



# Nevados colombianos, en inminente extinción

Como cerros rocosos, casi desnudos ante la merma de sus capas de nieve. Así se ven hoy el Ruiz, el Santa Isabel y el Tolima, glaciares del Parque Nacional Natural Los Nevados (PNNN) a los que expertos les auguran, en menos de 50 años, la misma suerte que corrieron el Chiles y el Cumbal (en Pasto), y el Pan de Azúcar y el Puracé (en el Cauca), entre otros nevados colombianos cuyo derretimiento fue inminente durante el siglo XX.

Su progresivo deshielo, similar al de muchos en el planeta, es atribuido por la ciencia al final del periodo interglaciar (determinado por altas temperaturas) que está experimentando desde hace 10.000 años la Tierra, ¡pero también a la "ayudita" que el ser humano le está dando con la emisión de gases a la atmósfera y el mal uso de los recursos hídricos! Su desaparición no solo significará el fin de un fastuoso paisaje de nieve. También se verán afectados cerca de tres millones de habitantes de la zona que se abastecen del agua producida por esta fábrica natural.

Interesados en este fenómeno ambiental con alto impacto en las comunidades de Caldas, Quindío, Risaralda y Tolima, investigadores del Grupo de Trabajo en Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la





Profesor  
Fernando  
Mejía.

Universidad Nacional de Colombia en Manizales, desde hace diez años le toman a diario “el pulso” al comportamiento del retroceso glaciar en los nevados del Ruiz y Santa Isabel, al tiempo que comprueban con métodos estadísticos la tendencia al aumento de los caudales, es decir al deshielo que están presentando.

Entre los objetivos del grupo, que hasta hace unos días tuvo como líder al ingeniero experto en el aprovechamiento de recursos hídricos Fernando Mejía (recién pensionado), está determinar las posibles medidas que podrían tomarse a futuro para evitar, tanto la extinción total de estas cumbres heladas, como satisfacer la demanda de agua que tendrán las poblaciones.

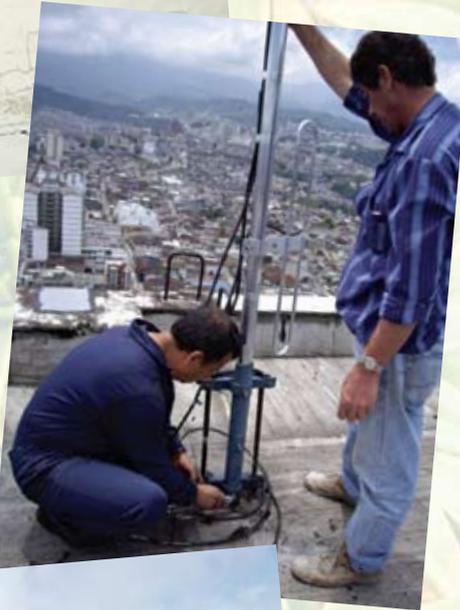
Para ello, de falda a cima, los profesionales han instalado estaciones de monitoreo del clima y el hidrocima en diferentes puntos estratégicos de los nevados, empleando sistemas tecnológicos modernos, económicos y eficaces, desarrollados por ellos mismos a lo largo de 20 años.

¡Quién lo creyera! Comenzaron con un PC que ni siquiera tenía disco duro, y hoy sus innovadores instrumentos de medición de variables físicas están asociados a proyectos de gran envergadura como la hidroeléctrica Miel I, a sistemas de alerta temprana y prevención de desastres en diferentes regiones, como el Eje Cafetero, así como a redes de monitoreo hidroclimático y ambiental, como las de los Nevados.



Profesora  
Blanca  
Botero.

