

TEC2

Revista del Instituto de Ciencia y Tecnología para la Defensa Nº1

TEC2

Revista del Instituto de Ciencia y Tecnología para la Defensa
Ministerio de Defensa

Nº1

Láseres

Lidar

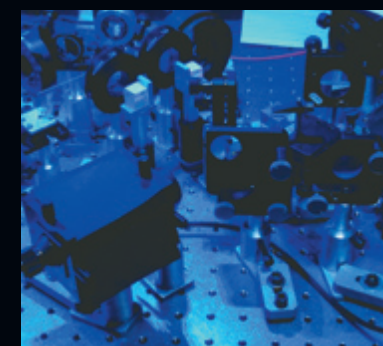
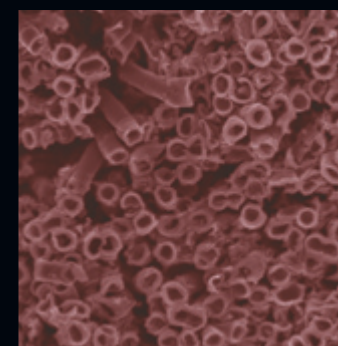
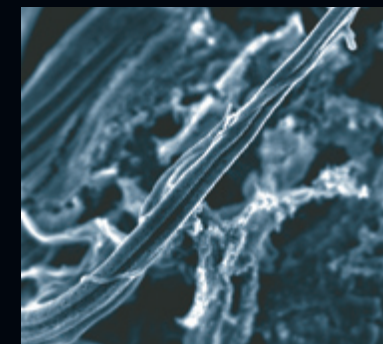
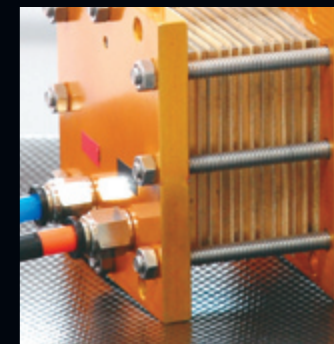
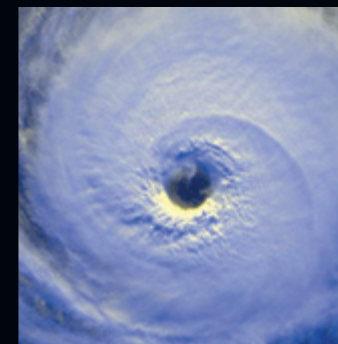
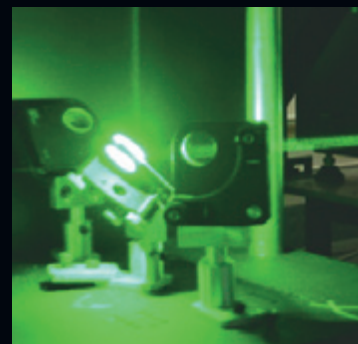
Repotenciación de Misiles

Lanzamiento de Cohetes: Gradicom I y II

Simuladores de Tiro y Vuelo

Nanotecnología

Sistemas Informáticos: Crisis



TEC2



Ministerio de
Defensa
Presidencia de la Nación

TEC2



Ministerio de
Defensa
Presidencia de la Nación



Dra. Cristina Fernández de Kirchner

Presidenta de la Nación

Dra. Nilda Garré

Ministra de Defensa

TEL2



Ministerio de
Defensa

Presidencia de la Nación

TEC2

Índice

Prólogo / 6

Dra. Nilda Garré | Ministra de Defensa

Introducción / 10

Ing. Eduardo Anselmo Fabre | Presidente de CITEDEF

El viejo manantial: Proyecto político y desarrollo científico / 16

Marcelo Vensentini | Coordinador de CITEDEF

Artículos

Energía. *Investigación todo terreno* / 18

Claudio Sánchez

Química Aplicada. *Investigación todo terreno* / 28

Jorge Forno

Nanotecnologías. *Nueve lugares más allá de la coma* / 38

Marcelo Rodríguez

Láseres. *Iluminar el camino* / 48

Matías Alinovi

Lidar. *El láser y el cielo protector* / 58

Jorge Forno

Catástrofes. *Preparados para lo peor con lo mejor* / 68

Marcelo Rodríguez

Propulsión. *Volando al Futuro* / 78

Matías Alinovi

Simuladores. *El gran simulador* / 88

Claudio Sánchez

TEC2

Prólogo



Dra. Nilda Garré
Ministra de Defensa

En este Bicentenario enfrentamos el reto de construir nuevos horizontes para la Defensa. Nuestra visión se apoya en el objetivo de incrementar las fuerzas productivas de la mano del progreso científico y tecnológico, una ecuación exitosa históricamente probada que estamos en condiciones de afrontar como país y como bloque regional. Hoy la integración política y económica de las naciones sudamericanas a través de la UNASUR y del MERCOSUR, ofrecen un marco institucional fundante que derriba todas las especulaciones legitimando las nuevas formas de acción conjunta que estamos consolidando. Esta transformación productiva, que emana de decisiones políticas que ha tomado este gobierno, requerirá de la superioridad técnica y científica que tenemos para ofrecer que acompañadas del diseño de los instrumentos financieros apropiados lograrán la gravitación necesaria para crear un circuito virtuoso de crecimiento económico nacional y regional.



▲ Edificio Torre. CITEDEF - Villa Martelli. Buenos Aires

▼ Vista aérea de las oficinas, talleres y laboratorios de CITEDEF. Villa Martelli. Buenos Aires



En ese marco la revista TEC² se presenta como una contribución al conocimiento científico y tecnológico del país y a su divulgación, resulta de vital importancia el trabajo en la construcción de saberes especializados para instalar el debate sobre lo que surge de las investigaciones que se desarrollan actualmente. Es evidente que para potenciar este proceso debemos contar con instituciones sólidas capaces de asumir y sostener en el tiempo un rol preponderante en la estructuración de este nuevo desafío transformador. CITEDEF es uno de los eslabones de esta nueva etapa que se abre. Este organismo, que fue clave en el proceso de industrialización nacional durante la segunda presidencia de Perón, siempre ha demostrado un alto grado de eficiencia en sus emprendimientos.

La modernización del sistema de Defensa dentro de un paradigma político donde el Estado es quien organiza los modos que la producción debe adoptar tiene la propiedad de adecuarse a las necesidades económicas y sociales que el país demanda. Estamos ante un punto de inflexión donde el proceso productivo puja por diversificarse para seguir creciendo y, por eso, es nuestra responsabilidad poner en marcha los medios para que la comunicación extienda sus alcances más allá de los límites del labo-

ratorio, de los talleres y de los hangares. TEC² quiere contribuir a hacer accesible el conocimiento producido por el Estado, democratizándolo, acercándolo a la sociedad, para poner así en marcha un andamiaje de dispositivos susceptibles de apropiación.

Este número “*Horizontes Tecnológicos para la Defensa*” tiene la intención de ser más que la primera edición de la revista de Divulgación del “*Instituto de Investigaciones Científicas y Técnica para la Defensa*”. CITEDEF pretende también desclasificar la historia de la ciencia y de la técnica que ha producido esta institución desde sus inicios. Los contenidos de la revista se definieron con el propósito de generar opiniones profesionales especializadas que traduzcan principalmente los logros de este saber práctico especializado al que da forma CITEDEF.

Para que un verdadero cambio estructural se produzca es necesaria una interpretación acorde a la información técnica que surge de las diferentes disciplinas que este Instituto lleva adelante. Por tanto se hace preciso remarcar la dimensión movilizante que adquiere el saber cuando alcanza el grado de masividad, instaurándose de este modo, una relación entre el conocimiento y el campo popular que lo transforma en el elemento fundante de una nueva tradición. Hacer eje en la in-

dustrialización del país es nuestro desafío estratégico y soberano en un mundo globalizado donde las fronteras parecen disolverse.

Esta soberanía en tanto territorialidad se manifiesta intelectual como materialmente, remitiéndose a la disponibilidad de un saber producido socialmente. Aludimos por lo tanto a la construcción de un tipo de ciudadanía que impacta indefectiblemente en el sentimiento nacional.

¿Cómo pensar la transformación territorial, material y simbólica, para que el desarrollo industrial y científico sea posible? Es una pregunta que requiere partir de la firme creencia de que el desarrollo genera igualdad y se responde definiendo qué tipo de ciencia impulsar, qué tecnología queremos producir, qué tipo de investigaciones son las indispensables.

TEC² quiere crear conciencia sobre las implicancias del desarrollo tecnológico dentro del marco de una política de industrialización y su articulación con la Defensa. Además, forma parte del proceso de apertura de las tres Fuerzas hacia la comunidad que se impulsa desde este Ministerio. Este primer número detalla los desarrollos más sobresalientes y actuales del Instituto en Nanotecnología, en Cohetería, en Química Aplicada, en Simuladores de tiro y vuelo, en Láseres y sus aplicaciones, y en Energías

Alternativas. Los artículos fueron diseñados para instaurar el intercambio entre pares, para articular instituciones, como un aporte para los inversores que buscan ampliar los horizontes tecnológicos de sus empresas e industrias y para favorecer el acercamiento a los ciudadanos. Es nuestro objetivo la búsqueda de nuevos mecanismos que ayuden a sistematizar formas de relación entre sectores productivos públicos y privados del país y de la región, hallar dispositivos que sienten las bases de modelo de integración e intercambio fundado en el concepto de reciprocidad.

Estamos inmersos en un contexto histórico internacional que nos permite hacer posible la construcción de nuevos paradigmas de desarrollo, es imprescindible para esto, la recuperación de las capacidades de la industria de producción para la Defensa. El desarrollo nacional no puede concebirse sin la planificación e intervención del Estado y en este sentido podemos afirmar que un crecimiento industrial sustentable y sostenido cuenta con las políticas impulsadas - desde el Gobierno - en conjunción con los sectores productivos, enlazados con todos los otros sistemas científicos y tecnológicos del país. CITEDEF están en condiciones de hacer un aporte sustancial en ese proceso histórico.

TEC2

Introducción



Ing. Eduardo Anselmo Fabre
Presidente de CITEDEF

En el año 2005 se produjo un punto de inflexión en la políticas de Defensa. Las Fuerzas Armadas venían siendo marginadas política y presupuestariamente de la sociedad argentina, y se instaló a partir de ese momento una situación de cambio muy importante.

Por decisión del entonces presidente Néstor Kirchner las Fuerzas Armadas debían integrarse al Proyecto Nacional, y fue así que el Ministerio de Defensa comenzó un proceso paulatino de incrementos presupuestarios que continúa a la fecha. Dentro de esta nueva perspectiva el apoyo a los proyectos de investigación y desarrollo científico y técnico aumentó considerablemente.

Como consecuencia de nueva perspectiva, nuestra institución cambió de nombre con el fin de ilustrar más fielmente la amplitud de sus funciones. CITEFA, como era su denominación desde su creación en 1954, se correspondía más a un centro de investigaciones específicas para las Fuerzas Armadas, y no a un centro de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa, CITEDEF, como es en la actualidad.



Desde CITEDEF tenemos la misión de desarrollar investigación y tecnología para la Defensa, en nuestras instalaciones científicos y técnicos argentinos trabajan en el principal objetivo de ayudar a reactivar la industria nacional para la Defensa y convertir al Instituto en uno de los proveedores de alta tecnología de la nación y de Sudamérica, hoy una UNASUR.

CITEDEF ha respondido históricamente a los requerimientos de los sistemas de Defensa, nuestro primer demandante fueron las tres Fuerzas, a los que se agregaron en estos últimos

tiempos el Complejo Industrial Naval Argentino (CINAR), la Fábrica Argentina de Aviones (FADEA) y Fabricaciones Militares. Hoy existe toda una industria conexas que cada vez requiere más de nuestras capacidades y aportes tecnológicos como consecuencia directa de la reactivación de los sectores vinculados a la Industria de Producción para la Defensa, pero queremos ir más allá.

Ha llegado el momento de ampliar nuestros horizontes. Tenemos la capacidad para ser parte del motor que industrialice la nación, es imprescindible para esto que tanto empresas

públicas como privadas sean permeables al desarrollo tecnológico generado en el país.

Es necesario para esto reforzar el rol del Estado en la articulación de los medios de que disponen las instituciones para potenciar de este modo las políticas públicas diseñadas para la producción.

El Ministerio de Defensa puso en marcha proyectos estratégicos tendientes a unificar la tecnología para economizar recursos y esfuerzos y en este nuevo esquema CITEDEF es una de las claves.

Es por tanto indispensable poner al alcance de todos esta publicación que hoy presentamos, nuestra revista TEC², que tiene por objetivo poner a disposición del público las investigaciones que realizamos.

Este primer número “Horizontes Tecnológicos para la Defensa” se ocupará de algunas de ellas, elegimos para empezar ocho temas. Abre esta edición un artículo sobre Energías Alternativas, que nos introduce en dos proyectos que actualmente se están probando en la Antártida: El aerogenerador Ventus instalado la pasada campaña en la Base Marambio, y un Sistema PEM de Pila de Hidrógeno que está funcionando desde 2007 en la Base Esperanza.

Es nuestro deber dentro del marco de las políticas que promueve el Ministerio de Defensa, custodiar los intereses de esta región y proteger la biodiversidad de esta zona estratégica. El desarrollo de energías alternativas autónomas nos permitirán proyectar en el mediano y largo plazo el despliegue de actividades disminuyendo paulatinamente los suministros externos de energía. No hablamos del factor económico como motor, la Antártida está protegida por un corpus de tratados internacionales a los que la República Argentina suscribe, que promueven la progresiva

reducción de la emisión de los gases que provocan el efecto invernadero.

“Hablamos no sólo de problemas económicos, sino problemas de carácter político. La decisión de invertir, introduce tecnologías ligadas al tipo de desarrollo que se pretende lograr en Antártida. El mantenimiento del soporte logístico indispensable para la vida en la región, la extensión y cumplimiento de tareas, fundamentalmente, dirigidas a cumplir con los objetivos soberanos, nos pone en el camino crucial de la búsqueda de desarrollos científicos – técnicos autónomos. Trabajar sobre las causas del calentamiento global y colaborar en poner freno a sus catastróficas consecuencias es un compromiso asumido donde entran en juego incluso cuestiones globales que van más allá de nuestro país y de la región. Es por eso que los desarrollos de fuentes de energía alternativas adaptables a las duras condiciones del Continente Antártico que se realizan en CITEDEF resultan piezas fundamentales en la posibilidad de que Argentina, y junto con ella UNASUR, estén entre quienes decidan el futuro de estas tierras” nos cuenta Claudio Sánchez

El segmento de Jorge Forno, tiene como eje un artículo publicado en 1970 por el físico Jorge Sabato “Mitos, sofismas y paradojas” donde afirma, como en otras oportunidades, que en la Argentina pueden hacerse ciencia y técnica. Derribando los mitos que ya corrían por aquel entonces que dictaban que el avance tecnológico no era posible por falta de dinero, de profesionales, o porque simplemente, la Argentina era un país pequeño (¿?) sin grandes compañías que puedan darse el lujo de hacer investigación y desarrollo. Pone algunos ejemplos entre los que figura YPF en poder del Estado por aquellas épocas, y destacaba el rol de las empresas relacionadas con

la Defensa. Forno utiliza este trampolín para adentrarse en las variadas e importantes actividades que desempeña en Departamento de Química Aplicada de CITEDEF, que trabaja en el preparado del combustible que propulsa el vector de fabricación nacional denominado GRADICOM lanzado con éxito en Diciembre de 2009 en su primera versión y del desarrollo de su segundo prototipo de mayores alcances y dimensiones, cuyo lanzamiento está previsto para Noviembre de este año. Además nos detalla la misión que el área cumple en Misiones Internacionales de control de Armas Químicas para Naciones Unidas, y prestando asesoramiento en el control de contaminantes industriales para organismos municipales, provinciales y nacionales.

