ubicación.

ciclorrutas inadecuadas, el sudor y el cansancio y la falsa idea de que es lenta. Para incentivarlos la Universidad ha diseñado planes como: Carrera de Modos, Caravanas de los Miércoles, Semana de la Movilidad y mejoras en los cicloparqueaderos.

Bajo la asesoría de los profesores del área de transporte, la Universidad también ha iniciado acciones para mejorar su infraestructura y planta física. Ejemplo de esto es la adecuación de

Otros hallazgos de las encuestas

Figura 2. Distancia que pedalean los uniandinos para llegar a la Universidad



Los trayectos en carro son más largos y en taxi más cortos. Este resultado coincide con la encuesta de movilidad de 2005 para Bogotá, hecha en 20.000 hogares, según la cual la distancia promedio de los viajes en taxi es de 6,6 kilómetros y la de los carros particulares es de 9 kilómetros.

En los viajes de los uniandinos desde o hacia la Universidad, en el borde oriental de la ciudad hasta la calle 72 (Chapinero), manda la buseta. En la Autopista Norte, la calle 80 y Las Américas el escogido es TransMilenio, cuya velocidad es mayor cuando recorre distancias largas. Los uniandinos pedalean entre 10 y 12 kilómetros (ver figura 2), mientras que la mayoría de bogotanos que usan bicicleta recorren distancias inferiores a 4 kilómetros.

Los estudiantes tienen casi el 90% de los registros en el cicloparqueadero y entre los que pedalean solo 18% son mujeres.

Un tema prioritario

La Universidad de los Andes trabaja en dos áreas en movilidad: Una investigativa, promovida por la Vicerrectoría de Investigaciones, con el liderazgo de la Facultad de Ingeniería, y otra de promoción y mejora, en la que además de esa Facultad desempeña un papel importante la Oficina de Comunicaciones.

El trabajo investigativo comenzó en 2009 con participación de 10 departamentos y 5 facultades, y la dirección del profesor Juan Pablo Bocarejo, de Ingeniería Civil y Ambiental. Apunta a lograr una movilidad sostenible: velocidad, comodidad, precios accesibles y compromiso con el medio ambiente. Hay trabajos específicos en ciclorrutas y ciclovías, transporte escolar, carro compartido, simulación de los comportamientos de conductores y peatones y combustibles limpios. (Ver CONTACTO número 1, marzo/septiembre de 2009, <http://revistacontacto.uniandes.edu.co/> o visitar el portal de la Facultad de



Ingeniería <http://movilidadesostenible.uniandes.edu.co/>).

El componente de promoción incluye actividades como la Semana de la Movilidad que se celebró en octubre pasado, en la cual se realizó la Carrera de Modos y se lanzó el portal Viaje para promover el uso del carro compartido (Pág.49), se dio a conocer el Manual de Movilidad (Pág. 48) y se celebró un foro sobre movilidad.

▲ Los instructores Jorge Sefair y Álvaro Rodríguez, el estudiante Daniel Lozano y el rector Carlos Angulo (de izquierda a derecha) fueron los participantes en la Carrera de Modos. Cada uno recibió un peluche de la cabra Séneca, uno de los símbolos de la Universidad. La de Sefair es blanca porque fue el ganador.

Antes de la carrera, se hizo una 'polla' en la que participaron 5.000 personas con 7.000 formularios. Ambos resultados fueron inesperados: la bicicleta les ganó a todos (25 minutos) y TransMilenio fue el más lento (1:01 horas), (figura 3). El ingeniero Rodríguez explica que a TransMilenio le fue mal por dos razones: el punto de origen de la carrera y las intersecciones de la Avenida Jiménez. Precisa que los pasajeros que toman el bus articulado más allá de la calle 100, pueden usar el expreso, pero en Chapinero, que es de donde salió el grupo, el transporte público más rápido es la buseta. Además, el TransMilenio tarda entre 8 y 13 minutos (la media es de 9:12 minutos), en recorrer los dos kilómetros del Eje Ambiental, y su velocidad baja de 60 km/hora promedio a 20.

La carrera fue antesala de la Semana de la Movilidad en Los Andes y el propósito es institucionalizarla, como ocurre en otros lugares del mundo, para hacerles seguimiento a los cambios en la movilidad. Era la segunda vez en Bogotá y la primera organizada por la Universidad, cuyo socio fue la firma Blackberry que regaló dos dispositivos para los ganadores de la 'polla' y otros dos para la carrera de observación.

Figura 3. Resultados Carrera de Modos.



00:47
00:25



00:47
00:35



00:47
01:01



00:59
00:40

Comparación de los tiempos estimados por los participantes en la 'polla' para cada modo de transporte (en negro) y los tiempos reales que empleó cada uno (en rojo).

Caravanas de los Miércoles

Comenzaron en septiembre de 2010 para combatir la percepción de inseguridad. El recorrido en bicicleta parte de la calle 100 con carrera 11 a las 6:00, a las 7:30 y a las 9:00 a. m. El regreso sale de Los Andes a las 5 p. m. Pese a las fuertes lluvias recientes, el promedio diario de personas que llega a la Universidad pedaleando pasó de 50 a 65.

Carrera de observación

Fue organizada por Blackberry dentro de las instalaciones de la Universidad. A través del dispositivo se enviaban mensajes que hacían hincapié en comportamientos como usar las escaleras en lugar del ascensor y dar prelación a los discapacitados.

Cicloparqueadero

La oficina de Planta Física estrenará un nuevo cicloparqueadero, porque el actual, aunque seguro, tiene un sistema de enganche que daña las llantas y raya la pintura.

Exhibición de biketrial

La Semana de la Movilidad concluyó con una demostración a cargo de Francisco Villegas, deportista extremo que subió las 943 escaleras de la Torre Colpatria en su bicicleta, sin apoyar los pies en el piso.



Flash mobs

Para concientizar a los uniandinos de sus malos hábitos de movilidad (sentarse en corredores de alto flujo, detenerse en las escaleras, usar el ascensor para subir un piso), con la Oficina de Comunicaciones, los profesores del área de transporte promovieron *performances* en los que se exageraban situaciones.

Manual de Movilidad uniandina

Consigna los hábitos deseables de los uniandinos en esta materia (pág. 48). ■



EL GRUPO: SUR [Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional].

CONTACTO:

Juan Pablo Bocarejo, profesor asistente del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, director del grupo Sur. jbocarej@uniandes.edu.co
<http://movilidadesostenible.uniandes.edu.co>



Álvaro Rodríguez, ingeniero civil, con maestría en Planeación de Infraestructura de la Universidad de Stuttgart (Alemania). Instructor del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. alvrodri@uniande.edu.co

Desafíos de ordenamiento territorial

El desarrollo territorial, los usos del suelo y la planeación y sostenibilidad urbana en el desarrollo fueron los temas del foro “Crecimiento de la región capital: desafíos de ordenamiento territorial, movilidad, institucionalidad y medio ambiente” que se llevó a cabo el 28 de octubre pasado en Los Andes.

La reunión, organizada por las facultades de Ingeniería, Arquitectura y Diseño y el CIDER, trató temas fundamentales para el desarrollo de la región capital y sentó las bases para el establecimiento de un futuro observatorio, que contará, entre otros, con la participación de la Gobernación de Cundinamarca, la Secretaría Distrital de Planeación, la Universidad de los Andes y centros de investigación internacionales.

Uno de los aspectos más sobresalientes fue la presencia de reconocidos centros de investigación extranjeros, representada en conferencistas provenientes de países como Chile, Japón, Francia y Australia. El principal aporte de los expertos consistió en la exposición de

las experiencias que cada uno ha tenido en su país con respecto al crecimiento, la planeación y el desarrollo regional, teniendo en cuenta el desarrollo sostenible.

Las conferencias, los foros de discusión y las preguntas formuladas a los expertos giraron en torno a dos temas centrales: Sostenibilidad en el desarrollo urbano y regional y las herramientas para la sostenibilidad regional. Dicha dinámica buscaba, además de conocer las experiencias de los expertos, debatir sobre las acciones, puntos de vista y programas de las autoridades y entidades locales involucradas en la planeación y desarrollo de la Región Capital, el mayor centro demográfico y económico del país.

Con el fin de mejorar el conocimiento sobre la región, se plantea la necesidad de desarrollar herramientas de investigación en temas de medio ambiente, movilidad, desarrollo institucional, vivienda y usos del suelo. Se propone crear un observatorio regional coordinado por la Universidad de Los Andes en el que participen diferentes actores y que involucre una visión multidisciplinaria.

La culpa no es del otro



Echarle la culpa al otro y no reconocer los errores en las vías es una barrera que debemos romper para mejorar la movilidad en las ciudades y ello implica mezclar de manera sostenida pedagogía y control. A esa conclusión llegaron expertos reunidos en el Foro de la Semana de la Movilidad Uniandina organizado por el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

Durante una mañana, los expertos mostraron cifras elocuentes acerca de los malos hábitos arraigados en los ciudadanos y el peligro de tener ciudades diseñadas para la felicidad de los automóviles. Coincidieron en que los accidentes viales son prevenibles, pero nos falta mucho en temas de seguridad vial y prevención; debatieron acerca de la importancia de tener hábitos saludables y resaltaron la contribución de la bicicleta para alcanzarlos.

El profesor Arcesio Lizcano, director del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, en su discurso de apertura, enfatizó en la importancia que tiene la investigación en Ingeniería de Tránsito y Transporte para la sociedad colombiana y resaltó el trabajo que se ha hecho en los últimos años en la Universidad.



María Andrea Agudelo, representante de la Secretaría de Movilidad del Distrito, destacó la importancia de la acción conjunta entre esa entidad y Los Andes para mejorar la movilidad en el sector de Las Aguas y presentó la iniciativa conjunta de una zona de tráfico calmado (Pág. 47) en la que están trabajando.

Alexandra Rojas, directora del Fondo de Prevención Vial, resaltó el mal comportamiento y la epidemia de excusas. Así, por ejemplo, el 80% de los 214.457 viajes en carro particular que se hacen en Bogotá entre las 6:30 y las 7:30 de la mañana llevan un máximo de 2 personas, y para el 90% de los implicados en un accidente de tránsito, la culpa es del otro.

La directora del Fondo de Prevención Vial afirmó que la gente conoce sus obligaciones, pero actúa con “una capa de teflón”, hasta el punto de que

99% de los conductores consideran que son mejores o iguales a los otros y 93 de cada 100 se creen muy prudentes; sin embargo, 1 de cada 2 acepta que le “toca hacer” maniobras arriesgadas, por ejemplo, para evitar el trancón.