2

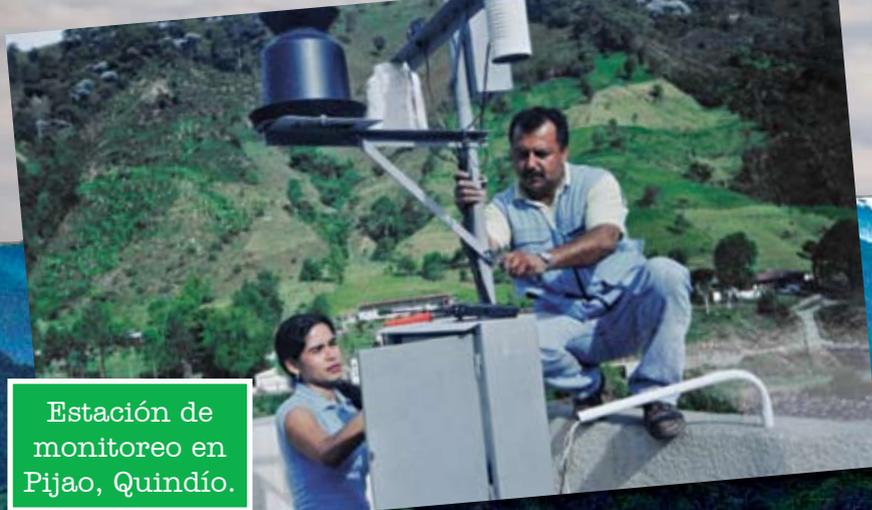
DIVISIÓN TERRITORIAL URBANA  
MANIZALES

De hecho, son los responsables de que hoy la ciudad de Manizales, la más amenazada en Colombia por catástrofes naturales como terremotos, deslizamientos, erupciones volcánicas e inundaciones, cuente con el mejor sistema de monitoreo hidrometeorológico del país, asociado a prevención de desastres. Se trata de catorce estaciones telemétricas, con transmisión de datos en tiempo real, que le han costado a la ciudad la suma de 250 millones de pesos, cuando la importación de solo dos de ellas tiene el mismo precio.

El equipo periodístico de *Matices. Historias detrás de la investigación* acompañó al grupo de expertos en una de sus salidas a los nevados del Ruiz y Santa Isabel y, en una experiencia "bastante helada", conoció de cerca el reto que han asumido los científicos al salir del laboratorio y ascender, a paso lento pero seguro, hasta la cima del imponente volcán, llevando a cuevas pluviómetros, paneles solares, cables, mallas, tubos, trípodes y hasta ladrillos para instalar las estaciones.

Después de diez años subiendo y bajando el Ruiz y el Santa Isabel ya no se pierden, en semejante monte, como al comienzo. Han aprendido a resistir temperaturas extremas que alcanzan los  $-5^{\circ}\text{C}$ , a respirar ante la falta de oxígeno que provoca incontrolables mareos y dolores de cabeza, y a "agarrarse" frente a una ventisca. Incluso han vivido experiencias tristes como la muerte de uno de sus compañeros debido a una falla cardíaca durante una expedición.

3



Estación de monitoreo en Pijao, Quindío.



Los 20 años que llevan desarrollando tecnología y aplicándola en distintas zonas del país están marcados por anécdotas como el secuestro por parte de la guerrilla de una de las redes de monitoreo en Pijao (Quindío) y por su interés en medir fluidos distintos a los hídricos, como la orina. Se inventaron una silla de uroflujometría cuyo proceso acelerado de prueba implicó incidentalmente “prender” a punta de cerveza a varios estudiantes de Medicina para lograr la evacuación requerida durante el análisis.

¡Una y mil historias que supo el equipo de *Matices* mientras intentó trepar hasta el pico volcánico!

## El imponente Kumanday

Cerca de 58.300 hectáreas integran el PNNN, cuya fauna está representada por cóndores, venados, osos de anteojos y pumas. Su fuerte es la parte hídrica, pues cuenta con cuencas que nacen del páramo, ecosistema que toma el agua y la administra para luego suministrarla a la población.

La carretera Manizales - Bogotá fue la vía de acceso a las faldas del majestuoso Kumanday (o banco hermoso), como bautizaron al volcán Nevado del Ruiz los indígenas que habitaron este territorio de la cordillera central.

Eran casi las 7:00 de la mañana y mientras la camioneta de la UN avanzaba por la montaña para tomar la variante hacia Nereidas, los rayos del sol permitían ver de manera





Medidas de retroceso del frente glaciar.



Cerro Gualí.



intermitente el pico de nieve del Ruiz, que rápidamente era cubierto por la niebla. A pesar de que estudios del Ideam evidencian que este paraíso glaciar se reduce 20 metros lineales por año, lo que significa que para ver y tocar la nieve se debe escalar mucho más, aún Kumanday es imponente.