“El desarrollo tecnológico no tiene otro destino que ser autónomo, como lo demuestra el sistema de coherencia en el país, una cuestión estratégica que no se limita a los temas de la defensa, se extiende a la puesta en órbita de satélites, por ejemplo. Dominar tecnología implica aprendizaje a puro ensayo y error... ... volviendo a Sábato, la idea de abrir el paquete tecnológico era una de las cartas fuertes de su pensamiento. Junto a sus colegas de la época propiciaban el desarrollo endógeno de tecnologías porque lo consideraban un elemento crucial para lograr la autonomía tecnológica. Sabían que el vendedor de tecnología tiene una situación cuasi monopólica, ya que por lo general es un gran productor que actúa en un mercado cautivo y cuando el comprador no produce, tiene poca información y escasa experiencia, entonces su capacidad de negociación es baja. Eso vale tanto para un automóvil como para una central nuclear. La cuestión es adquirir habilidades para armar y desarmar el paquete tecnológico”, concluye Forno.

Hablar de Nanotecnologías, nos ubica en los centros de investigación de países desarrollados, pero en CITEDEF, el Centro de Investigación de Sólidos ha desarrollado sensores de gases extremadamente sensibles, y nanomateriales que optimizan las celdas o pilas de combustible que producen energías limpias a partir del Biogás.

También se han producido en este laboratorio detectores nanocristalinos de radiación infrarroja desarrollados a partir de un requerimiento de Fuerza Aérea pero que por su versatilidad puede utilizarse mucho más allá que las aplicaciones militares. Pueden ser usados para detección de minerales y contaminantes, para monitorear la flora y fauna de los océanos o para inventariar grandes regiones, acopiando una enorme cantidad de información muy diversa a través de sensores ubicados en las alas de los aviones.

Dice Marcelo Rodríguez: “Lo realmente novedoso de estos “nuevos” materiales es que sólo desde hace muy poco, gracias a los avances de la física, de la química y de otras áreas de investigación... ... se están descubriendo a ritmo acelerado sus increíbles propiedades y sus nuevos usos posibles, en áreas estratégicas de desarrollo que van desde la medicina hasta la agricultura, desde la seguridad industrial hasta la aeronáutica o el saneamiento del medioambiente. Los materiales con cristales nanoestructurados se conocían desde la antigüedad, y su obtención no parece ser muy costosa en comparación con otras tecnologías”.

Adentrándonos un poco más en el futuro presentamos dos artículos sobre las actividades que se realizan en el Departamento de Investigación en Láser y sus aplicaciones. La importancia de los desarrollos de este laboratorio que tiene 45 años recordemos que el Láser

cumplió 50 este año, lo ubican a la vanguardia en investigación y desarrollo a nivel nacional.

Se están desarrollando actualmente un sistema de criptografía cuántica, que permitiría transmitir información de un modo perfectamente seguro. A su vez se desarrollan técnicas basadas en el *Efecto Optoacústico*, que permiten la detección de pequeñas cantidades de materia que están mezcladas en otros elementos, en particular la detección de contaminantes resultantes de los procesos de combustión y en emisiones de *metano* que está relacionado con el medioambiente en la problemática del efecto invernadero. El estado actual del conocimiento de esta técnica nos permitiría extender su aplicación a la detección de sustancias tóxicas y/o sustancias asociadas al uso de explosivos.

Se están haciendo mediciones en el medioambiente a nivel *troposférico* y a nivel *estratosférico* usando la técnica Lidar. En este caso lo que se detecta es la presencia de aerosoles y se estudian los movimientos de la atmósfera cercana a la vida humana. Esto es importante porque ayuda a proveer datos que en principio serían muy útiles para la meteorología. En el caso de la alta atmósfera se detecta la concentración de ozono dada la importancia de la capa de ozono para la protección de las radiaciones solares nocivas para el ser humano.

Vinculado con los intereses nucleares, se desarrolló la técnica de separación isotópica por láser muy atractivas desde el punto de vista económico ya que no necesitan de grandes instalaciones, ni supone grandes costos. En este sentido el laboratorio ha elaborado un método de descontaminación del agua pesada de los reactores nucleares, único en Latinoamérica.

Al respecto dice Alinovi: “Tanto el Lidar como la detección de contaminantes en general demuestran que el departamento está naturalmente interesado en que los desarrollos sean socialmente útiles. Si se piensa que los detectores son producidos por empresas extranjeras y que adquirirlos supondría costos altísimos – sin contar con que al comprarlos se resigna el know how de su desarrollo – se aprecia lo clara que es la vocación por producir instrumentos nacionales que ayuden a la industrialización del país. La adquisición del LIDAR, por ejemplo, supondría una inversión en millones de dólares, mientras que los costos que se manejan en el departamento son muchísimos más bajos. Y en el caso de los dispositivos de detección de contaminantes, el diseño, además, es original: No existen afuera, o son de otro tipo.”

En cuanto a las líneas de investigación desarrolladas por el Departamento de Sistemas Informáticos, los equipos de CITEDEF trabajaron sobre un sistema de modelado y manejo de crisis, que actualiza información vital y de manera accesible a todos. Por eso trabajan en modelado de un sistema que permita coordinar las tareas entre distintos organismos. El Sistema “CRISIS” versión 3.0 es una aplicación WEB multiusuario que facilita el manejo de las operaciones de Protección Civil y vincula a las agencias que intervienen en la respuesta a emergencia.

Las operaciones de protección civil coordinan el apoyo de las FFAA a la comunidad en cualquier emergencia tanto natural como causada por el hombre desde inundaciones, incendios, derrumbes, erupciones volcánicas, sismos, accidentes químicos, epidemias/pandemias,

hasta ante amenazas terroristas. Hubo una fuerte acción durante el brote de la Gripe H1N1, en el desmoronamiento producido en Tartagal, en la erupción del volcán Chaiten y el incendio en el Rompehielos Alte. Irizar. Además de colaborar en otras emergencias internacionales como las pasadas inundaciones en Bolivia.

Llevó 3 años (2003-2006) armar un sistema de adiestramiento que permitiera entrenar al personal en el manejo de emergencias usando herramientas informáticas, tiempo que posibilitó el desarrollo de herramientas más eficientes.

En el 2003 se creó en CITEDEF el Laboratorio de Seguridad Informática entre cuyas funciones está investigar las formas de identificar intrusos, perfiles de usuarios para, a través de sus patrones de comportamiento, obtener la forma en que se actúa para bloquear futuras intrusiones.

El proyecto está centrado en el desarrollo de un marco teórico y la adquisición de conocimientos que permitan el diseño de sistemas en el futuro. Hasta el 2007 el laboratorio estuvo trabajando junto a especialistas informáticos del Pentágono (EEUU), lo que se tradujo en una serie de documentos publicados mayormente en diversas ediciones del Congreso Iberoamericano de Seguridad Informática y otros eventos académicos.

Cierran esta presentación dos artículos, el primero se ocupa del trabajo desarrollado por el Departamento de Propulsión que diseña y desarrolla sistemas de cohetes y vectores. Concretamente los proyectos más importantes en los que se trabaja actualmente son el Lanza VC CP 30; el aerogenerador, que trabaja sobre la utilización de distintos sistemas, en

este caso un sistema eólico, para la obtención de energías no convencionales y el proyecto del CP 90, que es un sistema lanzador de mayor calibre y mayor alcance. También se desarrollan materiales especiales como blindajes a través del sinterizado de cerámicas y alúminas para compuestos que permitan obtener propiedades balísticas superiores al blindaje común.

El último artículo, nos instruye sobre el desarrollo de simuladores de tiro y vuelo. Así como los simuladores de vuelo ofrecen la experiencia de volar un simulador de tiro ofrece la posibilidad de sentir el peso de un arma y la responsabilidad de empuñarlas en el caso de armas livianas, pero también los simuladores reproducen las cabinas de los tanques, situaciones de duelo con distintos tipos de sistemas de armas.

CITEDEF comenzó a desarrollar simuladores en 1993. Inicialmente eran simuladores de tiro con misiles y luego se fueron incorporando otras armas. El simulador de vuelo es un proyecto que se encuentra en su tercer año de ejecución y participan de su desarrollo profesionales del Instituto y de distintas universidades nacionales. El equipo trabaja actualmente en la aplicación del SIMVUELO, simulador para el avión IA – 63 Pampa.

Para terminar les dejo este impresionante material que muestra una parte del proceso de modernización del que nos toca participar, que expone tecnologías y sistemas especializados que hombres y mujeres desarrollan desde este Instituto y que tiene como finalidad generar el debate sobre la forma que debe tomar el camino hacia el crecimiento y la transformación de la estructura social, política, económica y tecnológica de la nación.

TEC2

El viejo manantial: Proyecto político y desarrollo científico



Por Marcelo Vensentini
Coordinador del CITEDEF

Existen funcionarios que actúan espasmódicamente. Su paso por la función, aunque se base en una concepción de cambio, no deja ningún rastro, o lo que es peor, el resultado es un retroceso.

Creo que esto se debe al desconocimiento de que el Estado es un continuo, es una organización que sobrevive a cada Administración. Cada organismo tiene su historia, con sus luces y sus sombras, y la transformación tiene que hacerse cargo de ello.

Esto que pareciera una actitud conservadora, es exactamente lo contrario. Es la actitud que reconoce que no hay transformación posible y duradera que no se base en la propia naturaleza de la organización, y en el protagonismo de sus actores.

Primero Departamento Técnico de Fabricaciones Militares creado por el Presidente Perón, luego CITEFA, actualmente CITEDEF – Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa expresa a lo largo de los años una decisión estratégica del Estado Argentino. Una decisión que fue cambiando a lo largo del tiempo y que en el presente se encuentra en un nuevo escenario con dos coordenadas que lo determinan.

UNO

La Democracia sancionó una Ley de Defensa Nacional, una Reglamentación, Directivas que establecen metas, procedimientos. Así, se fue institucionalizando una Doctrina de la Defensa.

Hoy después de muchos años la Defensa Nacional es de verdad un valor de la Democracia, y responsabilidad asumida por todo el Estado. No un atributo exclusivo de un Ministerio y mucho menos, del instrumento militar.

DOS

Existe un modelo de país con un rol activo por parte del Estado, una política de desarrollo en la Ciencia y la Técnica como pocas veces hubo, una actividad industrial en crecimiento constante, y la apertura de un mercado regional con potencialidad insospechada.

Es entonces, la Política del Estado la que abre la posibilidad que nuestro Instituto trascienda los límites con los que vino desenvolviéndose hasta el presente. Esta en cada uno de los protagonistas poder hacerlo.

Pero por el otro lado lo que hay que tener es un sentido de la innovación siempre, no tener una cabeza conservadora con la idea de que no se puede mover absolutamente nada. En el mundo actual la capacidad de cambio es quizás el factor que más fortalece a cualquier organización.

Hoy se abren dos alternativas. Una es consolidar una pequeña estructurita eficiente y con eso descansar. Cumplir con la responsabilidad asignada e irnos. Frente a eso está el desafío que el Instituto pueda ser el instrumento para articular una única política junto con todo el sistema de investigación y desarrollo, que está disperso. Quizás el objetivo grande en esto sería poder pensar y proyectar una Agencia de Investigación y Desarrollo del Sistema de la Defensa. Es una tarea difícil porque esto significa tener que construir conjuntamente entre el Instituto y las Fuerzas una única Agencia como existe en otros lugares del mundo. Esto lleva tiempo, hay que construir consensos, hay que construir confianza. Hay que sacudir la modo-

rra de cada posible protagonista de una articulación semejante. Bueno ese es el camino en el que estamos.

El beneficio sería indudable para todos los protagonistas: se dispondría de muchísimos más recursos económicos y de muchísimas más capacidades para beneficio de todos. De esta forma podríamos insertarnos en el sistema productivo en forma más potente y con muchísima más eficiencia que si lo hacemos por separado.

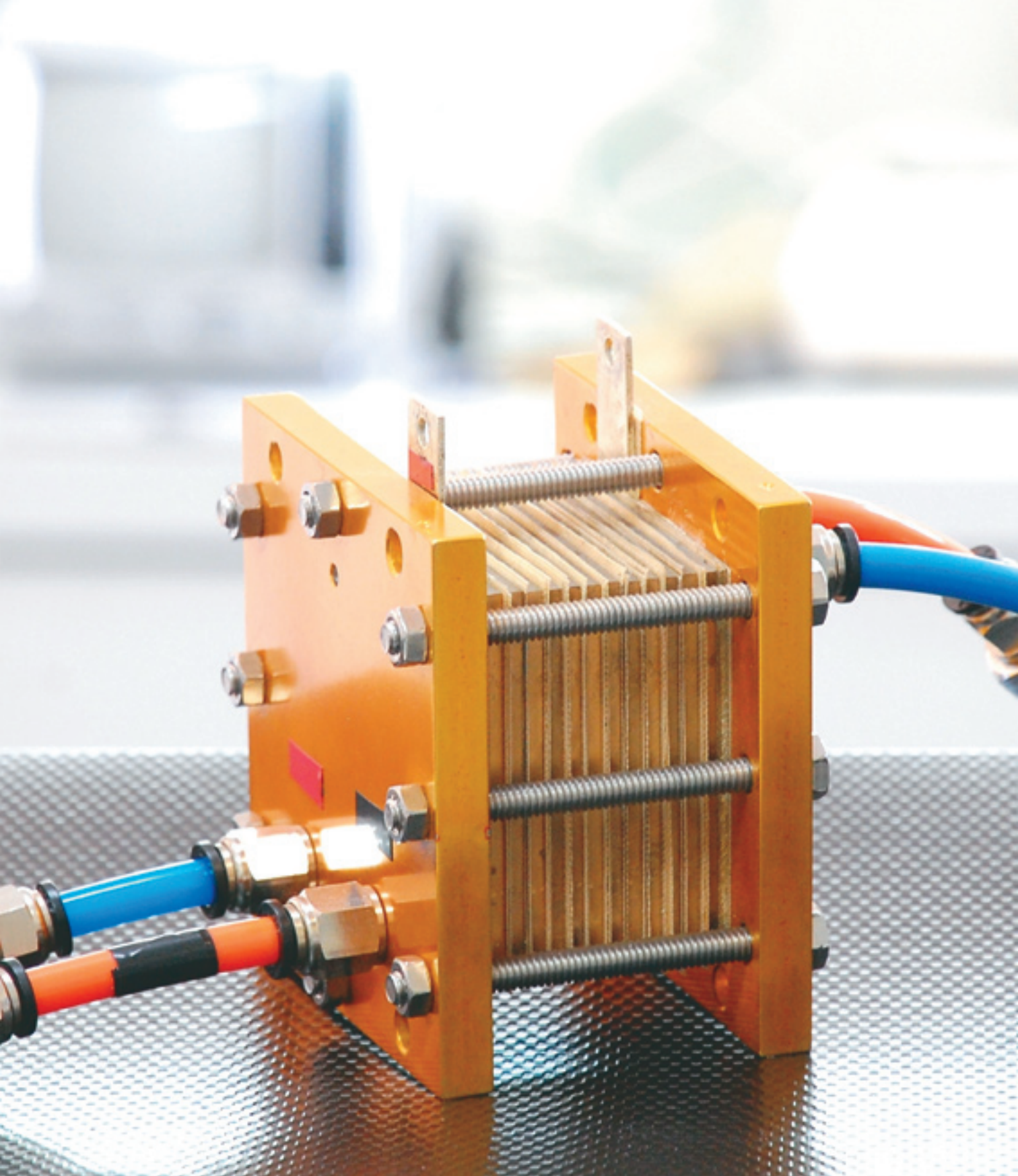
El primer paso, el trabajo en común, está en marcha y esto es substancial. Es un primer paso, es un muy buen primer paso.

No se puede perder de vista que el armado de nuevos escenarios institucionales son procesos que requieren mucho consenso y mucho tiempo, no se hacen rápido, pero hay que hacerlo.

La mejora en la formación de nuestros Recursos Humanos debería entonces incorporar también en la propia gestión de la organización, el mismo sentido de la innovación que da razón de ser a la actividad de investigación y desarrollo.

Estando en el País Vasco, escuche varias veces una historia que de algún modo fundamentaba la permanencia de esa Nación, a lo largo de la Historia. Decían que el secreto estaba en beber todos los días agua de un mismo manantial: el mismo manantial del que bebían sus padres y los padres de sus padres. Pero el mismo manantial que cada día y cada instante derramaba agua nueva y distinta. Casi exactamente esta es la idea fuerza de la innovación.