Para Rojas, además del comportamiento humano, en la seguridad vial incide la infraestructura, en cuyo diseño se cometen errores como construir dobles calzadas con obstáculos laterales. Además, se debe controlar la calidad de los equipos y vehículos, pues no hay razón para vender carros baratos que no pueden entrar a Europa, Chile o Estados Unidos por inseguros. La institucionalidad también debe ser fuerte, para que los ciudadanos vean que la posibilidad de ser sancionados es alta.

Beneficios de la bicicleta

Andrés Jara, director en Colombia del Instituto de Políticas para Transporte y Desarrollo (ITDP, por su sigla en inglés) cuya sede central está en Nueva York, propuso racionalizar el uso del automóvil para disminuir viajes y congestión y distribuir mejor el espacio público entre peatones ciclistas, transporte público y carros particulares.

Los mitos de la bicicleta

Es más lenta que los otros medios de transporte. **Falso.** En el caso de Bogotá ha demostrado que incluso para un no ciclista habitual puede ser mucho más rápida que los carros particulares, las busetas y TransMilenio, en especial en horas pico.

Los ciclistas sudan y se cansan. **Falso.** Si la persona pedalea a buen ritmo, pero sin esforzarse, llega a su destino igual que si lo hiciera después de una caminata.

Es un medio de transporte de países pobres. **Falso.** En ciudades como Ámsterdam (Holanda) entre el 30 y el 35% de los viajes cotidianos se hacen en bicicleta.

Entre los impactos positivos de la bicicleta, resaltó los ahorros en las finanzas, porque construir un kilómetro de vías en las ciudades latinoamericanas cuesta más de 1,5 millones de dólares, mientras que uno de ciclorruta de altísima calidad vale 360.000 dólares. También, el combate del sedentarismo, pues una persona aumenta 1,8 kilos de peso cuando compra carro y los ciclistas reducen casi en 40% las probabilidades de morir de enfermedad cardiovascular. Concluyó que la bicicleta ha vuelto a ser una opción válida de transporte urbano porque no congestiona, no contamina y propicia el buen estado físico. En el foro también participaron los profesores Juan Pablo Bocarejo, Andrés Medaglia, Álvaro Rodríguez y John Duperly, y Fernando Alonso de la Fundación Chevrolet.

Hábitos saludables

John Duperly, médico internista de la Fundación Santa Fe, con doctorado en Medicina del Deporte, alertó sobre los riesgos del sedentarismo y pidió fomentar hábitos saludables. Dijo que la hipertensión arterial, los altos niveles de azúcar en la sangre y el sobrepeso y la obesidad son algunas de las 19 enfermedades que causan mayor mortalidad, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Todos estos factores pueden combatirse con acciones como no fumar, hacer 30 minutos diarios de ejercicio e ingerir 4 porciones de frutas y verduras al día.

Duperly criticó duramente el tabaquismo y señaló que en Colombia son preocupantes los altos índices de masa corporal, es decir, "cuánto pesa un metro cuadrado de ser humano". Explicó que cuando ese índice se sitúa por encima de 23 empiezan a aparecer las complicaciones para la salud, prevenibles con actividad física. La médica Olga Lucía Sarmiento, profesora de la Facultad de Medicina de Los Andes, destacó que el diseño de las ciudades es un instrumento valioso para incentivar esa actividad.



▲ En el parqueadero del edificio Santo Domingo hay un espacio para las bicicletas.

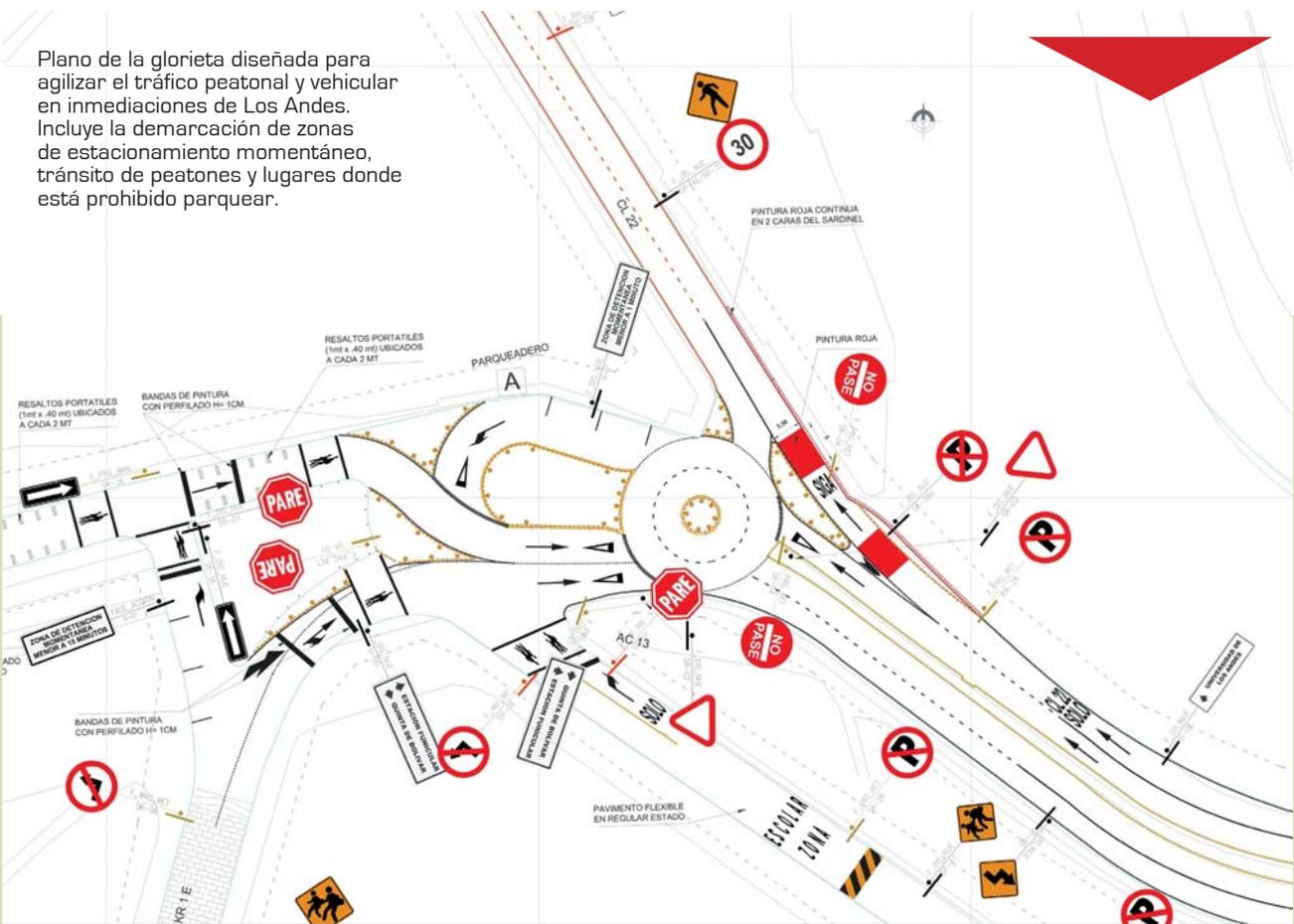
Comparte tu Chevrolet, un ejemplo colombiano

El programa Comparte tu Chevrolet de la GM Colmotores comenzó a gestarse a comienzos del 2009 y a finales del año pasado el porcentaje de viajeros en un mismo vehículo subió de 21 a 45 y el de empleados que viajan solos bajó de 79 a 56. Al presentar las cifras, Fernando Alonso, director ejecutivo de la Fundación Chevrolet, enfatizó en la necesidad de innovar, educar e invertir para lograr una movilidad sostenible, según las recomendaciones del Consejo Mundial de Negocios para el Desarrollo Sostenible.

La Fundación se concentró en sensibilizar a los 1.700 empleados para que se muevan mejor y adopten prácticas de mantenimiento ambientalmente amigables, pero apunta a extenderse a universidades, empresas y centros de negocio. Para lograr el objetivo, realizó una encuesta sobre las costumbres de viaje e involucró a su Oficina de Comunicaciones. Luego vinieron la campaña de expectativa, los talleres de sensibilización y el desarrollo de una plataforma sencilla en la web para hacer los contactos. También se demarcó un parqueadero donde los empleados pueden identificar las rutas y se estableció un plan de incentivos, como bonos de gasolina o parqueaderos preferenciales.

Comparte tu Chevrolet recibió en 2009 el premio Amor por Bogotá, entregado por la Alcaldía Mayor. ■

Plano de la glorieta diseñada para agilizar el tráfico peatonal y vehicular en inmediaciones de Los Andes. Incluye la demarcación de zonas de estacionamiento momentáneo, tránsito de peatones y lugares donde está prohibido parquear.



Zona de tráfico calmado o Zona 30

La pacificación del tránsito vehicular tiene dos objetivos principales: la reducción en el número y gravedad de los accidentes de tránsito y el mejoramiento del medio ambiente local para las personas. Son zonas donde el alto flujo de peatones amerita que los vehículos motorizados moderen su velocidad (a 30 km/h) para propender hacia la coexistencia de todos los actores del espacio público.

Este es un proyecto experimental propuesto por la Universidad, desarrollado en conjunto con la Secretaría Distrital de Movilidad, cuya finalidad es el diseño y puesta en funcionamiento

de una rotonda que contribuya a agilizar el tráfico de la calle 22 entre Monserrate y la Avenida Jiménez. Un estudio de Los Andes indica que en una hora se detienen 400 vehículos y taponan el ingreso desde la Avenida Circunvalar, razón por la cual la duración del semáforo debe ser muy corta. Esto hace que, por el mal comportamiento de los uniandinos, entre las 7 y las 8:30 de la mañana, la cola de carros llegue casi hasta la Universidad Distrital.

Para acordar la intervención de esta zona experimental de tráfico calmado, las áreas de Control y Vigilancia y de Seguridad Vial de la Secretaría hicieron

20 microsimulaciones con un software de planeamiento de tráfico, y el área de Transporte de Uniandes hizo lo propio con otro software. El proyecto incluye diseño geométrico, señalización, establecimiento de áreas de descenso y ascenso de pasajeros y de una zona para taxis y modificación de rutas de transporte público. Para que funcione es indispensable la cultura ciudadana.

Adicionalmente, en la carrera 2ª está prevista una zona de pacificación de tráfico para que los carros circulen muy lento, pero la obra no puede acometerse mientras se esté construyendo Transmilenio.