Guantes, gorro y una chaqueta de invierno nos aseguraban una subida menos fría. El horizonte que se abría al paso estaba cubierto por especies vegetales propias del páramo como frailejones, musgos y arbustos. Durante el recorrido el clima iba cambiando y el bosque, transformando.

Cinco grados centígrados y cierta dificultad para respirar ahora eran la novedad. Había llegado el momento de parar y beber aguadepanela bien caliente, mientras se apreciaba el espejo de una cristalina laguna negra. Con unas cuantas calorías encima retomamos la ruta. Apareció de repente el cerro Gualí, a 3.850 metros sobre el nivel del mar (s.n.m.), y más adelante pudimos observar loma abajo las perpetuas huellas, lenguas de fango, que dejó la avalancha de 1985, cuando el Ruiz expulsó de sus entrañas piedra y lodo en aquella catastrófica erupción que arrasó con la población de Armero.

A los 4.100 metros s.n.m. está el puesto de control de ingreso al parque natural. A medida que se avanzaba el paisaje resultaba más exótico. Era total la tranquilidad, y como en un valle lunar de estos que muestran las



películas sobre el espacio, oleadas de bruma tapaban inmensas formaciones de roca que, de repente, aparecían como escapando de la oscuridad.

Pasamos por el río Molinos, pero no tenía agua. Luego, al lado de una virgen de yeso que, según cuentan, se incrustó en una roca durante la avalancha de Armero. La virtuosa fue preámbulo a un zigzag de diecisiete curvas cerradas en el camino que el conductor de la camioneta supo capotear con experticia.

Con algo de mareo por fin llegamos a la quebrada Nereidas, que proviene del glaciar del mismo nombre, uno de los sitios clave para el análisis de los investigadores de la Universidad Nacional. Reapareció la vegetación. ¡Hasta allí íbamos en coche, la subida a pie la comenzamos después a los 4.800 metros s.m.m.!

## Las cinco estaciones

Para la recolección y análisis de datos, el Grupo de Trabajo en Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la UN en Manizales instaló cinco estaciones de monitoreo; la más alta acaba de ser ubicada en el nevado de Santa Isabel, las otras están en el glaciar Molinos y en las cuencas del río Molinos, el río Claro y, a la que llegamos, en la quebrada Nereidas.

Según la investigadora Blanca Botero Hernández, nueva coordinadora del proyecto, “las estaciones meteorológicas, que son dos (en realidad ahora es una. Ya contaremos por qué), miden la temperatura, la lluvia, la dirección y velocidad del viento, la humedad relativa y la radiación solar. Las otras tres



(llamadas hidrometeorológicas) miden la temperatura y la lluvia, con adición de niveles y caudales de agua en los ríos. La explicación es que si incrementa el caudal es porque más hielo se está derritiendo”, asegura.

Cada estación está compuesta por una serie de sensores, una caja de componentes electrónicos, un radio transmisor, un pararrayos, un panel solar que atrapa la energía del astro para cargar la batería que le da vida a la estación y un pluviómetro, entre otros elementos que hacen parte de todo un sistema.

Cada estación tiene como base una estructura de cemento y está encerrada entre una malla con puerta y candado por aquello de la seguridad, pues: ¡hay ladrones en semejante altura!

Así es, una de las estaciones meteorológicas, ubicada a 5.150 metros de altura, cayó en manos de un pillito. ¿Un ladrón de alta montaña? ¡Quién sabe, pues subir o bajar cualquiera de esos aparatos no es nada fácil!

Basta escuchar la experiencia del ingeniero Mejía para saber por qué lo dice. Después sabremos los resultados que han obtenido de las mediciones.

Protección para el cableado de las estaciones.

## Engarrotados por el frío

En la historia de los sistemas de monitoreo ubicados en el Parque Nacional Natural los Nevados hay unos personajes que han sido fundamentales: los ingenieros Fernando Mejía, Jorge Hernán Estrada, Danny Vargas, Lucho, conductor de la camioneta y



experto en montañismo, y Wilmar Aguirre, un operario estrella de quien el profesor Mejía dice: “No hay problema de montaje de una estación que Wilmar no pueda resolver”.