Estamos en un momento de inflexión, de ser un buen Instituto de Investigación a ser parte de un proceso tecnológico –industrial muy poderoso. Eso significa incertidumbre, sin duda, pero también nuevas posibilidades de crecimiento y desarrollo. Yo propongo fervientemente el camino más complejo, tengo absoluta confianza en el agua del viejo manantial.



▲ Batería de combustible con electrolito polimérico (PEM) 30W ▼ Base Esperanza. Antártida Argentina



**Aerogenerador y
Pila de Hidrógeno**

Energías alternativas o dependencia

Por Claudio H. Sánchez

La necesidad de generar fuentes de energía alternativa no es una cuestión de ecologistas fanáticos sino una necesidad concreta: la matriz de energía actual depende de combustibles que en el mejor de los casos durará un puñado de décadas más. Por otro lado en un país tan vasto como el nuestro conectar a todos los rincones a las redes existentes es muy difícil y costoso. ¿Cómo se pueden resolver estas cuestiones? Desde la división de Estructuras del Departamento de Propulsión y el laboratorio de Pilas PEM a Hidrógeno usaron ideas conocidas para responder estas nuevas preguntas.



Para sobrevivir en el hostil paisaje antártico hace falta energía. Mucha energía. Mantener funcionamiento a una estación para el uso humano, donde puedan operar todos los instrumentos de medición lejos de cualquier red eléctrica o de gas no es tarea fácil. En la Antártida siempre es necesario redoblar los esfuerzos respecto de otros lugares del planeta. Proyectar y coordinar la manera en que nuestros intereses en el área más austral del país sean celosamente custodiados y proteger la biodiversidad de esta zona estratégica es uno de los objetivos principales. Cada año, en cada una de las campañas al continente blanco, buena parte de la capacidad de carga disponible se utiliza para transportar el gasoil que se necesitará en este inhóspito rincón del planeta. Así las cosas, resulta fundamental contar con el desarrollo de energías autónomas que permitan en el futuro, el despliegue de las actividades cotidianas sin depender de los suministros externos tan costosos.

Aún si los motivos económicos no fueran suficientes, otra buena razón para desarrollar fuentes de energía alternativas proviene de los tratados internacionales que promueven reducir al mínimo la contaminación en el Continente Blanco. En este sentido, la actividad antártica contempla uno de los modelos más exitosos de cooperación internacional, orientados exclusivamente a fines pacíficos y en concordancia con el interés de la investigación científica y el progreso de la humanidad. Es decir que **cualquier país que quiera instalarse en forma sustentable en este lugar del planeta, deberá contar con fuentes de energía alternativas a los combustibles fósiles o renunciar en el largo plazo a hacer pie en un espacio estratégico clave.**

LA AUTONOMÍA DEL DESARROLLO

En los países latinoamericanos, la problemática de desarrollarse está ligado a una cuestión de indiscutible importancia: que la cooperación internacional se de en un estricto marco de autonomía en las decisiones, para de este modo llegar a soluciones políticas acordes a los intereses del país y de la región. Dentro de esta autonomía se vislumbra como uno de los ejes la puja por el progreso técnico y científico. Se necesita de un esfuerzo grande y sostenido en el tiempo como el que ha desarrollado hasta el momento CITEDEF, que plantea no sólo problemas económicos, sino y especialmente problemas de carácter político. La decisión de invertir además del aporte de recursos financieros, introduce tecnologías ligadas al tipo de desarrollo que se pretende lograr en Antártida. El mantenimiento del soporte logístico indispensable para la vida en la región, la extensión y cumplimiento de tareas, fundamentalmente, dirigidas a cumplir con los objetivos soberanos, nos pone en el camino crucial de la búsqueda de desarrollos científicos – técnicos autónomos. Trabajar sobre las causas del calentamiento global y colaborar en poner freno a sus catastróficas consecuencias es un compromiso asumido donde entran en juego incluso cuestiones globales que van más allá de nuestro país y de la región. Es por eso que los desarrollos de fuentes de energía alternativas adaptables a las duras condiciones del Continente Antártico que se realizan en CITEDEF resultan piezas fundamentales en la posibilidad de que Argentina, y junto con ella UNASUR, estén entre quienes decidan el futuro de estas tierras. Para lograrlo se han desarrollado en los últimos años alternativas que prometen resolver la cuestión de manera satisfactoria en el mediano plazo y largo, como demuestran las pruebas ensayadas hasta el momento.

▼ Aerogenerador "Ventus". Base Marambio. Antártida Argentina



EL GENERADOR EÓLICO VERTICAL DEL CITEDEF

Un generador eólico no es más que la evolución natural del clásico molino de viento: una hélice que, impulsada por el viento, genera energía mecánica. Esa energía se usó tradicionalmente para extraer y elevar agua o para moler granos, como sugiere la palabra “molino”. Hoy se usa para generar energía eléctrica y los llamamos igualmente molinos, aunque no muelan. Estos molinos tienen varias grandes ventajas; principalmente que generan energía con muy poco costo una vez que el molino ha sido instalado y que no producen ningún residuo que afecte al medio ambiente, un rasgo que cada vez tiene más peso en un contexto de calentamiento global.

En algunos países, como Dinamarca, los llamados parques eólicos, campos cubiertos por los altos y elegantes molinos de 3 o 2 aspas generalmente blancos, han permitido cubrir una parte significativa de la necesidad energética. Incluso se ha hablado muchas veces de la posibilidad de un parque eólico de proporciones en la Patagonia donde los vientos casi constantes permitirían una productividad que podría ser la envidia de otros países. El problema es que estos mismos vientos resultan algo excesivos para los generadores tradicionales por lo que se han desarrollado algunas alternativas adaptadas a las necesidades locales. Pero, por desgracia, incluso los intensos vientos patagónicos no son nada al lado de los antárticos, donde las bajas presiones generan flujos de aire helado hacia el exterior del Polo casi constantes y que pueden llegar a superar los 300 km/h. En semejante contexto los generadores eólicos desarrollados hasta el momento no podrían sobrevivir por mucho tiempo sin romperse. El desafío de diseñar uno que pueda afrontar es-

tas condiciones extremas fue tomado por un actor algo inesperado: la división Estructuras del departamento de Propulsión de CITEDEF, donde trabaja el ingeniero aeronáutico Aníbal Vettorel.

Esta división en principio, como su nombre lo indica, se dedica al desarrollo de misiles, sondas y cohetes en general. Gracias a su trabajo y a su formación Vettorel sabe mucho de alas, hélices y todo lo que tiene que ver con la aerodinámica, pero como debe hacer todo buen investigador, mantiene su mente abierta a las potencialidades de su conocimiento. Por eso un día se le ocurrió aplicarlos a algo que no tiene nada que ver con la cohetes: un generador eólico que no funcione como el clásico molino, tan frágil frente a vientos muy fuertes. Así es: **este generador no se parece a los molinos convencionales ni a los generadores eólicos que se suelen usar en Europa y Estados Unidos.** Por el contrario, este generador consiste en un rotor vertical cuya forma recuerda vagamente a la de un tornillo de gran paso.

La disposición vertical tiene la ventaja de aprovechar vientos de cualquier dirección, sin necesidad de reorientar el rotor, lo que obligaría a estar apoyado sobre un punto móvil. Además, como tiene pequeño diámetro, soporta vientos huracanados que derribarían inevitablemente un generador convencional. Su pequeño diámetro permite también ubicarlos en espacios reducidos y facilitar su transporte, algo que resulta esencial en la Antártida cuando las nieves caen y todo lo que está sobre la superficie queda necesariamente cubierto y debe ser llevado a un lugar protegido.

El generador desarrollado por el equipo del ingeniero Vettorel, con una potencia de 1 kiloWatt, funcionó durante la pasada campa-

ña antártica en la Base Aérea Vicecomodoro Marambio. Luego, el generador fue devuelto a Buenos Aires para evaluar su desempeño, estudiar su desgaste y planear mejoras. Luego de soportar semejantes condiciones extremas, ha quedado claro que el prototipo puede funcionar perfectamente en ambientes más normales, como hogares, escuelas o puestos de campaña, cualquier espacio alejado de las redes de energía tradicionales.

Actualmente el equipo de investigadores está trabajando en un segundo generador para alcanzar los 3,5 kiloWatts de potencia, suficientes para abastecer estaciones de medición más alejadas y que no cuentan con la presencia constante de técnicos.

Una solución para muchos problemas

Como suele ocurrir, los problemas a los que se enfrentan estos científicos a la hora de desarrollar un prototipo plantea la posibilidad de encontrar soluciones que pueden ser aprovechadas por otros. Así como la idea de este aerogenerador surgió de quien tenía experiencia en coherencia y aerodinamia, sus necesidades particulares pueden servir para el desarrollo de herramientas aplicables a otros espacios.

Por ejemplo, un generador eólico que, naturalmente, funciona a la intemperie, esta sometido a una fuerte radiación de rayos ultravioletas. Para proteger el rotor, se han ensayado distintos tipos de recubrimientos. Los recubrimientos, las pinturas usadas como protección, pueden servir para proteger otro tipo de superficies, trabajando en condiciones similares.

También la experiencia en el diseño y elección de los rodamientos usados en el rotor

puede usarse en otros equipos que también deben funcionar en forma continua, recibiendo un mantenimiento mínimo.

Es deseable que, en poco tiempo, no sólo las bases antárticas si no también los puestos de frontera aislados o las escuelas rurales ubicadas lejos de las redes de distribución de energía estén equipadas por el generador desarrollado en el CITEDEF. La tecnología está disponible y seguramente vaya aumentando su potencia rápidamente a partir de la experiencia que brindaron los primeros prototipos.

Las pilas de combustible

Si bien se ha hablado de las ventajas de la generación eólica, cabe aclarar que en lugares “normales” tiene un problema que no resulta menor: su inconstancia. Si bien en el Continente Blanco el viento raramente desaparece, lo más difícil es que trabaje durante el invierno, cuando la nieve lo cubre todo y las salidas al exterior para hacer mantenimiento sólo se realizan en caso de necesidad extrema. Por eso, un sistema de generación eólica debe complementarse con baterías que almacenan la energía cuando la hay, para usarla cuando no la hay.

Las baterías eléctricas se conocen desde 1800, cuando el italiano Alessandro Volta presentó la suya ante la Royal Society de Londres. Este artefacto consistía en discos metálicos apilados uno sobre otro y separados por paños embebidos en ácido. De ahí el nombre de “pila”. En esas condiciones hay una transferencia de electrones de un disco a otro, a través del circuito al que se encuentra conectada la pila. Esa transferencia de electrones constituye la corriente eléctrica. Desde los tiempos de Volta se han inventado distintos tipos de pila, basadas en distintas reacciones químicas. Las más conocidas son las pilas de carbón, las alca-

Algunos números

La pila de hidrógeno experimental, desarrollada por el equipo del Dr. Franco tiene una potencia de poco más de 10W. Durante su prueba experimental en la Base Esperanza, se usó para alimentar un pequeño televisor portátil. Actualmente se trabaja en una instalación mayor, suficiente para un televisor de plasma.

El generador eólico vertical desarrolla una potencia de 1 kW. Esto equivale aproximadamente al consumo de tres computadoras personales, cuatro heladeras medianas, cinco televisores de 29 pulgadas o cincuenta lámparas de bajo consumo.

Funcionando las 24 horas, en condiciones óptimas, el generador produciría 24 kWh, energía suficiente para alimentar una instalación compuesta de:

- Un televisor de 20 pulgadas, funcionando durante 15 horas diarias.
- Una heladera mediana, funcionando durante 12 horas diarias.
- Diez lámparas de bajo consumo, encendidas durante 8 horas diarias.
- Una computadora de escritorio, funcionando durante 8 horas diarias.
- Un equipo frío calor, funcionando diez horas diarias.
- Un lavarropas automático, una procesadora, un horno a microondas y una plancha, funcionando una hora por día cada artefacto.

Estas cifras son aproximadas, y valen para funcionamiento continuo del generador. Pero dan una idea de las posibilidades de estos equipos, para abastecer de energía una vivienda ubicada lejos de las redes de distribución.

linas y el acumulador de plomo que se usa en los autos.

En realidad, cualquier reacción química que implica algún tipo de transferencia de electrones puede usarse para generar electricidad. En ese sentido, las reacciones más convenientes son aquellas en las que un combustible se combina con el oxígeno y la cantidad de energía que se libera es enorme. La misma reacción que usamos habitualmente para producir calor (en un mechero de gas o en el interior de un motor de automóvil) puede controlarse para producir energía eléctrica. Las pilas basadas en estas reacciones se llaman celdas de combustible.

En eso está trabajando el equipo liderado por el doctor Juan Isidro Franco en el Laboratorio Pilas de Combustión, instalado por convenio entre la Escuela Superior Técnica del

Ejército (EST) y el CITEDEF. La pila de combustible que están desarrollando consiste, en este caso, en dos placas conductoras (por ejemplo, grafito o metálicas) separadas por una membrana semipermeable polimérica y dos electrodos donde grafito y catalizador se mezclan empastados a la membrana. De un lado de la membrana se inyecta hidrógeno y del otro, oxígeno. Enfrentado a la membrana semipermeable, el hidrógeno cede sus electrones. El hidrógeno pasa pero los electrones quedan en el metal. Si las placas metálicas se conectan mediante un conductor, los electrones circulan a través de él de una placa a la otra hasta encontrarse con el oxígeno que está del otro lado y con el hidrógeno que atravesó la membrana donde todo se combina produciéndose la reacción.

Imagen de Futuro: Juan Isidro Franco

– Si a partir de hoy contara con todo el apoyo y los recursos necesarios: ¿Qué imagina que podría estar desarrollando su departamento en 10 años?

–Estaríamos exportando centrales de 10 kwatt o mayores para los países desérticos del planeta. Si esto no ocurriera es porque no hemos podido imponer la economía del hidrógeno y entonces no tendrá sentido ningún futuro en el 2040 porque se habrá apagado la civilización actual montada sobre la economía de la energía fósil, barata y contaminante.

La capacidad de generación de una pila de combustible es muy superior a cualquier pila convencional: más de diez veces mayor a la de una pila alcalina y hasta cuarenta veces mayor a la del acumulador de plomo. Estas baterías funcionan mientras tengan hidrógeno ya que oxígeno nunca les falta porque lo toman de la atmósfera. Cuando el hidrógeno se acaba hay dos opciones: o se lo repone como quien cambia una garrafa o se lo obtiene del agua mediante electrólisis. Aquí es donde las pilas de combustible se complementan con los sistemas de generación de energía limpia como paneles solares o aerogeneradores. Se usa la energía generada por estos sistemas para obtener hidrógeno del agua y este hidrógeno obtenido se aprovecha cuando es necesario para generar energía con las pilas de combustible. El hidrógeno es aquí solamente una forma de almacenar y transportar la energía eléctrica en forma compacta y mucho más eficiente que los que se usan actualmente.

Y, obviamente, estas pilas producen una contaminación muy baja o casi nula: el producto de la combustión del hidrógeno es simplemente agua. Si se lo compara con la eficiencia del gasoil traído desde el continente por medio del rompehielos Irizar las potencialidades que se abren para las bases antárticas son enormes, por no hablar de su apli-

cación en muchos otros lugares. Su pequeño tamaño en relación con su eficiencia permiten incluso pensar que serán la fuente de energía de los futuros medios de transporte.

Los problemas técnicos

En teoría, las pilas de combustible son superiores a todo otro tipo de batería diseñada para generar o almacenar energía eléctrica. Sin embargo, los desafíos técnicos siguen existiendo: el funcionamiento óptimo se produce bajo condiciones muy precisas de relación estequiométrica, temperatura, humedad, etc. Por ejemplo, el rendimiento de la pila es mayor a temperaturas del orden de los 80 °C. Pero, en esas condiciones, los materiales de la pila se degradan más rápidamente. Además, la membrana debe tener cierto grado de humedad que se altera constantemente por el agua producida durante el funcionamiento de la pila. Fijar las condiciones adecuadas para la obtención de energía requiere consumir parte de esa energía. De modo que hay que hacer un balance muy ajustado: o se gasta energía para mantener las condiciones óptimas o se renuncia a esas condiciones para aprovechar la mayor cantidad de energía.