Ingeniería, educación y autoridad, mezcla exitosa

Un equipo interdisciplinario trabaja para agilizar los desplazamientos en Los Andes y su entorno y garantizar la seguridad y la convivencia. El Manual de Movilidad es una de las acciones.

Ingeniería, educación y autoridad son los tres pilares que aseguran el éxito en iniciativas de movilidad. Los problemas no se resuelven solo con buenas ideas de ingeniería. Así lo resume el profesor Juan Pablo Bocarejo, cabeza de los grupos multidisciplinarios de la Universidad de los Andes para investigar los temas de movilidad sostenible y movilidad uniandina.

Combinar ingeniería, educación y autoridad se conoce en inglés como la estrategia de las tres "ees" (*engineering, enforcement, education*) y pretende analizar el problema desde muchos puntos de vista. Por ello, ingenieros civiles, industriales y de sistemas, economistas, médicos, arquitectos, diseñadores y psicólogos, entre otros profesionales, integran el equipo que investigó los hábitos de la comunidad de Los Andes y propone acciones para cambiarlos.

Los expertos en transporte detectaron varios problemas de movilidad dentro y fuera de la Universidad. Por ejemplo, sobre la vía principal de acceso, ocurren casi 400 paradas cortas entre

las 6:30 y las 7:30 de la mañana, cada una con un promedio de 47 segundos, que entorpecen la fluidez del tráfico. Por otro lado, era común encontrar corrillos a la salida y entrada de las escaleras, hay obstáculos para el desplazamiento de los discapacitados y se utilizan mal los ascensores, entre otros muchos inconvenientes.

El diagnóstico también mostró que hay dificultades de acceso. "Una persona que entre por el edificio Mario Laserna, tiene acceso al 30% de las instalaciones y si lo hace por otras puertas, es mucho más crítico", dice Juan Pablo Bocarejo, director del grupo de investigación SUR (Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional). Agrega que la Universidad no es amigable con los discapacitados, pero con acciones como mejorar las rampas o educar a los estudiantes para que les den prelación, facilitan sus desplazamientos.

El profesor destaca la militancia de estudiantes como Andrés Vergara y de varios profesores en el uso de la bicicleta, a

Un manual para la agilidad y la convivencia

Ser prudentes y respetuosos, dar prelación a los discapacitados y privilegiar el uso de modos de transporte no motorizados recomienda el Manual de Movilidad que lanzó a finales del año pasado la Universidad de los Andes. También sugiere usar nuevas tecnologías, hacer uso racional del automóvil y reducir al máximo el impacto sobre el medio ambiente y el entorno para obtener agilidad, seguridad, convivencia y respeto.

En cinco páginas, el documento resume los comportamientos que deben tener los uniandinos cuando se desplazan en bicicleta, carro particular, taxi, transporte público o a pie, o cuando están en el campus. Así por ejemplo, les

pide caminar siempre por la derecha, utilizar los ascensores solo cuando van a subir más de tres pisos, cruzar las vías por las zonas demarcadas y respetar la señalización.

El Manual insta a la comunidad a usar la bicicleta porque reduce en 50% el riesgo de padecer enfermedades coronarias y en 30% el de sufrir de hipertensión; la anima a emplear los 344 kilómetros de ciclorrutas de Bogotá y le recuerda la importancia de portar siempre casco y señales reflectivas.

A los conductores les pide, entre otras cosas, que si el parqueadero del edificio Santo Domingo está lleno sigan su camino pues entre las 8:30 y las 11:30 de la mañana el promedio de espera es de

80 minutos. Tampoco deben estacionar en zonas prohibidas y los pasajeros solo deben bajarse en las áreas demarcadas.

El portal Viaje (Pág. 49), para el uso del carro compartido, tiene una sección dentro del documento. La primera sugerencia es subirse solo a los vehículos con la calcomanía de identificación. También recomienda cancelar con tiempo los recorridos que no puedan hacerse, pedir la placa del auto que lo recogerá y acordar puntos de parada donde no se forme congestión.

El Manual se irá modificando para introducir mejoras. El texto completo puede consultarse en <http://www.uniandes.edu.co/xplorer/especiales/movilidad/movilidad.pdf>

pesar de las distancias que deben recorrer desde sus casas (casi 12 kilómetros en algunos casos). Para mitigar el impacto negativo de la percepción de inseguridad (4,0 sobre 5,0 según una encuesta), se han puesto en práctica la Carrera de Modos y las Caravanas de los Miércoles (Págs. 42 y 44).

“No debemos esperar grandes soluciones e inversiones como alternativa para movernos mejor, pues cada quien tiene un importante potencial de apoyo”, dice Bocarejo. Precisamente por eso y porque los investigadores uniandinos intervienen en temas de la envergadura del metro para Bogotá y pueden ayudar al cambio, la Rectoría pidió trabajar en movilidad para crear un modelo experimental que dé ejemplo a la ciudad y a otras instituciones. La estrategia tiene el apoyo de la Oficina de Comunicaciones y la Dirección de Desarrollo.

“Creemos que el uso de nuevas tecnologías y nuevo materiales y generar zonas de experimentación puede ser bien interesante para la ciudad y para la movilidad en el futuro —dice Bocarejo—. Cada institución debería ser responsable de generar una movilidad más sostenible, y la suma de acciones contribuirá a mejorar la situación globalmente”.

Lecciones y logros en ocho meses de trabajo

El ingeniero Juan Pablo Bocarejo, doctor en Transporte de la Universidad de París Este, resalta los siguientes:

- Este ejercicio piloto debe tender a establecer un plan de movilidad similar al de algunas ciudades europeas, donde las empresas tienen planes obligatorios de movilidad sostenible y estrategias como la de Comparte tu Chevrolet (Pág. 46).
- En corto tiempo se alcanzaron buenas soluciones de ingeniería como la rotonda de la Zona 30, en conjunto con la Secretaría Distrital de Movilidad (Pág. 47).
- Se está haciendo gestión de tráfico. Muchas veces la solución no es construir un puente o invertir 3.000 millones de pesos en una obra, sino intervenir puntualmente la vía.
- Se han establecido zonas de pacificación de tráfico que le dan prioridad al peatón.
- Se ha logrado la integración multidisciplinaria. ■

Bienvenidos a Viaje, un portal para compartir el carro

Viajar en carro con acompañantes no solo mejora la movilidad y disminuye la contaminación, sino que hace más seguros y cómodos los desplazamientos. Por esa razón, desde octubre pasado, los departamentos de Ingeniería Industrial y Civil y Ambiental y la Facultad de Economía pusieron en funcionamiento el Portal Viaje.

Los investigadores tomaron en cuenta los resultados de varias encuestas según las cuales el 90% de los uniandinos estaría dispuesto a compartir el vehículo, y el 70% de los 920 carros que ingresan en un día típico a los 4 parqueaderos administrados por Los Andes tiene entre 1 y 2 ocupantes, pero cuando salen el promedio sube a 2,37. El propósito es aumentar la colaboración. Viaje surgió de la convocatoria de la Vicerrectoría de Investigaciones para lograr una movilidad sostenible y fue dirigido por el profesor Andrés Medaglia, ingeniero industrial con doctorado en Investigación de Operaciones de North Carolina State University y profesor asociado del Departamento de Ingeniería Industrial.

Utilizarlo es muy sencillo. Una vez se ingresa a <http://viaje.uniandes.edu.co> se dan algunos pasos según sea conductor o pasajero, así:

El conductor:

1. Se ubica en el mapa para crear una nueva ruta, darle un nombre y



▲ La comunidad uniandina dispone del portal Viaje para planear sus llegadas y salidas de la Universidad compartiendo su carro particular.

guardarla. Allí registra el cupo de pasajeros y las placas.

2. Publica los viajes, con día, hora y placa.
3. Monitorea el sistema para ver peticiones de pasajeros. Tiene la potestad de aceptar o rechazar la solicitud y el sistema le notifica la decisión al pasajero mediante el correo electrónico. Si lo acepta, revela la información de contacto.

El pasajero:

1. Crea ubicaciones, es decir, selecciona un punto en el mapa y señala el área de influencia en la que está dispuesto a moverse y lo guarda.
2. Busca viajes y hace la oferta para que lo lleven.
3. Verifica quién lo llevará.



LOS GRUPOS: COPA (Centro para la Optimización y la Probabilidad Aplicada), del Departamento de Ingeniería Industrial; SUR (Grupo de Estudios de Sostenibilidad Urbana y Regional) del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, y CEDE (Centro de Estudios sobre Desarrollo) de la Facultad de Economía.

CONTACTO: Andrés Medaglia, ingeniero industrial, profesor asociado de ese Departamento y director del proyecto de carro compartido. amedaglia@uniandes.edu.co

Correo electrónico: viaje@uniandes.edu.co

Arquitecto de software, perfil profesional cotizado

Un arquitecto de software debe saber combinar tecnología y negocios. Su formación incluye aspectos no solo de diseño y desarrollo de software sino también habilidades de negociación, comunicación y liderazgo.

50

El funcionamiento de los carros, los servicios bancarios, el correo electrónico y cualquier aplicación de computadores que interactúe con la gente para la producción de bienes y servicios tienen detrás un arquitecto de software. Su tarea es definir las estructuras principales del software, así como el camino y las tecnologías que deben utilizarse para construir ese producto, velando por su calidad, de forma que el sistema no solo funcione, sino que lo haga en las condiciones requeridas por los usuarios.

“Yo puedo utilizar mi computador para consultar la cuenta bancaria, pero si esta operación tarda 10 minutos, no quedaré satisfecho, aunque al final el sistema me entregue el saldo —explica Darío Correal, profesor asistente del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación y líder en el tema de arquitectura de software—. No basta que el software cumpla una función, sino que lo haga con eficiencia, disponibilidad, seguridad y escalabilidad, sin importar que haya diez o un millón de usuarios al mismo tiempo”.

Estos atributos de calidad diferencian a las empresas exitosas de las que no lo son. Por ello cada vez más gobiernos, bancos, petroleras, aseguradoras y universidades, entre una amplia gama de instituciones y compañías, son grandes consumidores de arquitectura de software. Esta disciplina empezó a cobrar importancia en 1996, con la publicación del primer libro sobre el tema y cada vez se especializa más: hay arquitectos empresariales, de software, de TI (Tecnologías de Información), de datos y de seguridad. En todos los casos la motivación es igual: las organizaciones reconocen que necesitan una persona que sirva de puente entre el negocio y el área de tecnología, que entienda el impacto de la tecnología en el negocio y que tome decisiones. Por fortuna, enfatiza Correal, se han dado cuenta de que el software es una inversión y no un gasto.