Las primeras subidas a la cima del Ruiz —que por cierto hay que hacerlas a paso muy lento para que alcance a llegar el aire al cerebro— eran toda una romería, recuerda el docente: “Debíamos llevar un grupo grande de estudiantes para que nos ayudaran. Uno cargaba un tubo, otro un trípode, otro la pesada batería, otro los paneles, en fin, —hasta las secretarias se apuntaban a colaborar— por allá les daba soroche y algunos se desmayaban, pero les prestábamos primeros auxilios y se recuperaban rápido”, cuenta con risa.

Cuando soplaban ventiscas improvisaban carpas con plástico y pasaban horas esperando a que menguaran. Cuando eran muy fuertes tenían que abortar la misión. Alguna vez montando una estructura los cogió la noche y una repentina ráfaga de arena los dispersó tanto que terminaron perdidos. Por suerte los que tenían linternas encontraron a los demás, con los ojos cegados por las partículas de polvo. Pero estaban bien.

Y es que treparse hasta el Ruiz no solo entumece el cuerpo, lo debilita, dificulta la respiración y acelera los latidos del corazón, sino que afecta la motricidad fina, explica Mejía: “A veces, el simple ejercicio de apretar un tornillo es una labor desesperante, pues al quitarse los guantes se engarrotan los dedos y uno puede durar hasta veinte minutos realizando esta maniobra”.



Cien metros arriba de El Refugio.

Si armar una estación es toda una odisea, desarmarla y bajarla implica algo similar. Así, ¿cómo explicar que un ladronzuelo sin las herramientas precisas y el conocimiento exhaustivo de la zona haya robado tres paneles solares sin que nadie se diera cuenta?, pregunta el profesor. Esto ocurrió hace tres años. Actualmente la estación no funciona y todavía no ha habido dinero para reponerla.

En medio de los recuerdos, Mejía conmemora una tragedia. La muerte de un ingeniero de materiales que se había vinculado como docente a la UN (a través del concurso de relevo generacional 20-17) hace un par de meses. Provenía de España, recién había concluido un doctorado y su grupo lo había acogido para trabajar en el proyecto de investigación.

“En una salida de campo el joven de 30 años decidió acompañarnos. Cuando empezamos a pie el ascenso desde el sitio conocido como El refugio (a 4.800 metros s.n.m.), alcanzó a avanzar cien metros y cayó desplomado. Wilmar lo bajó cargado hasta el punto de partida y desde allí en el vehículo hasta el sitio llamado El chalet. Luego llegaron especialistas de la Fiscalía y Medicina Legal que advirtieron su muerte por infarto cardiaco.”

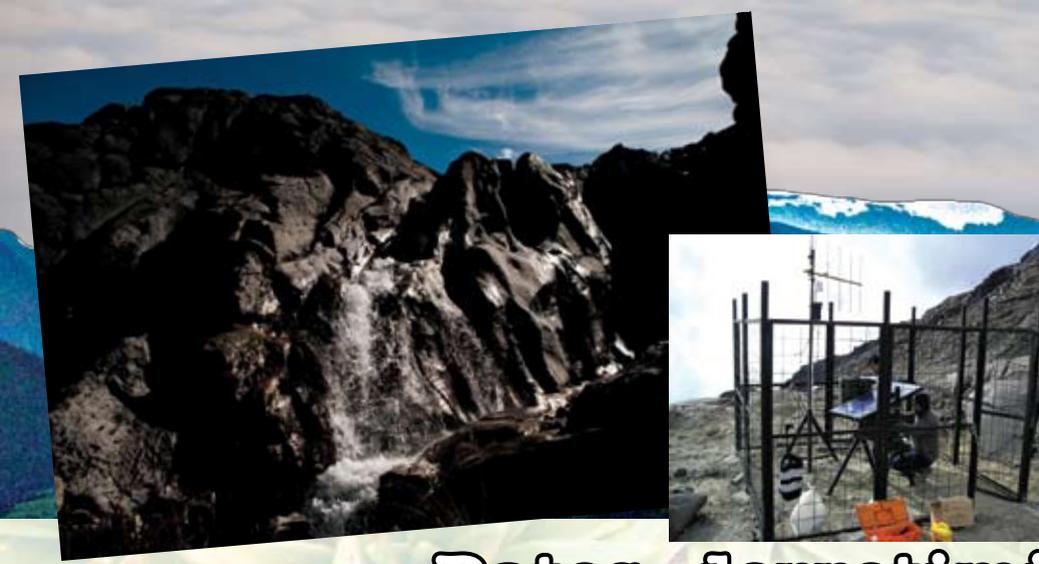
Después se supo que tenía antecedentes familiares sobre esta patología y un tío suyo había muerto por la misma causa también a temprana edad.