Otro problema es el de mantenimiento. Si el funcionamiento de la pila requiere de un

Los responsables

El equipo de desarrollo del generador eólico está dirigido por el Ing. Vettorel, con la colaboración los ingenieros Fabio Milanese y Germás Saravia y los técnicos Juan Aranjuelo y Valeria Teotis.

El equipo de desarrollo de la pila de combustión PEM a hidrógeno está dirigido por los doctores. Juan Franco y Héctor Fasoli y el Lic. Alfredo Sanguinetti como investigador asociado.

Colaboraron numerosos estudiantes de carreras de ingeniería tanto de la Escuela Superior Técnica del Ejército (EST) como de la Facultad de Ingeniería (FIUBA) y de la Universidad Católica Argentina (UCA). Actualmente completan el equipo la Lic. María José Lavorante (UCA), el Ing. Gabino Colangelo (FIUBA) y el Tco Químico Ricardo Aiello (CITEDEF).

Los integrantes agradecen el apoyo económico recibido del convenio entre el Ejército Argentino, Energía Argentina Sociedad Anónima (ENARSA) y Aeropuertos Argentina 2000 (29 de diciembre de 2004) y el apoyo brindado por los Departamentos: Taller de Prototipos y Microelectrónica, del Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF). Agradecen también el subsidio otorgado en 2009 por el Ministerio de Defensa.

ajuste preciso de las condiciones de trabajo, el mantenimiento es más complejo lo que implica personal especializado. Siendo un elemento de consumo, se prefiere que el mantenimiento sea lo más simple posible. Todos estos problemas son los que debió enfrentar el equipo del CITEDEF a la hora de diseñar su pila.

En funcionamiento

El desarrollo de pilas a combustible con membrana de electrolito polimérico (PEM, por *polymer electrolyte membrane*) presentado por el equipo del Dr. Franco en 2007 superó ampliamente los requisitos establecidos por convenios firmados a fines de 2004 por el Ejército Argentino con las empresas ENARSA y Aeropuertos Argentina 2000. Y una de estas pilas se probó con éxito en la Base Esperanza del Ejército en la Antártida Argentina.

En el diseño de esta pila (en realidad, un conjunto de pilas) se optó por lo simple, aún a costa del rendimiento óptimo, para permitir

su utilización por parte de personal no especializado y con un mínimo entrenamiento en su operación y mantenimiento. **El personal que quedaría a cargo de la pila durante su uso en el Continente Antártico se capacitó en sólo una semana y no tuvo mayores problemas para mantenerla funcionando.** Estas simplicidad a la hora de operar la pila resulta fundamental para que el día de mañana se pueda aprovechar para el uso doméstico o en ubicaciones aisladas (puestos de frontera o de campaña) donde no es posible recurrir a personal especializado.

Desde su instalación en la Antártida, el 3 de enero de 2007, hasta su desmantelamiento y regreso al laboratorio en mayo de 2008, el equipo cumplió 2278 horas de trabajo bajo carga. Durante todo ese tiempo, la pila demostró un rendimiento acorde con los ensayos realizados previamente en el laboratorio.

La experiencia antártica sirvió también para probar el comportamiento de la pila durante períodos de funcionamiento prolongado

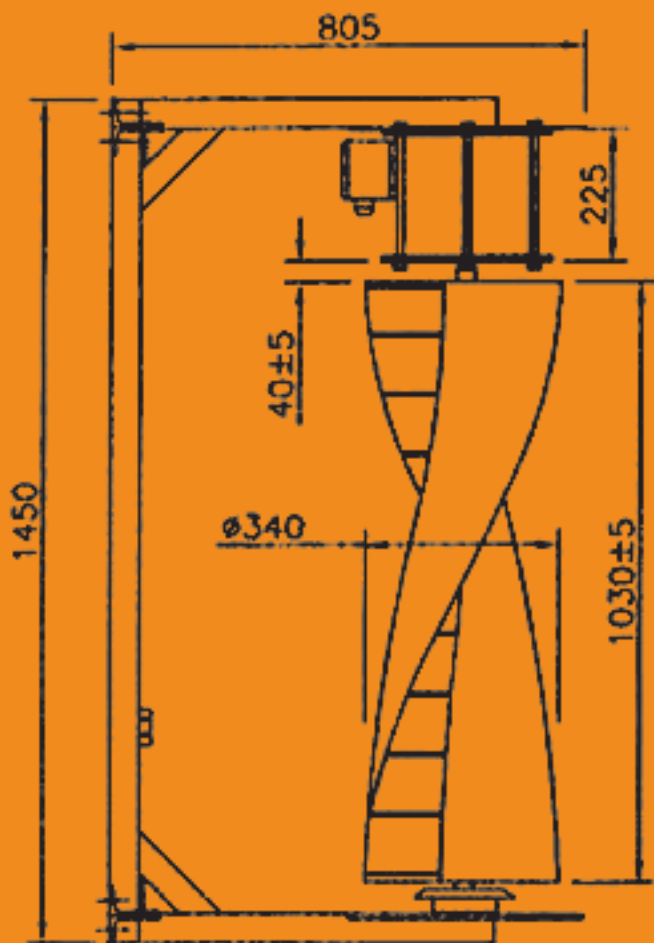
y también bajo ciclos de reposo de duración variable, dependientes de las circunstancias que se dan en la Base; la respuesta a estas condiciones son un buen indicio de la robustez del sistema electroquímico.

Cuestión de independencia

Al igual que ocurre con otros desarrollos de CITEDEF lo que está en juego es mucho más que un conocimiento técnico o una curiosidad científica. Lo que realmente se está construyendo es la posibilidad de otro modelo de nación autónoma tecnológicamente pero también solidaria con sus pares, otros países en desarrollo con los cuáles intercambiar conocimiento. La diferencia con un modelo en el que la tecnolo-

gía sólo fluye desde el norte hacia el sur y con un costo altísimo es determinante. Si bien puede costar arrancar los motores del desarrollo tecnológico luego de años de anquilosamiento, una vez que la maquinaria científica entra en calor se abren nuevos caminos, muchos de los cuáles se bifurcarán una y otra vez llevando a lugares insospechados. Es por eso que aún es difícil mensurar las potencialidades de las pilas de hidrógeno de los aerogeneradores, pero ya se puede vislumbrar que tendrán un rol clave en el desarrollo de la tecnología espacial autóctona como fuente de suministro de energía de satélites, los que se están desarrollando en otros organismos de investigación científica. Es que cuando uno comienza a andar con decisión sólo el cielo es el límite.

▼ Planos y fotografía del aerogenerador "Ventus" ▼





▲ Lanzamiento del Misil Aspide ▼ Lanzamiento del Misil Magic



**Departamento
de Química Aplicada**

Investigación todo terreno

Por Jorge Forno

De alguna manera el desarrollo en química es fundamental para campos totalmente diversos: desde su utilización en las áreas de propulsión, explosivos y electroquímica hasta el estudio del impacto ambiental. Por eso el Departamento de Química aplicada se asocia a distintos organismos públicos y privados para resolver cuestiones concretas y, en el mismo movimiento, generar conocimiento y experiencia en un campo muy vasto.



En “Mitos, sofismas y paradojas”, un artículo publicado en 1970, Jorge Sábato se encargaba de derribar afirmaciones carentes de sustento, pero repetidas por no pocos tecnólogos. No faltaban entonces –ni faltan ahora– los que aseguraban que “en la Argentina no puede hacerse ciencia y técnica porque no hay recursos (dinero y gente)”; que “este es un país demasiado chico para poder hacer desarrollos tecnológicos importantes” o que “en la Argentina no hay compañías grandes que puedan darse el lujo de hacer investigación y desarrollo”. En este último rubro, Sábato derrumbaba mitos destacando el papel de las empresas estatales: las de energéticas como YPF (entonces en poder del Estado) o las relacionadas con la defensa.

En 1968 Jorge Sábato y Natalio Botana presentaron un modelo de política científica y tecnológica basado en la interrelación de distintos sectores productivos y sociales. El modelo se esquematiza de una forma simple pero efectiva, a partir de un triángulo con sus vértices ocupados por quiénes los autores definían como protagonistas estelares de las interacciones: la infraestructura científico-tecnológica, la estructura productiva y el gobierno. Para lograr la articulación de los diversos actores, Sábato otorgaba al Estado un papel primordial y señalaba a las grandes empresas públicas latinoamericanas como un elemento clave. Pasaron los años y la articulación desde lo público no sólo no se profundizó, sino que fue dejada de lado por las políticas neoliberales que dominaron la última década del siglo XX. Causan cierto desasosiego ver que YPF, la empresa pública más grande con la que contaba la Argentina fue privatizada y sus laboratorios de investigación desmantelados en los años '90. Sin embargo, algunas experiencias regionales exitosas de

investigación y desarrollo (I+D) promovidas desde el sector público sobrevivieron al temporal sin bajar la guardia. Están los más conocidos como la petrolera brasileña Petrobrás o la empresa mixta argentina INVAP. Y existen otros casos, que, aunque menos conocidos por el gran público gozan de muy buena salud y se embarcan en experiencias de I+D que son reconocidas mundialmente.

El Departamento de Química Aplicada (DQA) del CITEDEF puede ubicarse entre estos últimos. Sus investigaciones y desarrollos se orientan a brindar soluciones no solo a las Fuerzas Armadas, sino que también a empresas públicas y privadas. Según Sábato la aplicación efectiva del conocimiento generado es una cuestión central. Es así, que para una empresa el problema no ha terminado cuando se ha logrado un nuevo conocimiento científico o una nueva aplicación de un conocimiento ya conocido, sino cuando ese conocimiento o aplicación se ha incorporado al proceso de producción y comercialización, es decir, cuando se ha transformado en una innovación tecnológica. **Las investigaciones del DQA tienen aplicación efectiva en campos tan diversos como la preservación del medio ambiente, la certificación de laboratorios, la aplicación de normas de calidad, la generación de propulsores para cohetes o el control de agentes de guerra química.**

MISIÓN POSIBLE

El Vicecomodoro Ingeniero Carlos Vázquez es el jefe del Departamento de Química Aplicada. Desde su oficina del CITEDEF cuenta que ha participado como inspector de las Naciones Unidas en misiones internacionales de control de armas químicas. Vázquez cita el caso más resonante: las misiones en Irak. Desde 1997

El explosivo universo de los propulsores

Desde la fabricación de la antigua pero siempre vigente pólvora, compuesta por un salitre o nitrato –dador de oxígeno– y azufre y carbón como reductores, se han desarrollado muchas otras de estas explosivas mezclas –literalmente hablando. En el cuerpo de la nota hemos hablado extensamente de los propulsores sólidos. Pero como no sólo de propulsores sólidos vive la industria aeroespacial, a continuación daremos cuenta de otros tipos de propulsores disponibles para estos menesteres.

Propulsores líquidos:

Los propulsores de esta familia pueden ser monopropulsores, constituidos por un combustible que reacciona por efecto del calor o por acción de un catalizador, o bipropulsores, en los cuales un elemento combustible como el alcohol, el hidrógeno, la hidracina, el amoníaco, o algún derivado del petróleo es oxidado con oxígeno líquido, peróxido de hidrógeno, o ácido nítrico.

Difíciles de almacenar –pueden requerir temperaturas bajísimas o ser muy inflamables–, a veces resultan corrosivos, tóxicos y altamente riesgosos en su traslado y depósito, pero a cambio poseen algunas ventajas frente a los sólidos, como un mayor empuje por unidad de peso y mayor grado de control de la reacción.

Criogénicos:

Se utilizan oxígeno e hidrógeno enfriados y comprimidos, en estado líquido. El oxígeno se almacena a unos -183°C y el hidrógeno a la friolera –nunca tan bien empleado el término– de -253°C . En estas condiciones ambos elementos

ocupan un espacio aceptable para el tamaño de los tanques de los cohetes, sobre todo si lo comparamos con sus volúmenes gaseosos. Es una combinación eficaz y de alto rendimiento. La reacción entre oxígeno e hidrógeno para formar vapor de agua es asombrosamente exotérmica y da lugar a un producto no contaminante. Pero estos elementos pueden ser almacenados por períodos de tiempo breves, ya que tienen una marcada tendencia de volver a su natural estado gaseoso. Pequeño gran problema si de cohetes militares se trata, ya que estos suelen estar almacenados en sus bases por extensísimos períodos de tiempo.

Propulsores híbridos:

La idea de utilizar combustible sólido con un canal o perforación por la cual se inyecte un oxidante líquido lograría un tipo de propulsor que reuniría las virtudes de los sólidos y los líquidos. Pero por el momento este propulsor híbrido pertenece al mundo de las promesas en experimentación.

la Organización para la Prohibición de Armas Químicas (OPCW por su sigla en inglés) tiene en marcha un plan de destrucción del stock de armas químicas en todo el mundo. Si todo va viento en popa el plan acabaría con la existencia total de ellas aproximadamente para el año 2012. El CITEDEF actúa como organismo asesor para la participación de la Argentina en la elaboración y cumplimiento de los acuerdos

internacionales en armas químicas, biológicas y convencionales. Además, provee de personal especializado que suele participar en las convenciones y recomendaciones que realizan los organismos vinculados a Naciones Unidas para el control de este tipo de armamento. El país puede ufanarse así de ocupar un lugar destacado en temas de gran trascendencia para la paz en el mundo.

▼ Lanzamiento del Cohete PCX 2009 GRADICOM. Serrezuela, Córdoba. Diciembre de 2009



Los agentes de guerra química son generalmente sustancias que provocan un conjunto de trastornos como dificultades respiratorias, irritación de ojos, convulsiones, parálisis y a veces hasta a la muerte. Estos enemigos pueden ser dispersados por medios tan simples como el viento o algo más complejos como granadas proyectiles o bombardeos aéreos. Algunos agentes químicos son de baja persistencia en el ambiente, mientras que otros pueden persistir en el suelo, agua o superficies, actuando por contacto mucho después de su diseminación. Existen armas químicas fáciles de obtener y transportar por lo cual existe el riesgo de que caigan en manos de organizaciones terroristas. Todas estas características hacen necesarios métodos de rápida detección y neutralización.

Vázquez resalta la importancia de contar con herramientas precisas para la detección de agentes de guerra química. Estas herramientas deben necesariamente ser homologadas a nivel internacional. El DQA participa de un *Round Robin Test*, una serie de pruebas comparativas realizadas entre varios laboratorios que utilizan el similares métodos y equipamientos para la validación de técnicas analíticas de alta sensibilidad y la detección en campo de agentes de guerra química, en el marco de la Convención de Desarme.

La participación del CITEDEF en las pruebas comparativas tiene como fin a mediano plazo calificar como laboratorio regional de referencia. Buena parte de esto es posible porque el DQA, durante años de investigaciones acerca de las armas biológicas y químicas, posee las habilidades necesarias para reconocer rápidamente sus efectos e implementar medidas para contrarrestarlas. Un conocimiento sensible que no se adquiere en el mercado sino que requiere años de trabajo, y que sirve para mucho más que actuar en misiones internacionales.

PESTICIDAS Y AGRICULTURA

Además de la relevancia para la seguridad nacional e internacional, ocurre que ciertos agentes de guerra química son de la misma familia -químicamente hablando- que los pesticidas organofosforados, todavía usados en la agricultura.

Varios organismos estudian en nuestro país el efecto de los pesticidas en el medio ambiente. Entidades como la Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (CASAFA), el Servicio Nacional de Sanidad Animal (SENASA), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), universidades y empresas se preocupan constantemente por esta cuestión, cada vez más acuciante por el aumento de la actividad agrícola. La búsqueda de rendimientos crecientes puede jugar una mala pasada al medioambiente y las personas que habitan en las cercanías de las zonas de producción intensificada. El CITEDEF aplica su conocimiento al estudio de este candente tema: se vale de una larga experiencia de décadas en el estudio de compuestos tóxicos, particularmente pesticidas piretroides y también compuestos organofosforados. Hay muchos factores a tener en cuenta: si bien organofosforados como el malatión, dimetoato y clorpirifós, se siguen usando, deben contemplarse las condiciones de almacenamiento y uso, para no volcar al medio ambiente subproductos aún más tóxicos que los mismos pesticidas. La experiencia y el conocimiento generado durante años en el CITEDEF le otorga pergaminos para actuar como referencia técnica.