Un hábil comunicador

El arquitecto de software es un ideólogo, más que un desarrollador y por lo general no construye el producto. Además de los conocimientos técnicos, debe ser hábil en negociación, organización, liderazgo y comunicación, porque, en cierto sentido, es un vendedor, que debe hacer ver a los empresarios que la tecnología y el software son una inversión, un activo. También debe estar abierto a ideas nuevas y ser capaz de manejar lo desconocido o inesperado. “El arquitecto de software —explica Correal, doctor en Ingeniería de la Universidad de los Andes— debe ser alguien que entiende de negocios y de tecnología, con experiencia en construcción de software, y que ha recibido una formación adicional”.

Esa formación se da como posgrado y según los profesores Len Bass, Rick Kazman y Paul Clements, requiere gran cantidad de conocimientos en cierto tipo de matemáticas, lenguajes de programación, teoría del diseño y entendimiento de los componentes importantes de los sistemas operativos y las redes, entre



▶ Rick Kazman cree que los arquitectos de software pueden generar nuevas áreas de interés en las empresas.



▲ Len Bass y Rick Kazman opinan que para que un país llegue a ser desarrollador de software de primera línea deben juntarse capacitación, incentivos e infraestructura.

otros. Los profesores, expertos de primer orden en arquitectura de software en el mundo, estuvieron en la Universidad de los Andes dictando un curso sobre la materia entre el 28 de junio y el 9 de julio de 2010, en la Escuela de Verano. “Tradicionalmente, una persona pasaba a ser arquitecto de software después de muchas batallas dolorosas y de 20 años de trabajar en la empresa. Esa es una opción, pero la demanda de arquitectos es muy alta y no tenemos el tiempo para esperar a que cada 20 años se formen 5 arquitectos”, concluye el ingeniero Correal. De ahí, la urgencia de incrementar los cursos sobre la materia en los currículos universitarios. El tema se ha reforzado y en el currículo del pregrado de Ingeniería de Sistemas y Computación, existen los cursos de Arquitectura de Software y de Arquitectura Empresarial; en la Especialización en Construcción de Software (ECOS) y en la maestría hay un curso de Arquitectura por Componentes, y se está diseñando una maestría en Arquitectura de TI.

Correal explica que mientras Jorge Villalobos, director del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación, se concentra en la Arquitectura Empresarial y dirige el Laboratorio de Arquitecturas Empresariales, único en Latinoamérica, él se ocupa de las arquitecturas de solución. Dentro de estas últimas están la de software y las orientadas a servicios o SOA (por su sigla en inglés). En ambas temáticas trabaja la Universidad. Así, por ejemplo, en el Laboratorio de Arquitecturas Empresariales hay convenios con IBM y Oracle; se han dictado cursos especializados para el Banco de la República y SoftBolívar, se han hecho consultorías con Cintel y la FAC y hay convenios de investigación con la Fundación Santa Fe y el Ministerio de Comunicaciones. Además, en 2010, Los Andes lideró la creación del capítulo Colombia de IASA (International Association of Software Architecture), el primero en Latinoamérica, el primero liderado por una universidad y el primero que logró 40 afiliados al comenzar a funcionar. El propósito es agrupar y generar una masa crítica de arquitectos de TI en Colombia y ofrecer capacitación y certificación de arquitectos de TI. ■

Capacitación, incentivos y ganas, claves para el desarrollo

Tres expertos de renombre mundial en arquitectura de software compartieron sus conocimientos en Los Andes.

CONTACTO habló con los profesores Len Bass, Rick Kazman y Paul Clements durante la Escuela de Verano 2010. Ellos y Darío Correal coinciden en que las perspectivas para los arquitectos de software son enormes, pues aunque el mercado nacional parezca pequeño, no hay fronteras laborales y se puede trabajar en cualquier país. Pero la principal limitación es el idioma, pues es indispensable hablar inglés.

Bass es profesor del Instituto de Ingeniería de Software de



▲ Paul Clements cree que tener expertos en arquitectura de software marcará la diferencia entre tener éxito o fallar.

Carnegie Mellon University, de Estados Unidos. Es coautor de dos libros y responsable de varias innovaciones en evaluación y diseño de arquitectura de software y en cómo darle soporte a la usabilidad en este asunto. Kazman es miembro senior del equipo del Instituto de Ingeniería de Software de la Carnegie Mellon University y profesor de la Universidad de Hawai; es investigador en arquitectura de software, diseño y análisis de herramientas y visualización de software; ha creado métodos y herramientas de gran influencia para los análisis de arquitectura, incluyendo el SAAM (método de análisis de arquitectura de software).

Clements es miembro senior del equipo Técnico del Instituto de Ingeniería de Software de la Carnegie Mellon University, donde trabaja en arquitectura de software y en líneas de productos de software. Es coautor de cuatro libros y doctor en Ciencias de Computación de la Universidad de Texas (Estados Unidos).



▲ Paul Clements destaca que un factor fundamental para que se desarrolle la arquitectura de software es la voluntad de los estados.

Los profesores destacan cómo ahora es más fácil formarse como arquitecto de software porque hay cursos, libros y actividades universitarias que disminuyen de 10 años a 3 o 4 el tiempo de capacitación. Pero lo más importante es la experiencia en el diseño de sistemas y participar en equipos dedicados a esa tarea. Para ellos, es importante que las empresas cuenten con arquitectos de software. “Si el sistema que está construyendo no tiene buena arquitectura, definitivamente fallará —asegura Paul Clements—. No importa si la organización construye o compra sus sistemas de software. En ambos casos, los expertos marcarán la diferencia entre tener éxito o fallar. Para las compañías que lo compran es bueno tener algún conocimiento; es un asunto de ser un consumidor informado”.

Su colega Bass recuerda que este profesional es clave porque describe la infraestructura que se va a construir y les dice a los desarrolladores cuál es su responsabilidad y qué tan bien va a funcionar el sistema. Kazman complementa diciendo que los arquitectos de software pueden abrir nuevas áreas de interés, porque si por ejemplo hay un grupo de personas que trabaja en bases de datos, es probable que incluyan ese componente en los sistemas que construya la empresa.

Los expertos no dudan de las buenas perspectivas para un país en desarrollo como Colombia. “El patrón típico es el de India —sostiene Bass—. Al comienzo recurren a profesionales de afuera para que les ayuden a hacer los desarrollos, pero cada vez se involucran más en la actividad y tienen necesidad de contratar más arquitectos de software”. Kazman agrega que esas perspectivas están ligadas a cuántas compañías están naciendo en el país y pone de ejemplo a Israel, cuyo territorio es muy pequeño, pero tiene muchas empresas nuevas.

A su vez, Clements destaca que, primero que todo, tiene que haber deseo. En India y en China es una decisión nacional. También deben tener infraestructura tecnológica y universida-

des de calidad. “Pasé un año en India enseñando arquitectura de software y vi gente con las cualidades adecuadas: habilidades de comunicación y de ver un problema en abstracto: en lugar de ver el problema en todos sus detalles menores, pueden verlo en términos abstractos y eso es importante para un arquitecto”, afirma.

Bass y Kazman opinan que para que un país llegue a ser un desarrollador de software de primera línea deben darse muchos factores juntos: la habilidad de la población, el clima de negocios y la infraestructura. Es una combinación de capacitación, incentivos y oportunidades e infraestructura de computadores, energía confiable, redes, transporte y comunicaciones.

Clements los complementa diciendo que la arquitectura de software puede ayudar a desarrollar un país como sucede en India, donde utilizan los sistemas y el software para, por ejemplo, mejorar la vida de los agricultores al darles la oportunidad de conectarse para establecer precios comunes o intercambiar información sobre sus cultivos o los sistemas de transporte. Además, sacan ventaja de que en ese país muchas veces se reúne gran cantidad de gente en un mismo lugar, como las estaciones de tren o los mercados, y acuden a ellos para indagar qué hacer para que compren sus productos. “Estoy muy impresionado con el sistema educativo en India. Siempre tienen el desarrollo como una meta”, puntualiza.

Para los profesores, los gobiernos son los mayores demandantes de arquitectos de software porque requieren muchos sistemas de computación y necesitan ayuda para organizarlos, de suerte que pueden enviar gente a capacitarse en grandes empresas como IBM o Microsoft o rebajar los impuestos para promover las investigaciones. “Hace 20 años, los automóviles se construían sobre metal; hoy, tanto ellos como todos los fabricantes de electrodomésticos usan software y a ellos habría que darles los incentivos. Además, inciden la buena calidad de la infraestructura y la excelencia de la educación técnica, como sucede en India”, dice Kazman. También es importante alentar a la industria local para contratar arquitectos de software y para que se eduque sobre la importancia del tema.

Los tres enfatizan en que el gerente de la compañía y el arquitecto de software deben trabajar juntos, pues mientras el primero tiene un mejor entendimiento del negocio y es responsable de la adquisición de los equipos, el segundo traduce las necesidades del negocio hacia un sistema y lo desarrolla. ■



EL GRUPO: TICSw Tecnologías de Información y Construcción de Software. Departamento de Sistemas y Computación.

CONTACTO: Darío Correal, ingeniero de sistemas, profesor asistente del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación. dcorreal@uniandes.edu.co



Publicaciones

Toma de decisiones en las empresas: entre el arte y la técnica. Metodologías, modelos y herramientas. Mario Castillo Hernández (2a. reimpresión de la 1a. edición), Ingeniería Industrial, colección Libros.

Probabilistic Service Life Model Of Rc Structures Subjected To The Combined Effect Of Chloride-Induced Corrosion And Cyclic Loading. Emilio Arteaga Bastidas (1ª. edición). Decanatura Ingeniería, colección Tesis Doctorales de Ingeniería.

Fundamentos y criterios para ubicación, diseño, instalación y operación de infraestructura para el tratamiento térmico de residuos o desechos peligrosos en plantas de incineración y coprocesamiento. Manuel Rodríguez, Andrea Torrado y Sara Vera (compiladores). (1ª. edición). Ingeniería Civil y Ambiental, colección libros. Coeditor Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Colección Libros.

Fundamentos y criterios para ubicación, diseño, instalación y operación de infraestructura para la disposición de residuos o desechos peligrosos en rellenos de seguridad. Manuel Rodríguez, Andrea Torrado y Sara Vera (compiladores). (1ª. edición). Ingeniería Civil y Ambiental. Coeditor Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Colección Libros.

A Polynomial Approach For Analysis And Optimal Control Of Switched Nonlinear Systems. Eduardo Mojica-Nava. (1ª. edición). Doctorado en Ingeniería, colección Tesis doctorales.