Lamentablemente detrás de la investigación también hay historias tristes.

Pasando la página, ahora hablaremos de cómo funcionan los instrumentos de medición y qué resultados han arrojado hasta ahora.



Panel solar.



BOSQUES DEL NORTE (Colegio Bosques del Norte)	19.38 °C	2009-12-11 12:04:48	Otros datos	
METEOROLÓGICA				
EL CARMEN (Centro Cultural y Comunitario El Carmen)	24.94 °C	2009-12-11 12:04:52	Otros datos	
METEOROLÓGICA				
EMAS (Relleño Sanitario La Esmeralda Empresa Metropolitana de Aseo EMAS S.A.E.S.P)	0.0 °C	2009-12-11 12:05:13	Otros datos	
METEOROLÓGICA				
ENEA Campus La Nubia Universidad Nacional)	20.0 °C	2009-12-11 12:05:17	Otros datos	
		2009-12-11	Otros datos	

## Datos: derretimiento glaciar

La toma continua de datos no ha sido fácil, aseguran los investigadores, pues durante la década que llevan observando el comportamiento de los glaciares han tenido que enfrentar inconvenientes como prolongados permisos (tres días por parte de Parques Naturales para entrar a la zona y cinco para conseguir una camioneta para llegar al lugar) que obstaculizan el eficaz mantenimiento de las estaciones y la atención oportuna de una falla técnica, en caso de presentarse.

Aun así, hoy el grupo de investigación cuenta con datos históricos parciales obtenidos con mucha dedicación.

Según la profesora Blanca Botero, "cada cinco minutos se mide el nivel del agua que baja desde los glaciares. La información obtenida a través de los sensores que miden la temperatura, la pluviosidad y la precipitación, entre otras variables ya mencionadas, se envía por radio (telemetría) a la estación receptora, ubicada en Corpocaldas. Allí se analizan los datos y se elaboran diagramas que nos permiten observar qué día y con base en qué factores aumenta o disminuye el caudal".

De esta manera se ha evidenciado, por ejemplo, que en la estación de Nereidas, la temperatura promedio es de 2,6° centígrados, la máxima es de 13° centígrados y la mínima de -1° centígrado. De igual manera se presentan picos extremos entre las 6:00 y las 8:00 de la mañana: de -1° centígrados salta a 7 ° centígrados. "Ese incremento de temperatura se ve reflejado en un aumento de caudal



Panorámica nocturna de Manizales.

entre las 3:00 y las 4:00 de la tarde, llegando a valores de 135 litros por segundo. Si a largo plazo este promedio aumenta, se podría asociar con un derretimiento del glaciar”, puntualizó.

Conclusiones parciales señalan que el principal factor que influencia el deshielo de los glaciares es el cambio climático. No obstante, la solución también depende de acciones que adelante el ser humano para impactar menos los ecosistemas, como por ejemplo, minimizar las emisiones de CO2 a la atmósfera. De manera más local, los habitantes que se benefician del recurso hídrico tienen la responsabilidad de emplear de manera más razonable recursos como el agua y la electricidad, señala el profesor Mejía.

La experiencia del Nevado del Ruiz se está replicando con éxito en Manizales, Pereira, Neiva y en un futuro en el Valle del Sibundoy (Putumayo) para Corpoamazonia, sitios que cuentan hoy con redes de estaciones modernas de monitoreo hidroclimático y de alertas tempranas creadas con tecnología ciento por ciento nacional, con 20 años de historia, en la que un IBM fue fundamental.

## Miel I, un hito para la UN

Remontarse al papel que ha desempeñado en el país el Grupo en Ingeniería Hidráulica y Ambiental implica retomar proyectos de gran envergadura por allá en la década de los 80.