LA QUÍMICA DEL AMBIENTE

Con respecto a la problemática del medio ambiente el CITEDEF tiene en marcha varios pro-

▼ Confección de una tabla de tiro para Cohete CP 30. Serrezuela, Córdoba. Noviembre de 2006



yectos orientados al aporte de técnicas para una rápida detección, identificación y cuantificación de sustancias contaminantes que le permitan brindar asesoramiento a Organismos Municipales, Provinciales y Nacionales. Una necesidad indudable: no existe actualmente en el país un organismo que pueda dar una respuesta inmediata en caso de contaminación localizada en zonas urbanas o rurales y que pueda aplicar la tecnología necesaria para analizar y descontaminar *in situ* aguas y terrenos dañados por un agresivo químico. No hablamos solamente de un ataque terrorista o de un enemigo externo. Un accidente que libere contaminantes industriales en forma descontrolada puede ser catastrófico si no se actúa con celeridad y eficacia. Para cubrir esta necesidad no basta con desarrollar métodos analíticos rápidos y confiables: también debe capacitarse a los técnicos para actuar en las emergencias.

Por otra parte, la puesta a punto de estas técnicas analíticas permitirá realizar controles de calidad y dirimir conflictos entre organizaciones públicas o privadas, cuando del espinoso tema de la contaminación se trate.

TECNOLOGÍA REVERSA

Quizá lo que más entusiasmo al Vicecomodoro Vázquez, es un desarrollo tecnológico que parece no tener otro destino que ser autónomo: el desarrollo del sistema de coherencia en el país. Una cuestión sensible y estratégica que no se limita a los temas de defensa y se extiende por ejemplo a la puesta en órbita de satélites para el control del tráfico aéreo. Dominar esta tecnología implica un aprendizaje a puro ensayo y error, en asuntos en los que un error puede pagarse decididamente caro: al trabajar con materiales combustibles o explosivos el riesgo de una detonación

o incendio está latente. Pero **la recompensa está en no depender de un paquete tecnológico cerrado a gusto y voluntad de quién lo produce.** Volviendo a Jorge Sábato, la idea de abrir el paquete tecnológico era una de las cartas fuertes de su pensamiento. Junto con otros colegas de su época propiciaban el desarrollo endógeno de tecnologías porque lo consideraban un elemento crucial para lograr la autonomía tecnológica. Sabían que el vendedor de tecnología tiene una situación cuasi monopólica, ya que por lo general es un gran productor que actúa en un mercado cautivo y cuando el comprador no produce tecnología, tiene poca información y escasa experiencia, entonces su capacidad de negociación es baja. Y que eso vale tanto para un automóvil como para una central nuclear. La cuestión era adquirir habilidades para armar y desarmar el paquete tecnológico. En línea con este pensamiento, misiles comprados en la década del ochenta —en su mayoría de origen europeo— están siendo desarmados y se están recuperando con éxito. Siguiendo técnicas de ingeniería reversa se desarman y se vuelven a armar. Así se los recupera prolongando su vida útil, evitando además tener que desactivarlos superado el tiempo límite para su uso en una operación no exenta de exigencias variadas. **Ahorro de dinero, minimización de riesgos y aprendizaje tecnológico se combinan en estas prácticas de recuperación.**

Pero además el DQA trabaja en línea con los proyectos más importantes del CITEDEF. Cuando en 2009 se lanzó Gradicom PCX, un cohete de 50 a 60 kilómetros de alcance, se habían coronado muchos años de trabajo en el desarrollo de una tecnología íntegramente nacional que incluye un completo menú compuesto por el propulsante, motor y estructura del cohete.

Vázquez no oculta su orgullo: señala que son pocos los países que tienen en la actualidad la capacidad de trabajar autónomamente con estas tecnologías tan sensibles. El Departamento de Química Aplicada fue uno de los protagonistas principales de este logro tecnológico: desarrolló nada menos que el propulsante para que el motor del Gradicom PCX funcionara.

COMO GOMA DE BORRAR

¿De que hablamos cuando hablamos de propulsores? Los propulsores se componen por dos entidades químicas principales, un oxidante y un reductor que hacen respectivamente las veces de comburente y combustible. “A cada acción le corresponde una reacción de igual magnitud y dirección, pero de sentido opuesto” reza la Ley de Acción y Reacción de Isaac Newton, enunciada en los albores de la ciencia moderna y que con renovada vigencia actúa como rectora de los fenómenos de propulsión, un asunto primordial para la industria aeroespacial. Los propulsores se encargan de empujar a un objeto -por caso un cohete- en sentido contrario de la gravedad y pueden ser de diversos tipos: sólidos líquidos, criogénicos o gaseosos. Los sólidos tienen sus ventajas: pueden ser almacenados por períodos prolongados con un mantenimiento mínimo y como los *boy scouts* están siempre listos para el momento del lanzamiento ya que no hay que llenar tanques ni procesar elementos criogénicos. Sólo hace falta encender el ignitor y el cohete es lanzado. Para decirlo brutalmente, estos cohetes funcionan como una cañita voladora. Claro que no todas son buenas para los sólidos. Entre sus desventajas se cuentan la imposibilidad de interrumpir la combustión hasta que no se consuma el combustible, la dificultad de la variación de empuje y la necesidad

de construir dispositivos de combustión que puedan trabajar a enormes presiones.

HOMOGÉNEOS Y COMPUESTOS

Cuando de propulsores sólidos hablamos, podemos distinguir entre los homogéneos y los compuestos. En los homogéneos suele predominar un ingrediente principal, por caso la nitrocelulosa. A este componente casi nunca se lo encuentra solo, sino que por el contrario se lo asocia con compañeros poco amigables; agentes autocombustibles como la nitroglicerina, que además son plastificantes, más algún aditivo adecuado para que la sociedad sea todo lo estable y duradera que se pueda. Formalizar esta sociedad no es sencillo: todos los elementos deben aglomerarse entre sí de manera homogénea en una masa compacta y con la forma deseada.

Los propulsores compuestos, a diferencia de los homogéneos, se componen de dos fases claramente diferenciadas: un combustible y un oxidante, las que deben estar íntimamente mezcladas. El oxidante es usualmente una sal mineral con buena proporción de oxígeno como el perclorato de amonio, un compuesto de alto poder energético. El perclorato de amonio es muy estable y requiere una elevada energía de activación. Se apela al calor con presiones y temperaturas elevadas para lograr la explosión controlada requerida en la propulsión del cohete. Para producir el propulsante este compuesto se distribuye en una matriz, en general una especie de goma sintética, que cumple una función doble. Por un lado es un soporte y por otro lado actúa como combustible y la mezcla va acompañada por aditivos de diversa especie como antioxidantes, catalizadores o reguladores de la velocidad de combustión. Los ingredientes de esta compleja preparación son íntimamente mezclados y luego vertidos, casi en estado líqui-

do, en un tubo de curado o directamente en el tubo motor. Cuando le preguntamos a Vázquez sobre el aspecto y la textura de los propulsores compuestos, apeló a una comparación que lo dice todo: parecen “como una goma de borrar”. El CITEDEF cuenta con una larga trayectoria en el desarrollo de propulsores compuestos y domina todo el ciclo de producción. El conocimiento acumulado le otorga la tan deseada autonomía tecnológica en este campo de vital importancia para la industria aeroespacial y misilística.

MÁS ALLÁ DE LA COHETERÍA

La propulsión no sólo es un asunto que atañe a la cohetaría y la misilística. **Sistemas de seguridad pasiva tan populares como los airbag de los automóviles modernos necesitan de un dispositivo de inflado que, frente a una señal emitida por sensores situados en lugares estratégicos del vehículo se expandan rápidamente ante un choque.** Para esto se valen de una explosión controlada y provocada por un propulsor químico que genera la cantidad necesaria de gas. Un principio similar puede ser aplicado a los asientos eyectores, no tan populares pero igualmente útiles.

En estos temas el DQA se ocupa del desarrollo de elementos, técnicas y procesos que son requeridos por distintas ramas de la industria local. Juntos, el DQA-CITEDEF y algunas industrias criollas alimentan el difícil -y por tanto tiempo vapuleado- sueño de la autonomía tecnológica.

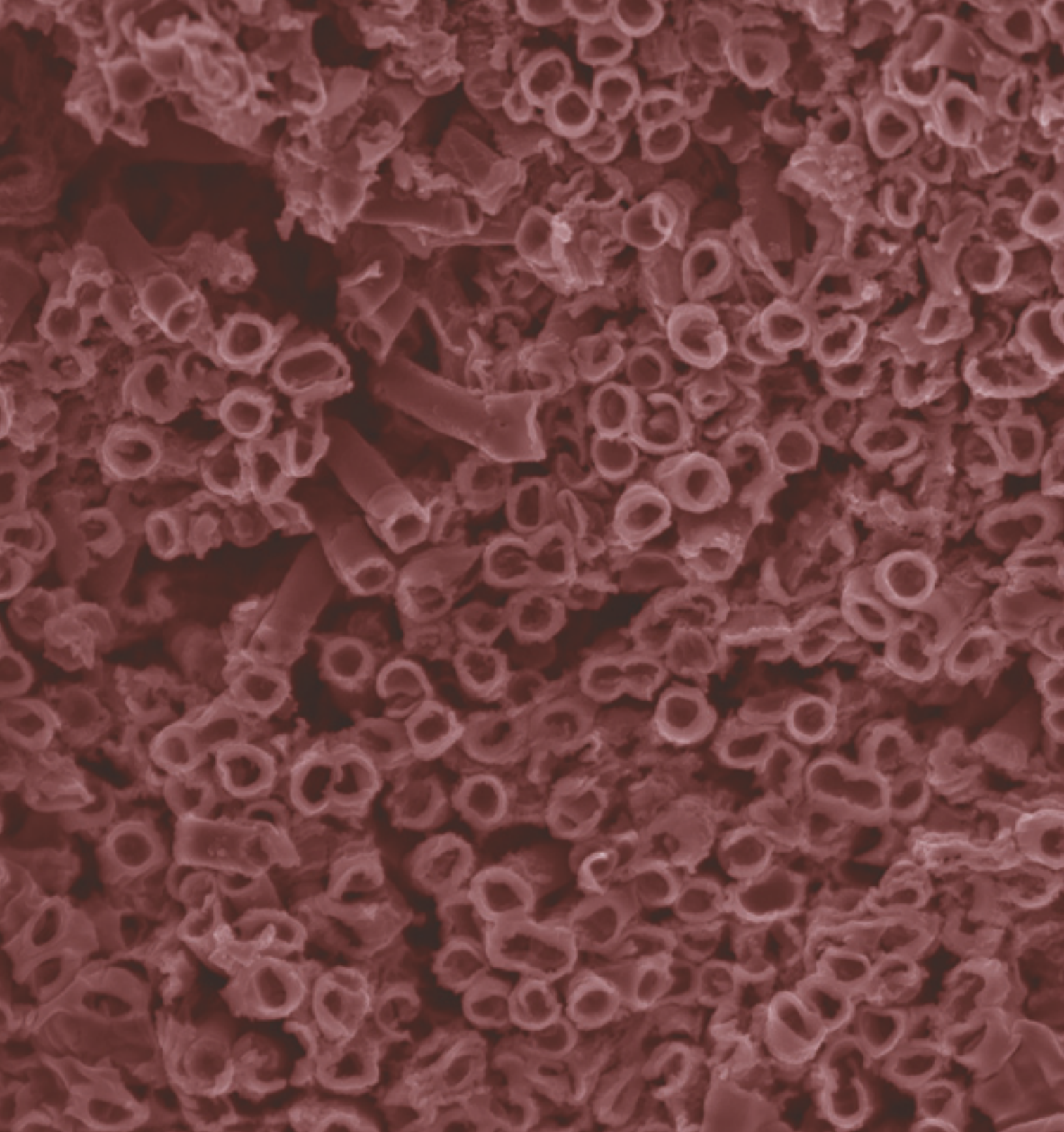
La estructura del Departamento de Química Analítica

El departamento de Química Analítica está integrado por varias divisiones que poseen diversa especializaciones. Estos son:

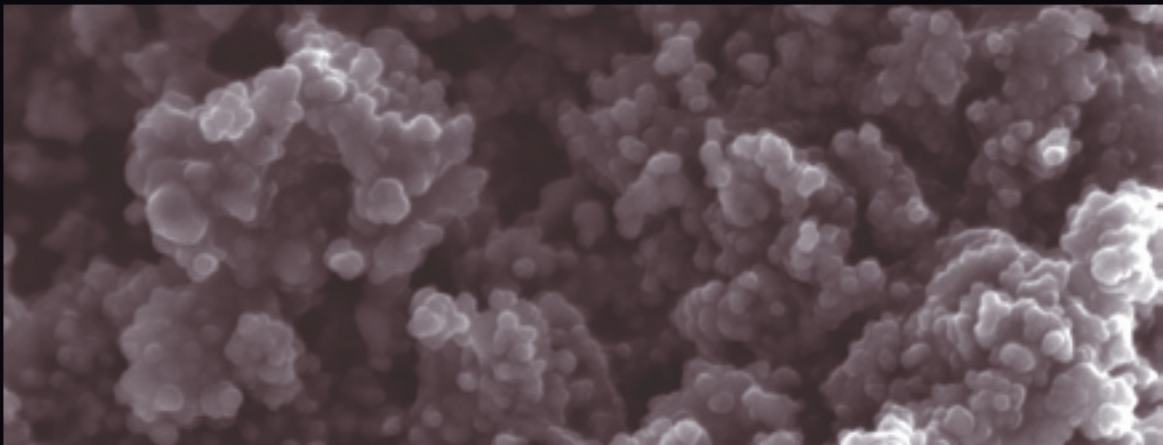
- Div. Villa María
- Div. Química Analítica
- Div. Síntesis Química
- Div. Propulsores Compuestos
- Div. Propulsores Homogéneos
- Div. Baterías Térmicas
- Div. Desarrollos Especiales
- Div. Bco. Balístico y Maquinado de Propulsores
- Div. Investigación y Análisis de Contaminantes Químicos

Entre los proyectos en marcha se cuentan

- Repotenciación de componentes pirotécnicos de misil Aspide
- Desarrollo de actuador pirotécnico
- Microgenerador de gases
- Prueba interlaboratorios
- Aumento y repotenciación de vida útil de misil Magic R550
- Propulsor de grandes dimensiones



▲ Óxido de Estaño(SnO_2) Se utilizan para la confección de sensores de gases ▼ Óxido de Zinc (ZnO) Se utilizan para la confección de sensores de gases

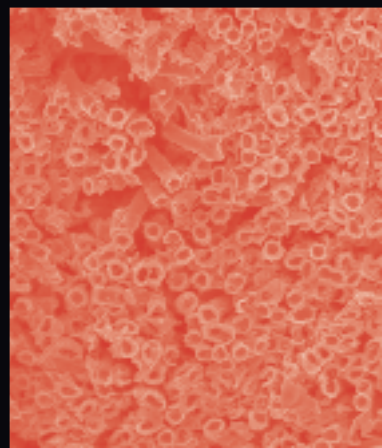
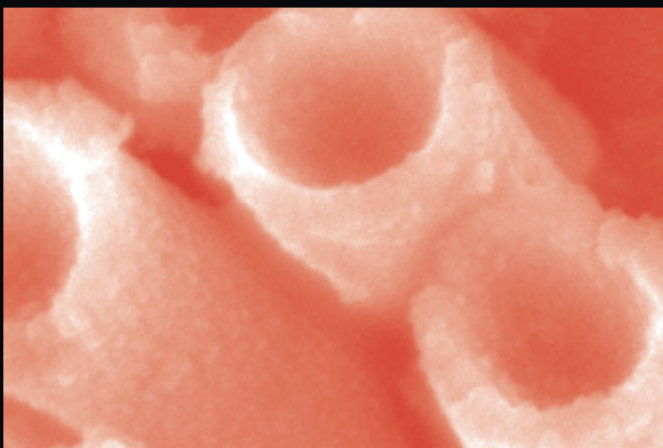


**Centro de Investigaciones
de Sólidos**

Nueve lugares más allá de la coma

Por Marcelo Rodríguez

Sensores de gas extremadamente sensibles y nanomateriales para optimizar las pilas de combustible SOFC que producen energías limpias a partir de biogás, además de un detector monocristalino de radiación para infinidad de usos, son los proyectos que han convertido al Centro de Investigación de Sólidos de CITEDEF en uno de los referentes locales en nanotecnologías.