Arrendamiento y vivienda popular en Colombia como alternativa habitacional. Clemencia Escallón Gartner (compiladora). (1ª. edición). Ingeniería Civil y Ambiental y Arquitectura. Coeditor Secretaría Distrital del Hábitat Alcaldía Mayor de Bogotá D. C. Colección Libros.

Memorias II Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública. Eduardo Behrentz (coordinador). (1ª. edición). Ingeniería Civil y Ambiental. Coeditor Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial. Colección Libros.

Introducción a la confiabilidad y evaluación de riesgos. Teoría y aplicaciones en ingeniería. Mauricio Sánchez Silva (2a. edición). Ingeniería Civil y Ambiental. Colección Libros.

Calidad del recurso hídrico de Bogotá (2008-2009). Manuel S. Rodríguez Susa. (1ª. edición). Ingeniería Civil y Ambiental. Colección Libros.

EVENTOS 2010

Segundo Foro de Cloud Computing: Clientes, Soluciones y Necesidades

El foro fue un diálogo y una reflexión entre proveedores y academia sobre lo que está pasando en este tema en sectores como el financiero y el educativo. Los exponentes coincidieron en que los riesgos están relacionados con privacidad, confidencialidad y administración de la información. Representantes de IBM, Microsoft, DELL, vmware, CISCO, CA, Google y Sales Force plantearon soluciones.

Fecha: 21 de octubre .

Organizó: Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación.

Seminario Internacional Tratamiento de Agua en la Industria Petrolera

Este seminario se realizó con el fin de sondear intereses de trabajo conjunto entre industrias del sector extractivo, proveedores de servicios petroleros y suministros e investigadores de la Universidad de los Andes, asociados a las problemáticas de Agua producida en la industria petrolera. En el evento se presentó el estado del arte en técnicas y tecnologías para el tratamiento de agua producida; se hizo un balance del panorama nacional en el tema, y se identificaron oportunidades de trabajo conjunto entre los actores del sector y grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería.

Fecha: 1 y 2 de diciembre.

Lugar: Edificio Mario Laserna.

Asistencia: 79 personas.

Organizó: Facultad de ingeniería, CIE-Agua (Centro de Investigación Estratégica de Agua).

Reconocimientos y distinciones

Premio Internacional a la Innovación en Carreteras

Hugo Alexander Rondón, doctor en ingeniería de la Universidad de los Andes, bajo la dirección del profesor Arcesio Lizcano, recibió el Premio Internacional a la Innovación en Carreteras Juan Antonio Fernández del Campo, el 24 de noviembre de 2010. Su trabajo se titula "Comportamiento de un material granular no tratado en ensayos triaxiales cíclicos con presión de confinamiento constante (PCC) y variable (PCV)". Más información: http://www.cancilleria.gov.co/wps/portal/embajada_espana y en <http://doctoradoeningenieria.uniandes.edu.co>

Condecoración al profesor Eduardo Aldana

El 26 de noviembre de 2010 el Ministerio de Educación Nacional le confirió la condecoración Simón Bolívar a Eduardo Aldana Valdés, profesor emérito del Departamento de Ingeniería Industrial, en la categoría "Orden Gran Maestro" por su trayectoria profesional meritoria en la educación, la ciencia y la tecnología.

Logro del CIACUA

Con un total de 16 trabajos, el Centro de Investigación en Acueductos y Alcantarillados (CIACUA), dirigido por el profesor titular Juan Saldarriaga, fue el grupo de investigación con el mayor número de artículos aceptados y presentados en el XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica que se llevó a cabo en Punta del Este (Uruguay), entre el 21 y el 25 de noviembre de 2010.



▲ Los estudiantes Juan Carval, Lina Baldrich, Nataly Bermúdez, María Alejandra Escovar, Sergio García, Felipe Hernández, Marcia Salazar, Rubén Córdoba y Pablo Ñañez participaron en el congreso en Uruguay.

EVENTOS 2010

XIV Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital - Sigradi 2010

Representantes de la arquitectura, las artes, el diseño, la ingeniería y las matemáticas reflexionaron sobre la discontinuidad y la continuidad en la creación y desarrollo de proyectos en diversas disciplinas. Se trataron temas como los ambientes colaborativos de apoyo al diseño, las interfaces hombre-máquinas, la visualización para la toma de decisiones y los nuevos medios para la conservación del patrimonio. Hubo invitados nacionales e internacionales como Mahesh Senagala, presidente del Departamento de Arquitectura de Ball State (Estados Unidos); Gillian Crampton Smith, fundadora del programa en Visual and Multimedia

Communication de la Universidad de Venecia (Italia); Neri Oxman, PhD en Design Computation como Presidential Fellow en Massachusetts Institute of Technology (MIT, Estados Unidos); Frederic Merienne, director del Instituto de Visualización de la Escuela Superior de Artes y Oficios (Francia); y Santiago Echeverry, coordinador del Máster en Electronic Media, Art and Technology de la Universidad de Tampa (Estados Unidos).

Fecha: 17, 18 y 19 de noviembre.

Lugar: Edificio Mario Laserna.

Asistencia: 326.

Organizó: Facultades de Ingeniería, de Arquitectura y Diseño y de Artes de la Universidad de los Andes.

Cuatro proyectos de ingenieros uniandinos finalistas en innovación

Cuatro proyectos de la Facultad de Ingeniería y uno de la de Administración fueron finalistas del Concurso Nacional de Emprendedores Ventures 2010, premios que entregaron la revista Dinero y McKinsey & Company el 24 de noviembre en la Cámara de Comercio de Bogotá. Las investigaciones de Ingeniería fueron:

Bloodox: Una emulsión que transporta oxígeno para suplir la falta de donantes de sangre obtuvo el segundo lugar en la categoría general y recibió 15 millones de pesos. Fue desarrollada por el Grupo de Ingeniería Biomédica (GIB), por la ingeniera química Camila Castro, profesora de ese Departamento; la ingeniera mecánica Pilar Navas, asistente de proyectos del GIB, y Luisa Vélez, profesional en finanzas y relaciones internacionales. Además, recibieron el Premio Seminario Seiky de Proexport Colombia, el Premio 100% Curso de Interlat Group, la licencia para usar la marca Colombia es Pasión y la asesoría jurídica de Cárdenas & Cárdenas Abogados. (En CONTACTO No. 1, marzo-septiembre de 2010, se publicó la nota "Un invento vital" sobre este trabajo).



▲ Luisa Vélez, Pilar Navas y Camila Castro.



▲ Equipo de trabajadores de Data Traffic.

Data Traffic: Un sistema de servicio en línea con datos sobre tráfico, desarrollado por estudiantes de mitad de carrera de los cursos del profesor José Tiberio Hernández, del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación y director del Grupo Imagine, fue reconocido como el de mayor potencial de crecimiento, y recibió de la Bolsa de Valores de Colombia 10 millones de pesos en acciones.

Requisitos para Realizar Grandes Proyectos de Infraestructura en Colombia

En el evento se discutieron las causas y posibles soluciones de la debilidad del sector de infraestructura. Los temas centrales fueron: Planes y políticas de inversión en infraestructura; características de la participación estatal; el papel de los actores privados; el papel de la ingeniería nacional y la industria de la construcción; y los problemas institucionales y de economía política.

Fecha: 4 de noviembre.

Lugar: Edificio Mario Laserna.

Asistencia: 353.

Organizó: Facultad de Ingeniería.

SiSgraft: Es un injerto vascular de colágeno que regenera los vasos sanguíneos, desarrollado por el GIB, en el que participaron Diana Sánchez, ingeniera mecánica, estudiante del doctorado en Ingeniería; Lina Quijano, bióloga, asistente de proyecto del GIB, y Raúl Quiroga, economista y estudiante del MBA. El proyecto fue uno de los 10 finalistas y recibirá soporte para el desarrollo de la empresa y asesoría jurídica de Cárdenas & Cárdenas Abogados.

Oclude Solutions:

Un dispositivo médico que ocluye fallas en el ductus arterioso de los bebés con cardiopatía congénita, desarrollado también por el GIB, estuvo entre los 10 finalistas. Los autores



▲ Carolina Vallecilla

de la investigación son Carolina Vallecilla, ingeniera civil, estudiante de doctorado en Ingeniería; Javier García, ingeniero mecánico, estudiante de la Maestría en Ciencias Biomédicas, y Felipe Estrada, administrador de empresas, MBA y asesor de emprendimiento. Recibirán asesoramiento para el desarrollo de la empresa y la asesoría jurídica de Cárdenas & Cárdenas Abogados.

Tesis doctorales

Evolución genética de estrategias para modelos de confianza en redes móviles ad hoc basados en teoría de juegos



Autor: Ángela Marcela Mejía Fajardo
Director tesis Uniandes: Néstor Peña
Codirector externo: José Luis Muñoz, Universidad Politécnica de Cataluña (España)

En esta tesis se propone un modelo distribuido de confianza basado en teoría de juegos, en el que los nodos utilizan procesos de percepción, aprendizaje, evolución y adaptación mediante un algoritmo genético distribuido de tipo celular/bacteriano y un parámetro de sociabilidad. El modelo de juego captura el dilema de la retransmisión, en el que cada nodo debe decidir si retransmite los paquetes de otros nodos para ganar su confianza, o si los descarta para ahorrar energía. La estrategia de decisión de cada nodo depende del comportamiento reciente de sus vecinos, de manera que la posibilidad de respuestas recíprocas incentiva la cooperación. Sin embargo, es necesario ajustar las estrategias a cada escenario particular. Para esto, las estrategias evolucionan en-línea mediante un algoritmo genético distribuido que integra el paralelismo de los algoritmos celulares, con heurísticas bacterianas basadas en la migración plasmídica. El efecto conjunto es la emergencia global de la cooperación entre los nodos racionales, y la detección y el aislamiento de los nodos egoístas, con una baja sobrecarga en los recursos de comunicaciones y un alto ahorro de energía.

Monitoreo y análisis de aplicaciones de workflow: un enfoque basado en un lenguaje de dominio específico

Autor: Óscar Fernando González Rojas
Director tesis Uniandes: Rubby Casallas Gutiérrez
Codirector externo: Dirk Derudder, Vrije Universiteit Brussel (VUB, Bruselas)

La investigación se centra en el monitoreo y análisis de aplicaciones de workflow durante su ejecución, lo cual facilita a las organizaciones la toma de decisiones para el mejoramiento continuo de sus procesos de negocio. El objetivo de la investigación es definir una nueva estrategia que permita a los desarrolladores de workflow detallar preocupaciones de monitoreo en un mayor nivel de abstracción e involucrar datos particulares a la aplicación de workflow con estas características. Para tal fin, se ha creado un



lenguaje de dominio específico llamado MonitA para determinar preocupaciones de monitoreo de forma uniforme e independiente de la tecnología de workflow. Adicionalmente, se ha definido una estrategia para automatizar la implementación e integración de las especificaciones de MonitA con aplicaciones de workflow implementadas en diferentes plataformas.