Para entonces, los profesores Fernando Mejía y Jorge Ramírez Giraldo ya habían dado sus primeras luchas para que la UN en Manizales tuviera su propio Laboratorio de Hidráulica. “Nos asignaron un aula escondida y fría, pero allí pudimos montar un canal y un sistema de ensayo para estudiar el comportamiento del flujo en conductos cerrados o tuberías”.



Laboratorio de Hidráulica.



Fernando Mejía y Jorge Hernán Estrada.



Construcción del laboratorio.

Ello les permitió afianzar aún más sus investigaciones en modelos físicos a escala reducida, que apuntaban al diseño de obras que se adaptaran a las condiciones del entorno geográfico de la zona caldense, caracterizado por montañas abruptas, laderas de fuerte pendiente y alta pluviosidad.

Fue así como desarrollaron dos estructuras de vertimiento de aguas para uso de laderas de media y fuerte pendiente, hoy usadas en casi todo el territorio nacional (la zona Andina, Caldas, Risaralda, Tolima, Cauca y Antioquia). La primera se denominó canal de pantallas deflectoras, y la segunda, canal de rápidas con tapa y columpio. Según Mejía, "estas obras recogen las aguas que escurren por la montaña y las conducen ladera abajo. Así les resta fuerza para que lleguen de forma segura hasta el río, sin socavarlo".

Estas obras han sido clave para frenar procesos de deslizamiento, sobre los cuales Manizales tiene un dramático testimonio: Según la Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres, entre 1948 y el 2003 se han registrado 789 deslizamientos de tierra que han dejado un saldo de 387 muertos y 376 heridos.

A partir de estas dos obras, entidades externas, tanto públicas como privadas, no han dudado en contar con los servicios del Laboratorio de Hidráulica de la UN. Sin embargo, hay un proyecto que marca



Prototipo  
de Miel I.

un hito en esta historia: el diseño y construcción de la Hidroeléctrica Miel I, que opera en el Oriente de Caldas.

Los modelos hidráulicos que requería este proyecto hubiesen podido construirse en Europa, México o Brasil, tal como se hizo con las hidroeléctricas de Betania, Chivor o Salvajina. Por supuesto, con muchas más divisas de las que realmente costó. Pero no pudo quedar en mejores manos: las de los expertos de la UN, quienes cuentan el reto que significó diseñar una obra de semejante magnitud, en la que un PC de esos que ya no existen, fue la salvación.

## Un IBM del siglo pasado



Este es el  
primer PC que  
tuvo la UN en  
Manizales.

Miel I requería de un estudio en modelo hidráulico, con serios criterios científicos. Una gran maqueta que involucrara dos ríos, una parte importante del embalse, la presa y obras complementarias como un túnel de desviación, una descarga de fondo, un vertedero de excesos y un cuenco de socavación, entre otros.

“Semejante estudio no cabía en nuestro mini laboratorio. Implicaba hacer el tanque de almacenamiento, el sistema de bombeo, las tuberías de distribución, las válvulas de control, la placa de presa en un gran espacio, en fin, montar todo un gran laboratorio de hidráulica. Por eso, junto a colegas de Medellín y a estudiantes y profesores de Ingeniería Civil nos dedicamos a crear una propuesta”, dice Mejía.

Sus colegas paisas tenían la experiencia de modelar elementos como túneles, pilas, compuertas y canales en láminas de acrílico transparente, lo que facilitaba ver cómo se movía el agua en esas estructuras. Pero, las exigencias en la medición de variables físicas como caudal, niveles, velocidad, presiones, y, sobre todo, el atrape de aire que tenía el agua, requerían el uso de equipos modernos, electrónicos e incluso el desarrollo tecnológico de algunos instrumentos. ¡Ojo! Estamos hablando de mediados de la década de los 80 del siglo pasado, por lo tanto, no los tenían.



Por suerte apareció un experto en mediciones, el ingeniero electrónico Jorge Hernán Estrada, y consiguió el primer computador del que se tenía noticia en Manizales: un IBM, sin disco duro, pero desde aquel momento una valiosa herramienta del laboratorio.

El computador se convirtió en la tabla de salvación. Con astucia, los ingenieros comprobaron que si lo conectaban a unos sensores de presión (que importaron) se podían identificar las variaciones rápidas de la presión y el nivel del agua.