Cuando se piensa en las aplicaciones actuales, futuras o imaginadas de la nanotecnología, se piensa en términos que hasta hace poco no eran más que ciencia ficción: minúsculos robots que “persiguen” agentes infecciosos escondidos en algún confín del organismo o que son guiados magnéticamente hacia el tumor que tienen que destruir, sensores que “prueban” y analizan los alimentos sin tocarlos, polvos “mágicos” capaces de sanear el agua o el aire, nuevas formas de energía capaces de reemplazar a los hidrocarburos, materiales que se limpian a sí mismos o que incluso, por el fenómeno de refracción negativa de la luz, pueden volverse invisibles. Los materiales nanoestructurados o nanomateriales han conformado el núcleo de trabajo más importante durante los últimos años en el Centro de Investigación de Sólidos (CINSO) del CITEDEF, donde el objetivo principal es lograr desarrollos con una amplia aplicabilidad en la industria, la salud, la seguridad y todo el abanico posible de campos que actualmente están siendo revolucionados por la nanotecnología.

Los nanomateriales, hechos de partículas de tamaño entre los 2 y los 100 nanómetros—el diámetro de un cabello es de 20.000 nanómetros—, no son algo completamente nuevo. Lo realmente novedoso de estos “nuevos” materiales es que sólo desde hace muy poco, gracias a los avances de la física, de la química y de otras áreas de investigación—especialmente después del Premio Nobel de Física en 1965 a Richard Feynman, considerado el padre de la nanotecnología— se están descubriendo a ritmo acelerado sus increíbles propiedades y sus nuevos usos posibles, en áreas estratégicas de desarrollo que van desde la medicina hasta la agricultura, desde la seguridad industrial hasta la aeronáutica o el saneamiento del medioambiente.

Los materiales con cristales nanoestructurados se conocían desde la antigüedad, y su obtención no parece ser muy costosa en comparación con otras tecnologías. En el British Museum de Londres, por ejemplo, hay una copa de vidrio con nanopartículas de oro (la “Copa de Licurgo”, que aparece de color verde cuando se la ilumina por fuera y roja cuando se la ilumina por dentro) que data del Siglo IV antes de Cristo. Hoy la ablación láser, por ejemplo, es una técnica disponible comercialmente, y que mediante erosión física y evaporación permite obtener casi cualquier nanopartícula: nanoesferas, nanovarillas, nanocinotos, nanotubos. Sin embargo, categorizar esas partículas y estudiarlas para conocer sus características, sus comportamientos, sus potencialidades reales tanto en sus beneficios como en sus riesgos y evaluar formas para su uso adecuado y racional no es algo que esté al alcance de cualquiera de quienes podrían producirlas.

Además del capital humano necesario, esta actividad requiere de sistemas de alta tecnología que permitan escrutar ese mundo que queda en el límite de lo infinitamente pequeño: analizadores de espectro, aceleradores de partículas y sistemas de microscopía electrónica que en sus versiones más avanzadas—aún no disponibles en la Argentina, y a las que los científicos sólo pueden acceder mediante acuerdos con instituciones en el exterior— permiten ver incluso la marca de las celdas de estructuras cristalinas formadas por los mismísimos átomos.

El CINSO se ha convertido en una de las instituciones de referencia a nivel local en el estudio de los materiales nanoestructurados, y actualmente está desarrollando dos líneas de trabajo en este sentido: el diseño de materiales para los electrodos de una pila de combustible de óxido sólido (SOFC es la sigla en inglés que distingue a este tipo de tecnología) y un sistema extremada-

mente sensible para la detección de gases, con posibles aplicaciones tanto en seguridad industrial como en la producción de alimentos o el cuidado del medioambiente. Estas dos líneas de aplicación tienen algo en común: se basan en propiedades físicoquímicas que no es posible encontrar en ninguna sustancia que no esté nanoestructurada. “Es que cuando el tamaño de las estructuras pasa del nivel micro al nivel nano —explica la doctora Noemí Elisabeth Walsöe de Reca, investigadora superior del CONICET y directora del CINSO— los mismos materiales adquieren propiedades totalmente diferentes; por eso decimos que son como nuevos materiales, aunque las sustancias se conozcan desde siempre”.

El Centro ha establecido convenios de cooperación con varias universidades e instituciones de la Argentina y del Exterior. Walsöe de Reca lleva dirigidas más de cincuenta tesis de doctorado —“No se trata de que obtengan el título de doctor: cada uno de ellos ha resuelto un problema concreto de aplicación”, señala— y ha publicado varias decenas de artículos sobre este y otros temas. Y está entre los autores de un proyecto conjunto entre CITEDEF y el CONICET que espera pronto patentamiento: un detector de radiación infrarroja construido en base a monocristales micrométricos de telururo de cadmio, que es el resultado de un proceso de muchos años de investigación básica, búsqueda de materiales y ensayo. La medicina, la pesca, la agricultura y la aeronáutica están entre las posibles áreas de aplicación de este detector.

TRABAJAR A ESCALA NANO

Si a nivel micro (milésimas de milímetro) las limitaciones para ver están dadas por el ojo humano, a nivel nano están dadas porque la

propia longitud de onda de la luz excede a los objetos en tamaño. Las partículas oscilan por el movimiento browniano y nada está quieto a escala tan pequeña. **Las leyes de la naturaleza son las mismas pero producen fenómenos distintos y a eso se agrega que los polvos nanoparticulados pueden incluso atravesar las máscaras antiviruses.**

En los sólidos inorgánicos ideales, los átomos y las moléculas se agrupan formando “celdas” con formas geométricas tridimensionales determinadas por el modo en que se asocian los elementos que las forman. Esta regularidad tiende a reproducirse formando volúmenes mayores, se llama *estructura cristalina* y puede apreciarse en las formas hexagonales de los cristales de hielo o en los granos de sal común, que tienden a ser cubos perfectos.

El tamaño y la estabilidad de las estructuras cristalinas varía según las condiciones ambientales, y sus propiedades físicas lo hacen según la forma y el tamaño. Los detectores de radiación infrarroja, X y gamma desarrollados en CITEDEF aprovechan estas propiedades de los *monocristales* (estructuras uniformes “de una sola pieza”). La versión más avanzada es un detector fotovoltaico de cristales micrométricos para múltiples aplicaciones en radiaciones infrarrojas (Ver recuadro).

A nivel nanométrico, todo cambia, y en un mundo mil veces más comprimido, explica Walsöe de Reca, “el punto de fusión de los materiales baja, la temperatura de unión de los cristales en el sinterizado baja notablemente también, aumenta la conductividad del material y se alteran hasta tal punto en que aún materiales con alto magnetismo pierden todas sus propiedades magnéticas”.

Gran parte del trabajo de los científicos pasa por caracterizar nanoestructuras, investigar con exactitud sus propiedades, sus

Con patente en trámite

El detector de radiación infrarroja monocristalino cuya patente está en trámite es el resultado de más de dos décadas de trabajo, ya que surgió un pedido de parte de la Fuerza Aérea a fines de la década del '80. Pero su utilidad va mucho más allá de posibles aplicaciones militares.

Todo lo que hay en la Tierra, sea orgánico como inorgánico, emite radiaciones infrarrojas y en diferentes longitudes de onda que pueden servir para identificarlos. En una zona minera, por ejemplo, los minerales se hallan unidos frecuentemente al silicio en forma de silicatos y cada silicato produce una radiación diferente. Ni qué decir sobre su utilidad en el monitoreo de cosechas: los cultivos sanos emiten radiación en una longitud de onda diferente a la de los cultivos afectados por una plaga. O en la pesca: un cardumen emite una radiación que puede ser captada por alguien que, desde lo alto, pretenda establecer su recorrido.

Un detector de este tipo podría ser usado manualmente o incorporado en dispositivos de barrido. En este último caso, se ha trabajado en aplicaciones médicas capaces de detectar tumores dentro del organismo. Este detector se basa en las propiedades de los elementos de valencia 2 y 4 de variar su conductividad con la radiación infrarroja y está construido con una placa compuesta por varios monocristales de tamaño micrométrico de telururo de cadmio. Este material tiene una rapidísima respuesta a las variaciones de radiación calórica de la banda infrarroja, que se traduce en diferencias de corriente eléctrica al pasar los electrones a la banda de conducción.

El punto clave de esta tecnología es el carácter monocristalino del material sensor. Lo que es posible obtener por métodos "artesanales" son monocristales con dos superficies sensibles de alrededor de 1 milímetro cuadrado. Pero para lograr mayores niveles de sensibilidad se requieren otras tecnologías de manipulación (corte de precisión por láser, alineación de máscara, etc.) para lograr superficies sensibles más extensas con el mismo cristal. El pedido de patente, conjunto entre CITEDEF y el CONICET, incluye el diseño del dispositivo, y también el método para su fabricación.

ventajas y desventajas para cada uso, probar diferentes materiales y evaluar posibles efectos adversos para la vida o el medio ambiente. Para determinar con exactitud la forma y el tamaño de las nanopartículas, ya que de ellas dependerán las propiedades que tengan, las técnicas pasan a ser mucho más costosas. La difracción de rayos X, gamma o infrarrojos es la más sencilla, pero resulta mucho más preciso el uso de luz proveniente de un acelerador de partículas. Para eso, los investigadores del CITEDEF trabajan desde hace nueve años en colaboración con el Departamento de Física de la Universidad de San Pablo, Brasil, en los programas CAPES y CONICET-CNPQ, para

la utilización del sincro-ciclotrón ubicado en Campinas.

EL PRINCIPIO DE LOS SENSORES DE GAS

Los materiales semiconductores son aquellos cuya conductividad eléctrica varía drásticamente según la temperatura y los niveles de energía aplicados. Así, pasan funcionalmente de ser conductores a aislantes y viceversa. El más emblemático de estos minerales es el silicio, símbolo de la revolución microelectrónica. En el CINSO se trabaja mucho sobre las propiedades de diferentes semiconductores y

en especial sobre el dióxido de estaño (SnO_2), cuyas formas nanoestructuradas presentan propiedades cuyo estudio permitió desarrollar un sistema extremadamente sensible de detección de gases.

En contacto con el aire, los cristales de dióxido de estaño se recubren de una capa de *adsorbatos* o átomos de oxígeno eléctricamente cargados (iones de oxígeno). Ante la presencia de un gas como el monóxido de carbono (CO), los iones negativos de oxígeno (O^-) reaccionan químicamente formando dióxido de carbono (CO_2) y liberando un electrón que es tomado por el cristal de dióxido de estaño.

A escala normal esa afluencia de electrones es casi insignificante; pero cuando el tamaño del cristal semiconductor es tan pequeño que ante el mínimo contacto de la capa de adsorbatos (que ahora ha quedado comparativamente “gruesa”) con un gas “extraño”, la nanopartícula se “llena” de electrones libres que al quebrarse la barrera de potencial del borde de grano, se convierten en una fuerte corriente eléctrica proporcional a la concentración de gases en el ambiente.

De acuerdo con las experiencias realizadas en el CINSO, si el diámetro de los cristales disminuye de 30 a sólo 5 nanómetros, por ejemplo, la sensibilidad del semiconductor aumenta aproximadamente un 30%. También aumenta la sensibilidad con el dopaje, técnica de la microelectrónica que consiste en agregar materiales a la red cristalina –aluminio, en este caso– para mejorar sus propiedades como semiconductor.

Las superficies semiconductoras se preparan en pastas con solventes orgánicos y se depositan sobre sustratos de trióxido de aluminio (Al_2O_3) o silicio, formando películas gruesas capaces de detectar monóxido de carbono, metano, hidrógeno y otros gases.

El sistema requiere un circuito de calentamiento porque sus propiedades se verifican sólo a altas temperaturas (de 120 a 240°C), pero aún así, las temperaturas de operación logran ser mucho más bajas cuando se usan nanocristales que con cristales de mayor tamaño, los cuales necesitan funcionar entre 400 y 500°C. Y la sensibilidad es hasta un 37% mayor.

NARICES ELECTRÓNICAS Y PILAS SÓLIDAS

El mismo fenómeno de alta conductividad aún en presencia de concentraciones de gases muy pequeñas, en el orden de partes por millón o incluso de partes por billón, una sensibilidad elevada toda vez que la proporción de óxidos de nitrógeno al aire libre en una ciudad como Buenos Aires puede superar las 400 partes por millón, por ejemplo. Esto posibilita el uso de este mismo principio para las llamadas “narices electrónicas” y como posible solución para mejorar el rendimiento y la aplicabilidad de otro de los más importantes desarrollos de CITEDEF, como lo es la pila de combustible.

En rigor las narices electrónicas también son detectores de gases. En los procesos industriales, estos dispositivos pueden ser utilizados para sensar emisiones de gases de los alimentos, por ejemplo. La presencia de determinados tipos de contaminación produce perfiles definidos de emisiones de gases en los productos orgánicos y adaptando las características del nanosensor a las del gas que se desea detectar, se obtienen muy precisos dispositivos de control. Incluso diferentes tipos de sensores pueden rastrear diferentes tipos de contaminantes simultáneamente, además de la degradación que producen factores como la luz, la humedad o la temperatura.

Escenario “nano”

– La nanotecnología promete trabajo a físicos, químicos, biólogos, ingenieros, diseñadores, médicos, farmacéuticos e ingenieros. Con ella se podrá potabilizar las aguas, curar un cáncer en 20 minutos sin cirugía mediante “nanorrobots” dirigibles magnéticamente, detectar la calidad de los alimentos porción por porción, diseñar materiales “inteligentes” que cambien sus propiedades adaptándose al medio y generar nuevas formas de energía. Como algunas de estas partículas pueden transferir energía de manera extremadamente localizada, se logró, en experimentos con animales, eliminar tumores liberando una cantidad de radiación equivalente apenas a la sexta parte de lo que irradia en la comunicación un teléfono celular. Pero se ignora, por ejemplo, el efecto remanente que podrían tener estas partículas en el organismo. No se sabe cuánto tiempo podrán permanecer activas, ni cómo serían eliminadas, ni cuál sería el costo para órganos vitales como el hígado o los riñones.

Tampoco hay en el mundo normativas claras de seguridad industrial para producirla, ni mucho menos criterios uniformes para el patentamiento. ¿Qué es “inventar”, en nanotecnología? Las propiedades de las partículas varían según los materiales, las formas, los tamaños. ¿Debe pagar derechos una empresa que usa una partícula del mismo material y forma que otra ya patentada pero de diferente tamaño y por lo tanto, de diferente comportamiento? ¿O es sólo la aplicación lo que se debería considerar “invención”? Son preguntas sin respuesta aún.

En cuanto a las pilas de combustible sólido, el desafío que los nanomateriales pueden ayudar a lograr es bajar las temperaturas de operación, que en la actualidad son muy altas. El biogás proveniente de los basurales, que puede funcionar como combustible para las pilas de combustible sólido, genera metano (CH_4) y dióxido de carbono, en partes aproximadamente iguales. Pero para producir hidrógeno, que es el combustible verdaderamente útil para el funcionamiento de la pila, sólo es necesario el metano: el dióxido de carbono sólo libera carbono en el ánodo, lo cual lo degrada muy rápidamente.

La posibilidad de fabricar el ánodo con una mezcla de óxidos nanoestructurados (óxido de circonio, óxido de cerio y otros diferentes materiales en combinación que se han probado) permite muy buenos rendimientos de la pila a temperaturas intermedias (650-750°C), cuando las versiones comerciales de las pilas con tecnología SOFC (*Solid Oxide Fuel Cells*) tra-

bajan a entre 800 y 1200°C, acortando su vida útil y encareciendo enormemente su uso. “De esta manera logramos utilizar contactos menos costosos y utilizar el material durante más tiempo, porque se dañan mucho menos con la temperatura”, señala la directora del Instituto. Los prototipos de estas pilas, que representan una forma de aprovechamiento de los residuos para generar formas de energía limpias, están funcionando en el laboratorio; lo difícil, como suele suceder, es transferir la tecnología.