EVENTOS 2011

III Encuentro Colombiano de Micro y Nanotecnología (III ECMN)

El objetivo es crear un espacio interdisciplinario de investigadores activos, industriales y estudiantes que trabajen en micro y nanotecnología.

En las dos primeras jornadas, invitados nacionales, internacionales y de la comunidad uniandina dictarán charlas; en la tarde habrá sesiones de *posters* y presentación de compañías líderes en microscopía de barrido. El último día habrá tutoriales y visitas a los laboratorios relacionados con actividades a micro y nanoescala de la Facultad de Ingeniería y el Centro de Microscopía.

Fecha: 10, 11 y 12 de agosto.

Hora: 8 a. m. a 6 p. m.

Lugar: Edificio Mario Laserna, Auditorio A.

VI Congreso Internacional de Materiales, CIM 2011

Los sectores industrial, investigador y académico del país asistirán a seis presentaciones plenarias invitadas, 18 sesiones especiales y más de 150 presentaciones orales, entre otras. Las temáticas generales son: Avances en el Diseño de Materiales, Análisis de Fenómenos y Propiedades y la Ingeniería de Materiales. Serán complementadas con temáticas transversales a todas las disciplinas. Los invitados internacionales son: Tahir Cagim, Universidad de Texas A&M (Estados Unidos); Francisco Castro, Universidad de Navarra, CEIT (España); Rodrigo Moreno Botella, Instituto de la Cerámica y del Vidrio (España); Bruno Fayolle, ENSAM - PARISTECH (Francia); Mario Mallinconico, ICTP (Italia), y Rodrigo Marín, Schlumberger, R&D (Francia).

Lugar: Universidad de los Andes.

Organizan: Universidad de los Andes y Universidad Nacional de Colombia.

Fecha: 27 al 30 de noviembre.

Modelos ejecutables para soportar motores de workflow extensibles

Autor: Mario Sánchez Puccini

Director tesis Uniandes:

Jorge Villalobos Salcedo

Codirector externo: Dirk Deridder, Vrije Universiteit Brussel (VUB, Bruselas)



Esta tesis desarrolla conceptos y tecnologías para diseño, construcción, integración y evolución de motores para workflow, los cuales pueden utilizarse tanto con lenguajes genéricos (como BPMN o BPEL), como con lenguajes para

dominios especializados. Esta tesis se basa en MDE (ingeniería guiada por modelos) y en la propuesta de "Objetos Abiertos", los cuales sirven para describir la estructura y semántica de los lenguajes de especificación de workflow. Con objetos abiertos se construyen modelos ejecutables, y estos se componen entre sí para complementar las definiciones de los workflow. Los motores obtenidos con estas ideas son adaptables y extensibles, y la evolución de los lenguajes tiene un impacto relativamente bajo sobre ellos.

Un enfoque no invasivo para la evolución de cadenas de transformación de modelos

Autor: Andrés Yie

Director tesis Uniandes: Rubby Casallas Gutiérrez

Codirector externo: Dirk Deridder, Vrije Universiteit Brussel (VUB, Bruselas)



Una Cadena de Transformación de Modelos (CTM) toma un modelo expresado en el dominio del problema y en una serie de pasos genera una aplicación expresada en el dominio de la solución. Una CTM es un activo muy valioso en la producción de software que se ve afectada por la evolución. Esta tesis se enfoca en proporcionar una estrategia no invasiva que facilita la adición de nuevas preocupaciones a una CTM ya existente. La propuesta sigue el principio de separación de preocupaciones e integra los requerimientos de la nueva preocupación de forma no invasiva, minimizando el impacto de los cambios en los artefactos de la CTM.

Metodología para la detección automática de lesiones vasculares

Autor: María Alejandra Zuluaga

Director tesis Uniandes: Marcela Hernández

Codirector Externo: Maciej Orkisz, Institut National des Sciences Appliquées, INSA, Lyon (Francia)



La tesis presenta una metodología para la detección automática de lesiones vasculares en imágenes de tomografía computarizada (TC) del corazón. En la actualidad, esta labor es desarrollada visualmente por los médicos y su complejidad no es despreciable. Como solución, se planteó el problema bajo el paradigma de detección de anomalías y se utilizaron máquinas de vectores de soporte para resolver el problema de clasificación. El algoritmo desarrollado clasifica las arterias como patológicas o sanas. Las clasificadas como patológicas en un ciclo cardiaco son puestas en correspondencia con un segundo ciclo cardiaco para corroborar la clasificación.

Foros Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación

Con el fin de crear un espacio de discusión para las compañías líderes en las diferentes tendencias, y dar a conocer sus estrategias, visión y tendencias para el futuro, este Departamento realizará distintos eventos. En marzo, en torno a las líneas tecnológicas de cloud computing, BI y toma de decisiones, Seguridad y Arquitectura de Software: Evento Google; Cuarto Foro Cloud Computing: Aspectos Legales (Consideraciones legales para construir proyectos de cloud computing); Segundo Foro de BI, Tableros de Control para Áreas Financieras. En abril, Primer Foro de Seguridad. Seguridad y Supervivencia del Negocio. En junio, Lanzamiento Primer Cloud Computing Académico Privado. Igualmente, el capítulo IASA Colombia realizará reuniones cada dos meses y cursos de entrenamiento para sus miembros. Se discutirán temas de arquitectura de software, certificaciones internacionales, y el papel del arquitecto de software en la industria de software nacional, entre otros.

Información: María Isabel Rodríguez, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación. mi.rodriguez21@uniandes.edu.co

Seminario de Mecánica Computacional

El Departamento de Ingeniería Mecánica realizará un curso, de entrada libre y cupo limitado, para los interesados en la mecánica computacional. El seminario pretende exponer a los estudiantes de ingeniería y ciencias a charlas y presentaciones de temas relacionados con los métodos numéricos y la simulación computacional aplicada a la solución de problemas prácticos y aplicados. Se hablará de métodos computacionales utilizados en áreas de la ingeniería y de las ciencias básicas que se están desarrollando en esta y en otras universidades del país.

Fecha: De enero a mayo.

Horario: Lunes de 1:00 a 1:50 p. m.

Lugar: Salón SD-806

Información: <http://mecanica.uniandes.edu.co>

e-mail: ingmecanica@uniandes.edu.co

Problemas de rutas de vehículos con remolque

Autor: Juan Guillermo Villegas Ramírez
Director tesis Uniandes: Andrés Medaglia González y Nubia Velasco
Codirector externo: Christian Prins y Caroline Prodhon, Université de Technologie de Troyes (Francia)



La tesis estudia los problemas de rutas cuando la capacidad de los vehículos se aumenta con remolques desenganchables, lo cual genera restricciones de accesibilidad en algunos clientes. Este tipo de problemas se encuentra, por ejemplo, en el diseño de rutas de recolección de leche, reparto de correo y recolección de residuos sólidos. Se presenta el caso con un único vehículo y se proponen para su solución dos metaheurísticos y un método exacto. A continuación, se aborda con múltiples vehículos y para resolverlo se proponen un metaheurístico híbrido y un método cooperativo (metaheurístico/exacto). Finalmente, se incluye una librería orientada a objetos para el desarrollo de métodos heurísticos basados en el enfoque *route-first, cluster-second*.

Inestabilidades en arenas

Autor: Alfonso Mariano Ramos Cañón
Director tesis Uniandes: Arcesio Lizcano Peláez
Codirector externo: José E. Andrade, California Institute of Technology (Estados Unidos)

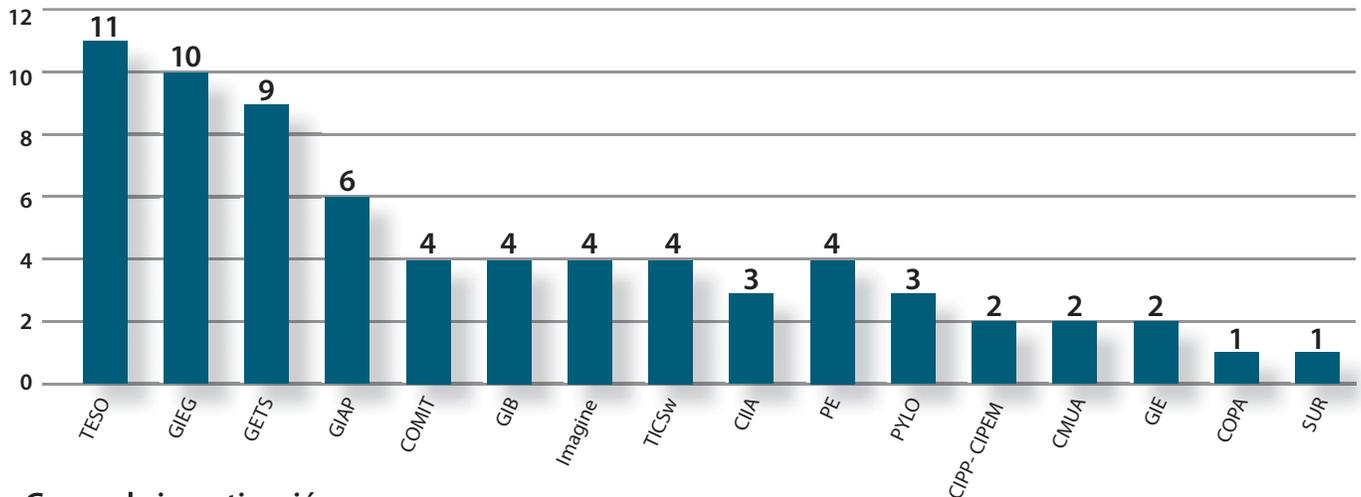
Este trabajo busca contribuir a la detección del momento en que se presentan las inestabilidades en arenas bajo condiciones secas/drenadas y saturadas/no drenadas. Se propone un marco para detectarlas basado en pérdida de unicidad-bifurcación (concepto matemático) o en la inestabilidad de Hill-energía cinética (concepto mecánico), con lo que se derivan criterios



aplicables a las inestabilidades más comunes en materiales granulares. El desempeño de los criterios propuestos es validado con resultados experimentales disponibles en la literatura técnica. Este trabajo expande el repertorio de análisis para las inestabilidades potenciales reportadas en casos de estudios problemáticos de falla de taludes bajo condiciones drenadas y no drenadas.