De esta manera lograron medir la cantidad de aire que podía contener el agua para evitar el llamado "fenómeno de cavitación", es decir, presiones negativas que producen burbujas de vapor e implosionan generando una gran descarga de energía que rompe el concreto. Terminaron exitosamente el proyecto y el compromiso de la UN con la hidroeléctrica Miel I.

El profesor Estrada explica que a raíz de esta experiencia se creó la carrera de Ingeniería Electrónica en la UN en Manizales y se inició un proceso de desarrollo y adaptación tecnológica de instrumentos de medida de variables físicas, inicialmente asociadas a la hidráulica y a la mecánica de fluidos. El grupo se enriqueció con estudiantes de electrónica y se logró la incubación de empresas que producen equipos electrónicos, especialmente para manejo de riesgos, automatización y control.



# El inodoro portátil

¿Si podemos medir la concentración de aire en el agua, por qué no medirla en fluidos de otro tipo? La pregunta tuvo pronta respuesta, y aquí los inquietos profesionales dieron un salto a la biomedicina.

Propusieron medir la rata respiratoria de una persona en cuidados intensivos. Así, adaptaron el sistema a las válvulas que transportan oxígeno al paciente, y por medio de la interfase del computador determinaron la cantidad que éste inhalaba. En caso de que el enfermo aspirara poco, el sistema tenía la capacidad de alertar al cuerpo médico. De igual manera controlaba el momento de la exhalación y cerraba una válvula para que el oxígeno no saliera de la pipeta. De esta manera se aprovechaba hasta en un 50 por ciento más.

Un neumólogo vio con buenos ojos su propuesta y los apoyó para que se probara con pacientes en el Hospital Santa Sofía de Manizales. Funcionó como se esperaba. Lo malo era que los metales en los que estaba elaborado dicho medidor terminaban oxidándose por sus características y por el paso de la corriente de aire húmedo. Faltó diseño industrial. Y ahí se quedó.

De igual manera intentaron medir la orina, un fluido que se abre paso a través de un conducto cerrado: la uretra y los uréteres. Para poder hacer un diagnóstico acertado de sus pacientes, los urólogos deben medir el flujo de su evacuación, sobre todo si hay problemas de próstata. El profesor Mejía cuenta que, "en esa época, y todavía, el especialista de provincia que carece de equipos técnicos para realizar un análisis, debe acudir a prácticas casi indignas como pegar la oreja a la puerta para escuchar como sale el flujo de orina de su paciente"

Mejía y Estrada no dudaron en ofrecer una solución, y con el apoyo de un urólogo diseñaron una silla propia de uroflujometría similar a las costosas importadas, pero a lo criollo. "Medían flujos de agua, ¿por qué no de otras sustancias?", era su decir.



Embudo para uroflujometría.





Se les ocurrió emplear un sistema de embudo, pero como advirtieron que inhibiría a los pacientes, lo disfrazaron de inodoro “con bizcocho y todo”. Luego lo conectaron a la interfase del computador y “al registrarse un chorro de orina, inmediatamente aparecería en la pantalla el registro de la curva de variación del caudal. Un sistema sencillo y económico para implementar en todas las zonas rurales del país”, explica Mejía.

El día de la prueba fue bastante anecdótico. Participaron estudiantes de Medicina convidados por el urólogo. Lo primero que debía hacer era inducirlos a orinar. ¿Cómo? ¡Pues con cerveza! “Después de tomar varias canastas orinaron y la pasaron muy bien”, señalan los investigadores. A las mujeres les adaptaron una especie de embudo desechable en la silla para que pudieran orinar de pie y se produjera un chorro que fuera directo al sistema de análisis”. El innovador prototipo funcionó como era de esperarse, pero no pasó de ahí.

Incluso hubo otras apuestas interesantes en biomedicina, como la creación de un aparato para medir la presión intrauterina y otro para detectar el cáncer de cuello uterino.

Un breve recorrido por 20 años de trabajo e incursión en campos como la hidráulica, la biomedicina y la meteorología, por parte de un grupo de trabajo académico cuyos alcances define mejor su líder: “Gracias a la confianza que la región y el país han tenido sobre la capacidad de la universidad colombiana para implementar este tipo de desarrollos, todos estos proyectos se ejecutaron o se están ejecutando actualmente”: Fernando Mejía.