LO QUE HAY POR RECORRER

Mientras tanto, año tras año la industria en los países centrales sigue inundando el mercado con materiales nanoparticulados en productos de uso diario y cotidianos: pinturas, revestimientos, cosméticos, productos de limpieza, a veces sin demasiada preocupación por la racionalidad del uso o por la seguridad de estas aplicaciones. “Las nanopartículas de óxido de zinc que se utilizan

▼ Óxido de Zinc (ZnO) Se utilizan para la confección de sensores de gases

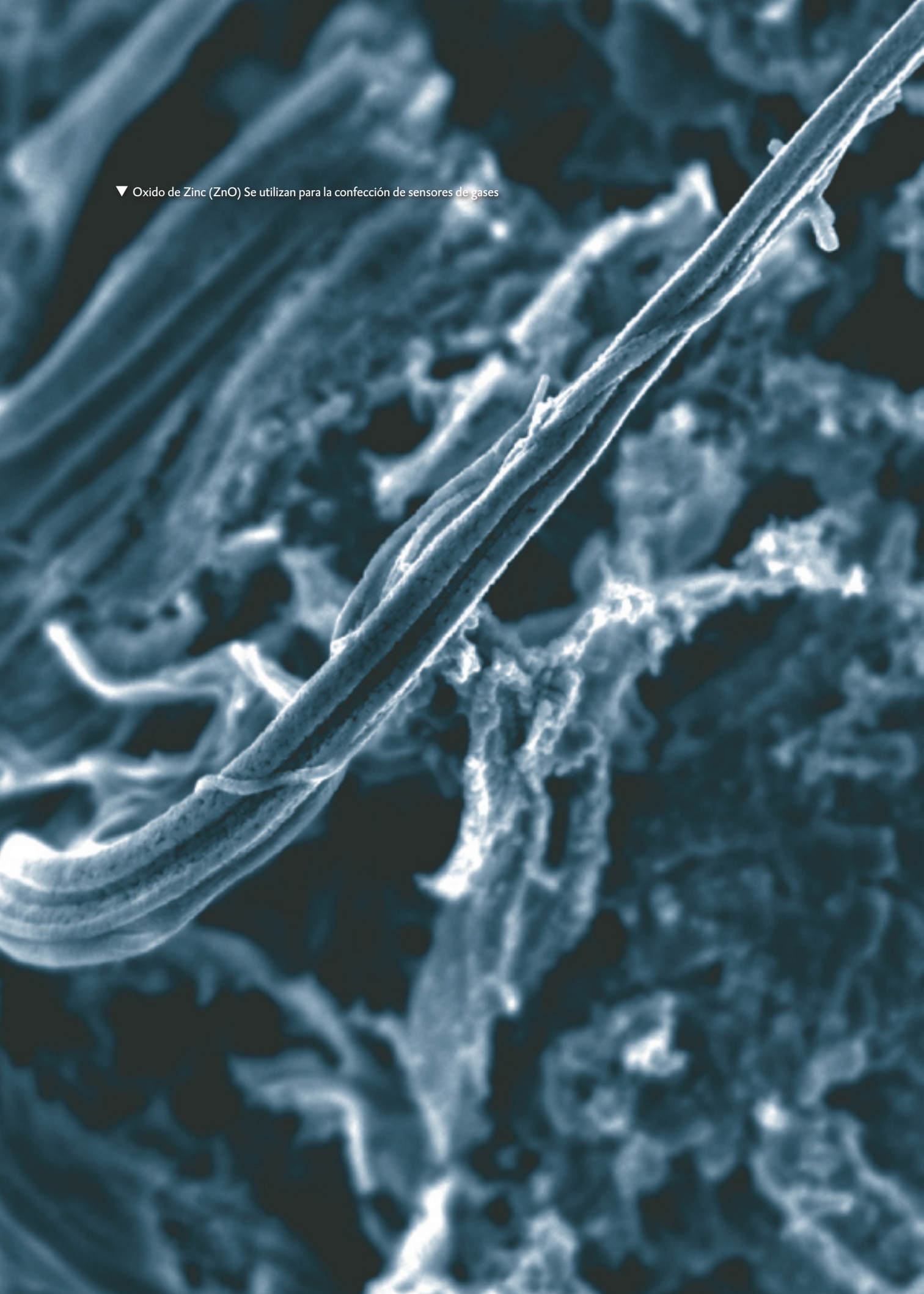


Imagen de Futuro: Noemi Elisabeth Walsøe de Reca

– Si a partir de hoy contara con todo el apoyo y los recursos necesarios: ¿Qué imagina que podría estar desarrollando su departamento en 10 años? ¿Y en 40?

– En una visión a diez años se espera que siga siendo un Centro o un Instituto dedicado a la Investigación y Desarrollo del más alto nivel y que haya acrecentado con su trabajo, su estudio y su participación en el mundo científico el prestigio y el respeto en los ámbitos nacional e internacional con que hoy cuenta. Este objetivo requerirá de los miembros del grupo una tarea intensa de estudio y de trabajo: de estudio para mantener las investigaciones de punta que actualmente están en marcha y para adaptarse en el tiempo a los cambios que surjan en la investigación científica y la tecnología y de trabajo para llevar a la práctica lo que se ha estudiado e investigado culminando en desarrollos originales y, en consecuencia, patentables. Este objetivo requerirá de las autoridades: estudio del devenir en I&D, directivas y reglas de juego mantenidas en el tiempo, reorganizaciones claras y acordes con los tiempos que transcurran y con el avance de la ciencia y la tecnología, presupuestos adaptados a las circunstancias, preparación del personal dedicado a la transferencia de tecnología con activación del nexo centros de investigación /industria]. También será necesario que continúe la intensa Formación de Recursos Humanos especializados. Esta tarea requiere y requerirá de los miembros del grupo que hagan docencia constante y con un alto grado de generosidad a través del dictado de cursos especiales, participación con comunicaciones de su trabajo en reuniones científicas nacionales e internacionales, dirección de becarios, tesis de grado y de doctorado, convenios para realizar trabajos en cooperación con laboratorios prestigiosos de la Argentina y del exterior.

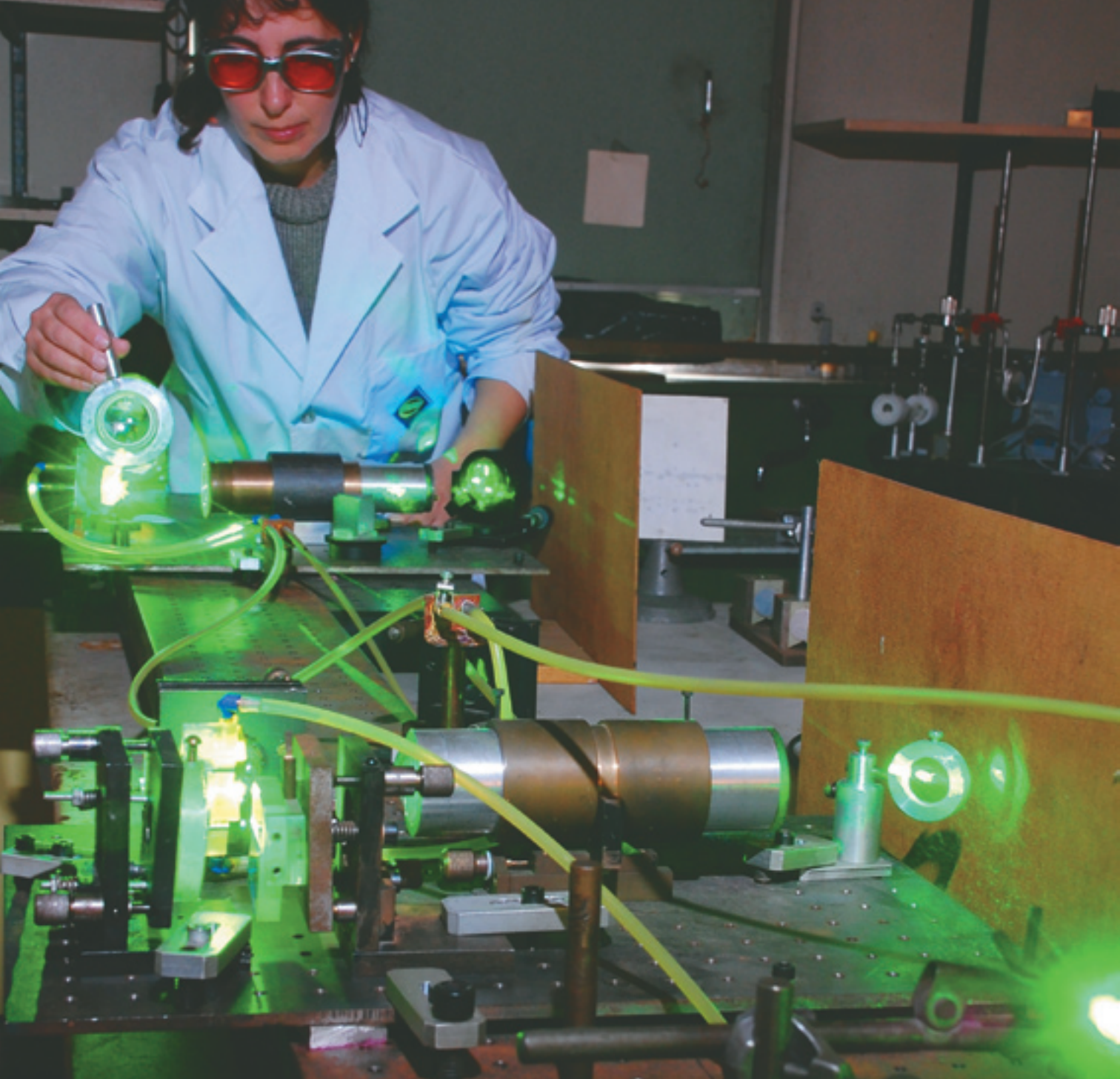
en algunos protectores solares pasan a través de las membranas celulares, y se han encontrado nanopartículas en el hígado, en el estómago, en el cerebro –señala la directora del Centro–. Lo mismo pasa con otros cosméticos. Hay muchos países que desaprehensivamente producen esto sin importar el riesgo ni las consecuencias que otros sufren. Por eso mi sueño es formar una gran cantidad de gente para que distribuya conocimiento especializado sobre estos temas”.

Walsøe de Reca habla de la necesidad de entrenar especialistas en estas áreas de la investigación, capaces sobre todo de comunicar a la sociedad los beneficios y los riesgos de tecnologías como estas, que han llegado para quedarse y a las que hay que aprender a dominar para no ser dominados por ellas. El proyecto de Escuela de Nanotecnología, cuyo comienzo está previsto para noviembre de

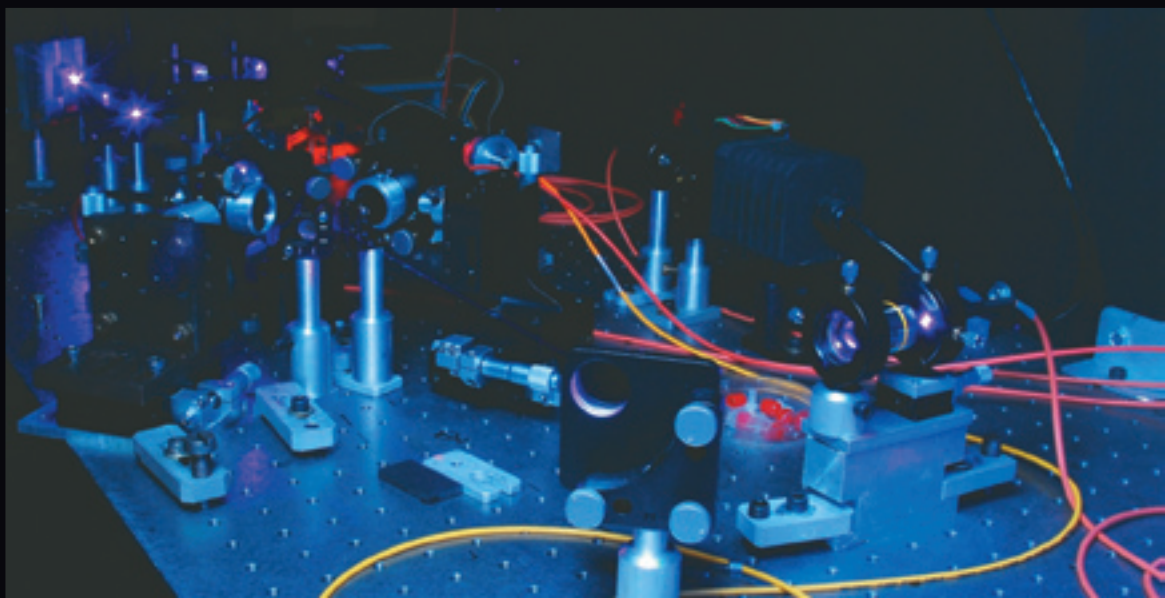
2010, tendrá como uno de sus ejes centrales la responsabilidad en sus usos y aplicaciones.

Como sucede con casi todas las tecnologías de alto impacto, la gran usina de estas invenciones son los países centrales y, una vez más, con esta revolución, se da el riesgo de siempre: que lleguen al resto de las naciones del mundo con retraso, a través de formas obsoletas o, peor aún, perjudiciales, en sociedades para las cuales no fueron pensadas. En esta perspectiva cobran valor la investigación y el desarrollo científico a nivel local, especialmente en centros estatales, que el indagar sobre sus usos más eficaces, más eficientes y más seguros pueden convertirlas realmente en oportunidades para motorizar el crecimiento económico y el bienestar humano a través de la transferencia de conocimientos y proyectos a la sociedad.

▼ Samaria Doped Ceria ($\text{Sm}_2\text{O}_3\text{-CeO}_2$) Se utilizan para electrolitos sólidos de pilas de combustible



▲ Láser de Colorantes pulsado ▼ Experiencia de Óptica Cuántica

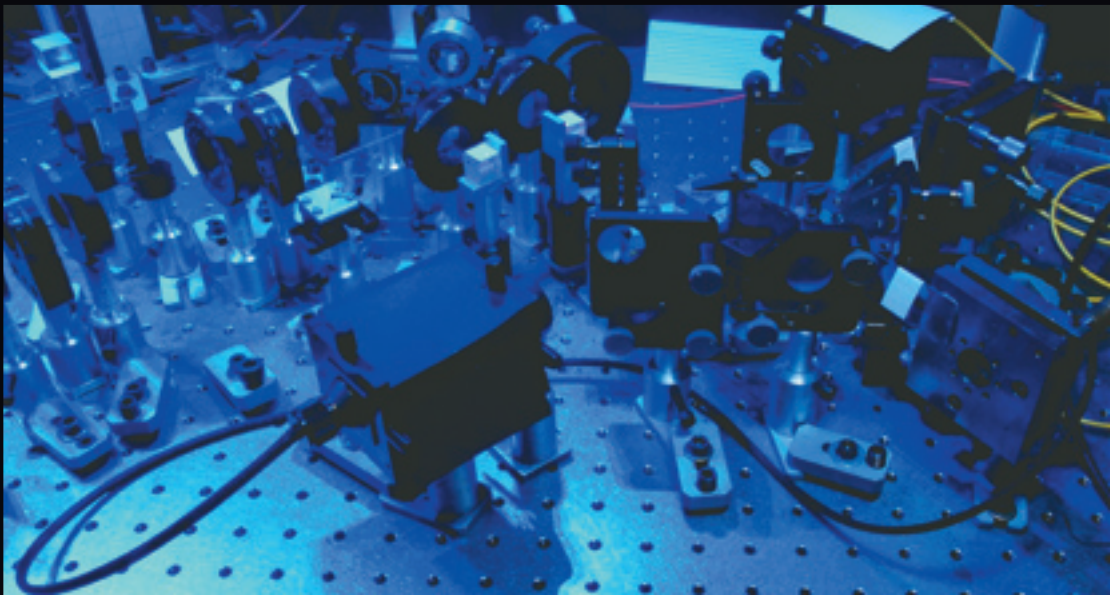


**Centro de Investigaciones
en Láseres y Aplicaciones**

Iluminar el camino

Por Matías Alinovi

El variado menú de investigaciones con láser que se realiza en CITEDEF permite un sinnúmero de aplicaciones que van desde las mediciones de contaminación atmosférica al encriptado de información. Los científicos abren camino iluminando nuevas posibilidades con haces de luz láser en regiones de la investigación argentina que hasta ahora permanecían en la oscuridad.