La Facultad en cifras

Número de estudiantes de doctorado por grupo de investigación



Grupo de investigación

TESO	Teoría de Sistemas de las Organizaciones	Imagine	Computación Visual, I+D+I
GIEG	Grupo de Investigación en Estructuras y Geotecnia	TICSsw	Tecnologías de Información y Construcción de Software
GEST	Grupo de Electrónica y Sistemas de Telecomunicaciones	CIIA	Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental
GIAP	Grupo de Investigación en Automatización para la Producción	PE	Potencia y Energía
COMIT	Comunicaciones y Tecnología de Información	PyLO	Producción y Logística
GIB	Grupo de Ingeniería Biomédica	CIPP-CIPEM	Grupo de Materiales y Manufactura
		CMUA	Centro de Microelectrónica Universidad de los Andes
		GIE	Grupo de Integridad Estructural
		COPA	Centro para la Optimización y Probabilidad Aplicada
		SUR	Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional

El Chief Amaya, polifacético

A los 70 años, en diciembre de 2006, murió uno de los profesores e investigadores más consagrados de la Facultad de Ingeniería. Hizo aportes en distintos campos científicos relacionados con la Ingeniería de Sistemas y Computación, con la Ingeniería Civil y con la Oftalmología.

En 1963, recién llegado de Estados Unidos, el ingeniero civil Luis Enrique Amaya Isaza ingresó a trabajar en la Universidad de los Andes. Al poco tiempo fue nombrado director del Departamento de Ingeniería Civil y como había hecho la maestría y el doctorado en universidades estadounidenses, sus pupilos no le decían jefe sino 'chief'; ese apelativo se convirtió en su apodo durante los más de 40 años que estuvo vinculado como profesor e investigador de la Facultad de Ingeniería.

El Chief Amaya no solo fue un personaje muy respetado por sus calidades científicas sino que también fue muy querido en la Facultad, entre otras razones por su humor. Recuerda su hijo Luis, quien fue alumno suyo, que siempre les hacía chistes a sus estudiantes: "Una vez, en un examen final un sábado por la tarde, llevé a todos los hijos y a un perro bóxer para que ayudáramos a cuidar. A los muchachos les expliqué que el perro estaba entrenado para detectar a los que se copiaban. Por alguna razón el bóxer se sentó junto a uno de los sospechosos, que quedó paralizado y después de un rato, entre las risas de todo el salón, pidió que lo sacáramos". También recuerda que tenía encima del escritorio una taza para tomar café que decía 'El que sabe, sabe; el que no, enseña'.

El Chief Amaya se destacó por sus aportes en Oftalmología (Pág. 22) ciencia en la cual fue pionero en la investigación. Según recuerda el ingeniero eléctrico y profesor uniandino Hernando Durán Castro, debido a que el Chief había aprendido en la Universidad de Notre Dame (Estados



► El Chief Luis Enrique Amaya no solo era un gran científico, sino también un ser humano apreciado por sus colegas y estudiantes.

Unidos) a manejar la IBM 650, una máquina que por más de diez años solo hubo en Los Andes, se convirtió en pieza fundamental del nuevo Centro de Cómputo de la Universidad. A continuación, algunas de las contribuciones del Chief, según el profesor Durán:

- **Profesor:** Era generoso y paciente para atender a todos los estudiantes que venían con sus preguntas; "por su buen talante para relacionarse con profesores y alumnos, y su humor e ingenio para contestar sus interrogantes; por su dedicación y abnegación para corregir cantidades de tareas y exámenes haciendo comentarios detallados, estimulantes y pertinentes".

- **Implementador de software:** "Su manera de trabajar metódica, su organización y meticulosidad para diseñar, programar y/o probar programas de

computación eran asombrosas. Implementó exitosamente uno de los primeros programas de control y manejo de proyectos de construcción, utilizando las metodologías PERT/CPM", señala Durán.

- **Ingeniero de proyecto:** Durante la construcción del edificio de Avianca de la carrera séptima, en Bogotá, "la Universidad de los Andes tuvo a su cargo la supervisión y control de la ejecución de todas las actividades, utilizando por primera vez en Colombia un computador electrónico. Fue el responsable de llevar a cabo todo el acopio, procesamiento y despliegue de la información relacionada con este proyecto", recuerda.

- **Investigador:** "Siempre entendió la importancia y necesidad de investigar. En este sentido, su carrera tuvo su clímax con el desarrollo de proyectos para asistir y perfeccionar intervenciones quirúrgicas de la córnea, que lo llevaron a obtener dos premios nacionales en ciencias de la Fundación Alejandro Ángel Escobar". Empezó a investigar sobre el ojo humano a mediados de la década de 1970. Junto con Alejandro Arciniegas trabajó en la detención de la miopía evolutiva mediante la vitrectomía radical, la corrección de la miopía simple y el astigmatismo miópico simple y compuesto, por medio de incisiones dobles paralelas realizadas en los meridianos correspondientes al defecto óptico; y en la corrección de los astigmatismos hipermetrópicos simples, compuestos y mixtos, por medio de incisiones curvas, entre otros. ■

Jorge Pinzón, un colombiano en la Nasa

La interpretación de las imágenes satelitales sobre el comportamiento climático es el trabajo de este matemático puro e ingeniero de sistemas y computación egresado de Los Andes. Trabajar en equipo es la clave.

Al combinar sus conocimientos de matemáticas puras con los de computación, el científico colombiano Jorge Enrique Pinzón estableció patrones para identificar eventos puntuales como el ébola, una enfermedad cuya rata de mortalidad es de 85%, pero con un proceso infeccioso lento, y, por ende, prevenible. De esa manera, predijeron que en el 2001 había riesgo de un nuevo brote en varias regiones de África y en cuál de ellas ese riesgo era mayor. Así evitaron un contagio masivo como el de 1994 cuando incluso médicos y enfermeros se contaminaron.

La clave está en la teledetección o interpretación de imágenes tomadas casi a diario por satélites de la Agencia Aeroespacial de Estados Unidos (Nasa) para analizar los cambios climáticos y con esa base determinar si el ambiente es propicio para la vida de vectores y hospedadores de enfermedades infecciosas o si se acerca una fuerte sequía que provocará hambruna porque se dañan las cosechas. Los modelos son validados en el campo. “No hacemos seguimiento de hospedadores de enfermedades como ratones o murciélagos, porque la resolución no lo permite —explica el investigador—. Pero sí seguimos las condiciones climáticas que promueven y crean el ambiente perfecto para aumentar la población del vector o del hospedador, según las imágenes de satélite”.

Pinzón es doctor en Matemáticas Aplicadas de la Universidad de California, Davis, y desde hace 10 años es líder científico de Science Systems Applications, firma contratista de la Nasa, donde desarrolla un trabajo multidisciplinar con biólogos, ecólogos, profesionales de la salud pública, médicos, matemáticos e ingenieros. “La Nasa piensa que el acercamiento a la gente no solo debe ser técnico, sino social, para que los contribuyentes vean que sus impuestos regresan a la comunidad —precisa—. Pero no es una agencia operativa y pone los

resultados a disposición de otros organismos que sí lo son para que acometan acciones preventivas”.

Por ejemplo, con base en las interpretaciones de la Nasa, en Four Corners (donde coinciden los estados de Colorado, Nuevo México, Arizona y Utah), las alertas del Centro de Control de Enfermedades de Estados Unidos y el esfuerzo de la comunidad bajaron los casos de plaga bubónica de 30, en 1984, a entre 0 y 2, en años posteriores.

Y la agencia de ayuda a países extranjeros USAID ha actuado en el Sahel, una zona africana de familias pobres situada entre el desierto del Sahara y el bosque tropical, donde cada cuatro años las fuertes sequías estropean las cosechas. Esto ha permitido acopiar alimentos para enfrentar la escasez.

Las imágenes de la Nasa son gratuitas, pero las investigaciones y validaciones en campo sí requieren inversión, cuyo mon-



▲ Otra contribución clave de Jorge Pinzón es la aplicación de los datos satelitales que produce para estudiar los cambios en la vegetación del ártico (tundra), cuya ocurrencia se da a velocidad sorprendente. Más información en <http://www.arctic.noaa.gov/reportcard/vegetation.html>

Fotos: Jon Golden <http://www.jongolden.com>

▶ El científico identificó eventos puntuales que se confundían con ruido en las señales de las características globales temporales. Esto permitió establecer los patrones de enfermedades como el ébola.

to depende de la prioridad otorgada a la prevención y de que se asigne valor a la información provista por los modelos. Hasta ahora no se han empleado en Colombia, porque, dice Pinzón, aún no se han dado las conexiones para que, además de financiación, haya colaboración gubernamental.

A juicio del científico, a los colombianos se les dificulta trabajar para agencias líderes en investigación. Y no porque carezcan de las capacidades intelectuales, sino por los trámites administrativos, que se endurecieron aún más desde 2001 tras los atentados terroristas en Nueva York y Washington. Sin embargo, provenir de la Universidad de los Andes abre puertas porque sus estudiantes y egresados la han representado muy bien. Colaborar es clave y, por eso, otra contribución suya se relaciona con el mantenimiento que debe dárseles a los datos para alimentar sus modelos, de manera que sean asequibles, tengan continuidad y otros los aprovechen.

La experiencia con la Nasa le ha enseñado que, al comienzo, hay recelo entre los colegas por falta de confianza y ellos se preguntan qué puede aportarles el recién llegado. Las resistencias se rompen si la persona acude con mente abierta para aceptar que no puede asimilarlo todo y valora la opinión ajena. Además, debe ser innovadora y no temerle a expresar sus ideas. En cuanto la universidad permite a los estudiantes trabajar en

grupo, contribuye a potenciar esa cualidad, que se gesta desde el colegio (es orgullosamente ex alumno del Instituto La Salle de Bogotá).

Considera que Los Andes le dio el ambiente propicio para investigar y recuerda con especial cariño a *monsieur* Yerly, uno de los fundadores del Departamento de Matemáticas. “Marcó mi vida. Preguntaba cosas que uno había estudiado y eso valía el 80%, pero también quería distinguir la creatividad y la habilidad de conectar los puntos e ir de A a B sin necesidad de haberlo hecho antes. Proponía problemas y retos que nos forzaban a relacionar conceptos para solucionarlos”. También disfrutaba las clases de Humanidades con los profesores Daniel García y Conrado Zuluaga y los cursos de Lenguajes de Programación con Camilo Rueda.

Su trayectoria le ha mostrado la urgencia de que los ingenieros se readapten a los cambios con rapidez. “Esa cualidad me ha permitido imponer mi paso y mi estilo”, asegura. También es importante encontrar equilibrio para que los ingenieros puedan ser científicos. Por eso, deben ser entusiastas y tener claro que la investigación no puede quedarse como ejercicio académico. Hay que distinguir cuándo es el momento de mostrar resultados, aunque no se haya alcanzado el nivel óptimo. Ya habrá tiempo para perfeccionarlos. ■

Bioingeniería: suma de Ciencias Biológicas e Ingeniería



62

En la actualidad, la interacción entre Ciencias Biológicas e Ingeniería es una necesidad, por lo menos para los expertos en Ciencias Biológicas si queremos entender los sistemas vivos y su funcionamiento. Sin embargo, hasta ahora la interacción ha sido difícil y como docentes debemos trabajar hacia la actualización de los currículos en Ciencias e Ingeniería para incluir cursos que introduzcan a los estudiantes en los conceptos de otras disciplinas.

Los desarrollos tecnológicos en el área de la Biología Molecular, específicamente en todo lo relacionado con el conocimiento de la secuencia del ADN de un organismo, han permitido conocer, en pocos meses, la secuencia completa del ADN (genoma) de organismos complejos como el humano. Sin embargo, ¡la cantidad de información que debe manejarse es astronómica! Los especialistas de las Ciencias Biológicas tuvieron la necesidad de recurrir a otras disciplinas y fue en ese momento, posiblemente, cuando comenzó a consolidarse una más impactante y estrecha interacción con las ingenierías. Fue necesario recurrir a las Ciencias Computacionales para poder lidiar con esta cantidad enorme de datos que en un momento no eran solo secuencias de ADN sino también de ARN, proteínas, metabolitos y sus interacciones. De esta relación surgió la Bioinformática.

Este es un campo emergente de investigación, ubicado en la intersección de la Biología y las Ciencias Computacionales, y rápidamente ha sido reconocido como fundamental para el estudio de la Biología y la investigación biomédica actual. La Bioinformática incluye el desarrollo y aplicación de herramientas y análisis computacionales para la adquisición, organización, almacenamiento, análisis y visualización de los datos biológicos, y el modelamiento de procesos biológicos para entender sistemas de alta complejidad.

Debe insistirse en estimular el diálogo entre los actores de este nuevo campo pues, en la medida en que todos tengan un lenguaje común para comunicarse, la Bioinformática tendrá posibilidades de generar soluciones a muchas de las preguntas actuales en varias ramas de la Biología. Esto nos plantea un nuevo reto como docentes universitarios: el de mostrar y transmitir a los estudiantes la importancia de la multidisciplinariedad en la investigación científica. Solo convencidos de ello, y actuando para que los currículos de carrera la reflejen, podremos mejorar el diálogo entre ingenieros y especialistas de las Ciencias Biológicas.

Desde acá, entonces, planteamos dos ideas para que sean consideradas por los responsables de los cambios curriculares: una, incluir cursos de programación en los currículos de Ciencias Biológicas; y dos, incluir cursos de Genómica y Bioinformática en los programas de Ingeniería. Estas ideas, sin embargo, no son nuevas y ya existen en otros países prototipos de plataformas, construidos en parte por docentes, para el desarrollo de herramientas en la enseñanza práctica de Genómica y Bioinformática. ■

Silvia Restrepo

Bióloga, profesora asociada de la Facultad de Ciencias de la Universidad de los Andes. Laboratorio de Micología y Fitopatología. srestrep@uniandes.edu.co

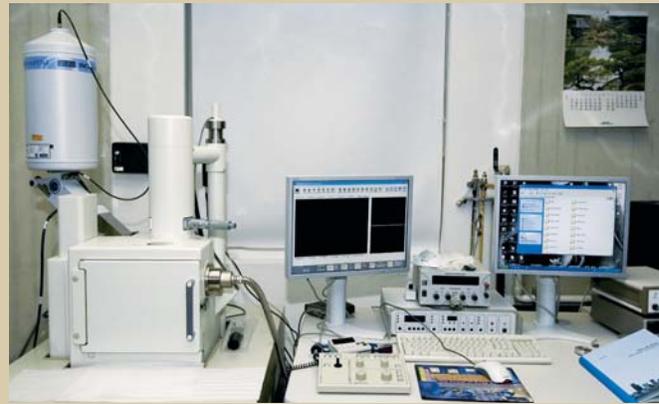
Pedro Jiménez

Biólogo. Laboratorio de Fitopatología de la Universidad Militar Nueva Granada.

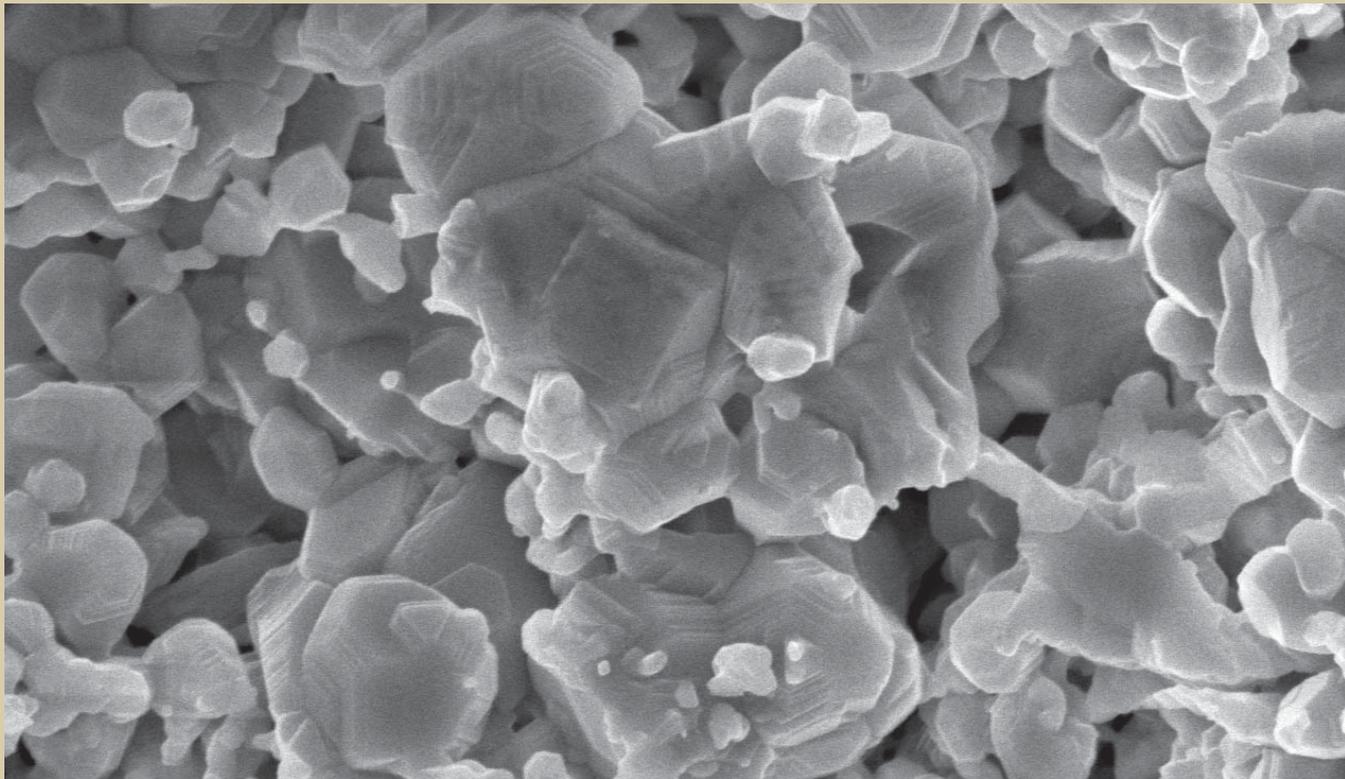
Fotolab

Microscopio Electrónico de Barrido (MEB)

Referencia Jeol JSM 6490 LV



Microscopio Electrónico de Barrido (MEB)



20kV

X5,000

5 μ m

0577

09 40 SEI

La estructura que se visualiza es un CERMET (Cerámico+Metal) compuesto de zirconia estabilizada con itria [YSZ] y níquel. Las partículas con formas poliédricas corresponden a níquel y las partículas pequeñas a YSZ. Es parte del proyecto de caracterización de celdas de combustibles desarrollado por los profesores Alba Ávila y Jairo Escobar y el estudiante de doble programa en Ingeniería Mecánica e Ingeniería Electrónica Jorge Poveda.

Qué es: Un instrumento científico para la visualización experimental y el análisis composicional a micro y nanoescala. El equipo opera desde 2009. Hace parte del Centro de Microscopía. Ver página 2.

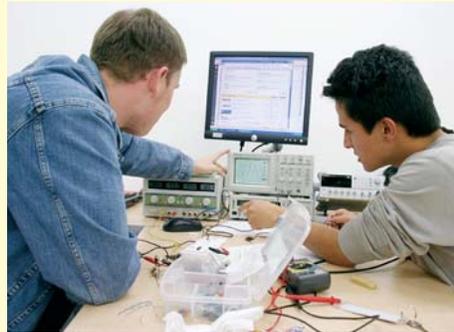
Para qué sirve: Permite visualizar la morfología de objetos a micro y nanoescala, con la capacidad adicional de llevar la muestra a temperaturas entre -30°C y 1250°C. Esta puede modificarse a través de litografía electrónica con una resolución de 80 nm y hacer análisis composicional en un rango que va desde litio hasta actinio. Permite también trabajar en alto y bajo vacío.

Costo: 950 millones de pesos.

Proyectos: Caracterización de rugosidad en celdas de combustibles; características morfológicas de sintetización de nanomateriales; análisis de LEDs orgánicos; estudios de toxicidad en materiales de componentes electrónicos; caracterización de óxidos para películas anticorrosivas; caracterización de materiales biológicos; caracterización del compuesto *woodpecker* usado en construcción; caracterización de la composición y morfología de la guadua, y caracterización de fibras naturales. Reservas e información: <http://meb.uniandes.edu.co>

Programas de Posgrado

Facultad de Ingeniería



Doctorado

Doctorado en Ingeniería
Registro SNIES: 16071

Maestría

Maestría en Ingeniería
Registro SNIES: 20823

Áreas:

Civil

Eléctrica

Electrónica y de Computadores

Industrial

Mecánica

Química

Sistemas y Computación

Mayor información:

Teléfonos: (571) 332 4327, 332 4328, 332 4329

Correo electrónico: info.ingenieria@uniandes.edu.co – <http://ingenieria.uniandes.edu.co>