Basta con visitar los laboratorios de investigación en láser de CITEDEF y exponerse brevemente al entusiasmo de su director, Francisco Manzano, –capaz de improvisar una clase sobre la tecnología láser y asegurarse así de que su interlocutor aprecia la importancia de los desarrollos de su laboratorio– para entender que la actividad se reactiva, que los proyectos abandonados con desaliento en el pasado hoy se retoman con entusiasmo en el marco de la activa modernización del antiguo complejo tecnológico del Ministerio de Defensa. La visita instruye también sobre la necesidad de que existan departamentos como el Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CEILAP), dedicados a estudiar exhaustivamente un tema determinado y sus aplicaciones: **además de dominar todos los aspectos esenciales –los desarrollos teóricos, la investigación tecnológica básica, las posibles aplicaciones comerciales– un departamento grande y especializado, que albergue varios laboratorios cooperando entre sí, permite suplir la formación necesariamente generalista de las universidades y formar a sus futuros investigadores.**

En particular, en el CEILAP trabajan unos cincuenta profesionales entre investigadores –físicos e ingenieros– y personal de apoyo. El departamento recibe además estudiantes de las universidades públicas, tanto de las ingenierías como de las ciencias exactas, que completan sus tesis de grado o abordan sus doctorados. Eso ocurre, sin dudas, porque el laboratorio es uno de los pocos en el país en los que la tecnología láser verdaderamente se emplea. Una tecnología que, es bien sabido, permite infinitas aplicaciones.

EL LIDAR, UN RADAR LÁSER

Uno de los proyectos más importantes del departamento es el de LIDAR (por el inglés Light Detection and Ranging), que supone la detección de parámetros atmosféricos ya sea a gran altura –unos treinta kilómetros– o a nivel troposférico, es decir, al nivel de la capa de la atmósfera que está en contacto con la superficie de la Tierra. La tecnología de LIDAR permite varias cosas. En particular, permitió montar una estación en la ciudad de Río Gallegos, en el sur de nuestro país, íntegramente construida en el CEILAP, bajo la dirección del doctor Eduardo Quel, desde la que se mide la concentración de ozono en la atmósfera durante las 24 horas. De ese modo, el departamento brinda información sobre los peligros que implica la falta de protección contra la radiación ultravioleta.

Es bien sabido que el láser, a diferencia de otras fuentes de radiación, tiene una dirección preferencial de propagación. Esa característica permite, en el caso de LIDAR, enviar energía –luz– hacia la atmósfera sin que se disperse angularmente. Parte de esa luz rebota con las moléculas ‘de tierra’ que flotan en el aire y se refleja de nuevo hacia la superficie terrestre. La luz reflejada es finalmente ‘recogida’ a través de un telescopio, del tipo de los que se usan para observar estrellas, filtrada por colores.

El LIDAR emite su luz a noventa grados respecto de la superficie terrestre y no permite barrer grandes áreas de la atmósfera. Podría pensarse, sin embargo, en mover la unidad para obtener, por ejemplo, un mapa entero del agujero de ozono. Pero lo cierto es que el LIDAR, que ocupa un *container*, no es fácil de trasladar continuamente. Por eso, para relevar los perfiles de ozono de la atmósfera, se prevé disponer estaciones distintas a una distancia

dada, que al juntar sus datos parciales permitan el mapeo.

En materia de estudios atmosféricos, el departamento trabaja con la detección de aerosoles. ¿Qué son los aerosoles? ¿Debemos pensar en los de uso común? No, simplemente en partículas muy pequeñas, que en el caso del aerosol de uso doméstico son líquidas, pero que también pueden ser sólidas. Hay partículas de polvo muy pequeñas que están flotando constantemente en el aire; son las que a veces vemos iluminadas por un haz de luz.

Pero el LIDAR también permite detectar contaminantes troposféricos a distancia. Por ejemplo, el dióxido de azufre, o el dióxido de nitrógeno, sustancias típicas de la contaminación urbana. ¿A qué distancia? Aunque el departamento no lo hace aún, la técnica permitiría detectar moléculas contaminantes a diez kilómetros.

CONTAMINANTES

El departamento también desarrolla técnicas láser, y no láser, de detección de contaminantes que aunque no son de tipo remoto, sí son muy sensibles; en particular, son más sensibles que cualquier otra técnica integrada de las que normalmente se usan.

En general, los contaminantes se encuentran en cantidades pequeñas, digamos en partes por millón, y los métodos para detectarlos habitualmente son integrados en el sentido de que durante largos períodos de tiempo se hace interactuar la atmósfera con alguna sustancia para obtener una reacción química que permita inferir la presencia del contaminante. Ese proceso puede necesitar semanas.

Las técnicas desarrolladas en el departamento, si bien no son remotas, permiten, prácticamente en tiempo real, sa-

ber qué tipo de contaminante hay en la atmósfera. En particular, los trabajos que se hicieron, y que se están haciendo, tienen que ver con el dióxido de azufre, y el dióxido de nitrógeno. Con esos contaminantes se alcanzaron sensibilidades de una parte por billón. Ese límite de detección está mucho más allá del nivel de las concentraciones peligrosas para la salud humana.

El investigador del departamento que desarrolló esa técnica, y que presentó un aparato de detección terminado, obtuvo el premio Innovar hace dos años. En particular, la técnica requería láseres un poco más caros y más difíciles de manejar que los usuales. Ahora bien, para adaptar la técnica y volverla asequible en términos comerciales, y aun para hacerla portátil, se construyó un detector en base a *leds* (light-emitting diode). En conclusión, con emisores de luz no láser también se pudo lograr la detección. Lo único que cambia, en ese caso, es que el límite de la detección última es un poco más alto.

Lo interesante es que la de los *leds* es una tecnología que se produce masivamente. Y que el desarrollo es original de una de las divisiones del departamento, la que se llama Técnicas Espectroscópicas, dirigida por la doctora Verónica Slezak. Aunque existe una cierta actividad mundial relacionada con el efecto optoacústico, las aplicaciones que está desarrollando el CEILAP en la materia son propias y el desarrollo está en proceso de patentamiento, puesto que supondría una forma de control vehicular. **En el mismo departamento, el licenciado Alejandro Peuriot demostró que se pueden medir los escapes de los autos en tiempo real para saber si contaminan, y en qué medida lo hacen.** El aparato podría funcionar muy fácilmente: sólo habría que llenar una celda pequeña, evacuada a vacío, con

El radar de luz

Es difícil imaginar *a priori* que exista un dispositivo como el LIDAR, que combina la tecnología del láser con la del telescopio. Lo cierto es que los investigadores son capaces de detectar señales reflejadas de los pulsos que envían hacia la atmósfera de hasta treinta kilómetros de altura. Pero el LIDAR, ¿cómo encuentra lo que busca? Simplemente, se envía un haz de luz del color adecuado —y eso también lo permite el láser, que puede emitir en distintas frecuencias, precisas— para que lo absorban las moléculas cuya presencia se busca; por ejemplo, las de ozono. La molécula captura parte de esa luz —que luego vuelve a emitir— y así la luz ‘rebota’ menos. Lo que se observa en el telescopio es que de la cantidad de luz enviada hacia arriba parte fue absorbida y en consecuencia deja de reflejarse. Esa es una medida de la cantidad de las moléculas que se buscaban. Que toda la luz se reflejara indicaría que no existe esa presencia, porque no hubo nada que absorbiera la luz emitida desde la Tierra hacia la atmósfera. En realidad, y para ser precisos, no se envía hacia la atmósfera un solo haz de luz láser, sino dos. La frecuencia de uno de esos haces está, efectivamente, en la banda de absorción de la molécula y la del otro está fuera. De la diferencia de la intensidad de los haces se puede obtener el número de moléculas por unidad de longitud presentes en la atmósfera. La precisión con la que se trabaja permite relevar franjas de cien metros, en treinta kilómetros, y de ese modo trazar convenientemente los perfiles de ozono, por ejemplo, que hay en la atmósfera. De la mera descripción de su funcionamiento se entiende que el LIDAR es un dispositivo que busca específicamente ‘algo’, o, en otros términos, que los investigadores, para utilizarlo, deben saber qué buscan.

los gases del escape, y llevarla frente a la luz. Una computadora entregaría una señal con todos los datos de calibración.

VOCACIÓN

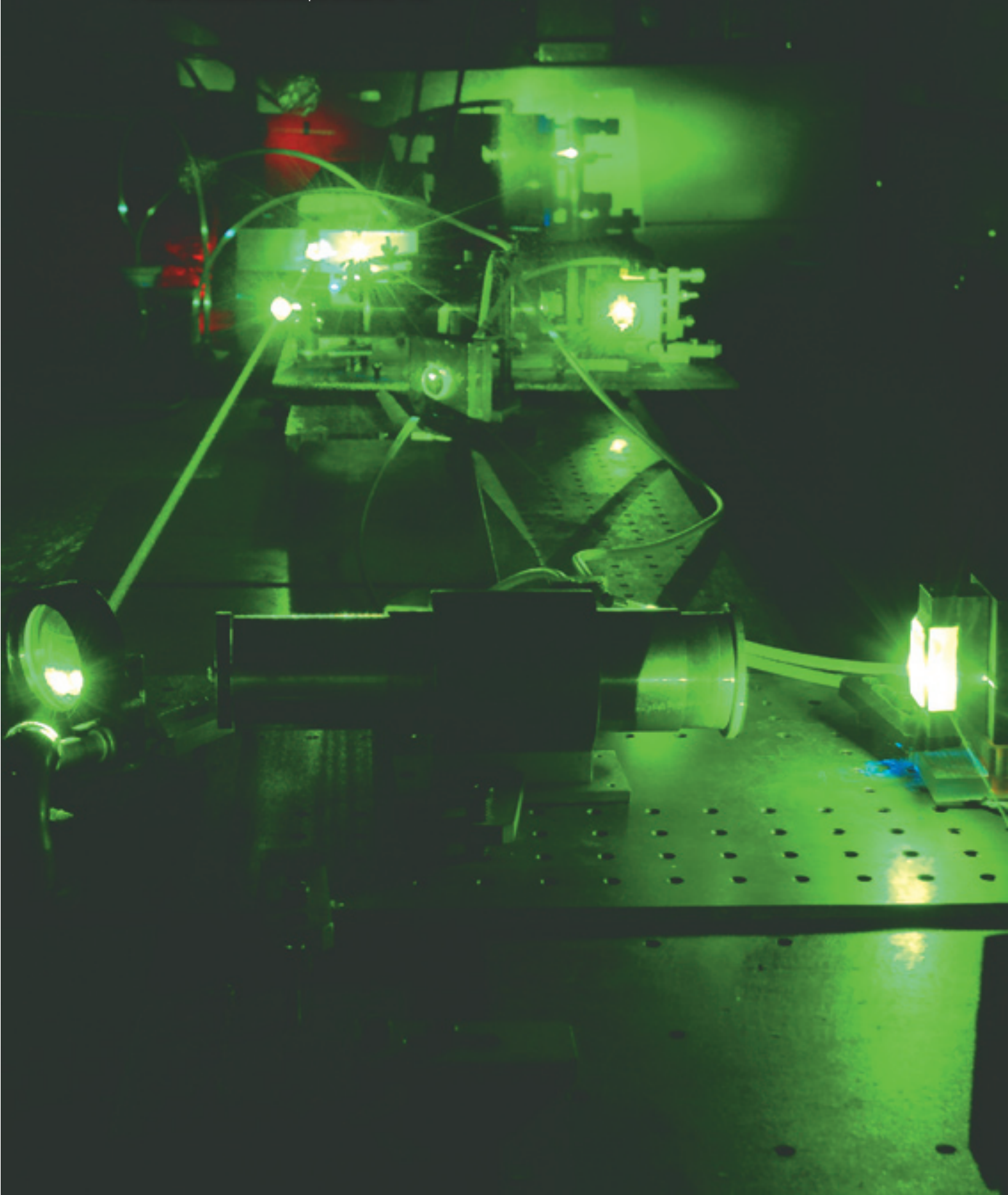
Tanto el LIDAR como la detección de contaminantes en general demuestran que el departamento —y su director— está naturalmente interesado en los desarrollos que sean socialmente útiles. Si se piensa que los detectores también son producidos por empresas extranjeras, y que adquirirlos supondría costos altísimos —sin contar con que al comprarlos se resigna el *know-how* de su desarrollo— se aprecia lo clara que es la vocación por producir instrumentos nacionales que ayuden a la industrialización del país. La adquisición del LIDAR, por ejemplo, supondría la inversión de millones de dólares,

mientras que los costos que se manejan en el departamento son muchísimo más bajos. **Y en el caso de los dispositivos de detección de contaminantes, el diseño, además, es original: no existen afuera, o son de otro tipo.**

¿Y si uno quisiera poner a producir esas patentes? Es claro que el laboratorio no puede, ni debe, encargarse de la producción en serie: un laboratorio de investigación y desarrollo no cuenta, naturalmente, con la infraestructura necesaria para producir en gran número. Lo que sí produce el departamento son prototipos.

Si bien el departamento siempre desarrolló aplicaciones de neto corte defensivo —como las miras láser para la puntería de fusiles o pistolas, o los simuladores de tiro, del tipo de los comerciales pero con alguna sofisticación mayor, o el telémetro láser desarrollado por el

▼ Láser de Colorantes excitado por un láser Nd - YAG



'Eseuchando' moléculas

¿Y cómo funciona el sistema optoacústico?: se 'escucha' el ruido que hacen las moléculas, por así decirlo. Dada una muestra, se la irradia con un láser que tiene la longitud de onda adecuada como para que la luz sea absorbida por las moléculas. Los choques con el nitrógeno y con el oxígeno del aire común, hacen que las moléculas excitadas pierdan esa energía que absorbieron y la transfieran al medio en forma de calor. Al ser transferida en forma de calor, se genera un incremento de presión en la región, muy bien definida, de propagación del haz —como si se tratara de un alambre caliente. La agitación térmica desplaza las moléculas de aire, y ese desplazamiento genera una onda de sonido. Esa onda de sonido, que sale de la región que se calentó con el láser, rebota contra las paredes del contenedor de la muestra y se va atenuando en el tiempo. De la amplitud de la onda generada a una frecuencia particular puede inferirse qué concentración de moléculas contaminantes presenta la muestra. Por eso se dice que la técnica permite 'escuchar moléculas'.

doctor Francisco Piero Diodati, un instrumento que permite medir distancias con gran precisión—, esos desarrollos específicos para la defensa, producidos a instancias de las distintas fuerzas armadas, han convivido con proyectos de otra índole. El LIDAR, por ejemplo, lleva diez años de antigüedad. En definitiva, CEILAP siempre mantuvo una actividad dual, entre las aplicaciones defensivas y las de interés social. Por eso ahora, cuando las políticas del CITEDEF adquieren un sentido más amplio, que busca incluir a la sociedad, el CEILAP, que ya venía trabajando en proyectos de aplicación social, reencuentra su verdadera vocación a través de esas políticas.

Por ejemplo, en su momento se desarrollaron bisturís láser que fueron transferidos a la industria. Uno de los prototipos, incluso, fue donado al Hospital Argerich, donde estuvo funcionando durante mucho tiempo. La competencia se estableció con desarrollos israelíes, y las empresas a las que se había transferido la tecnología fueron capaces de vender su producto al 20% del precio de mercado del desarrollo extranjero. Las crisis económicas, sin embargo, quebraron a esas empresas

nacionales y el producto transferido salió del mercado.

Pero esas experiencias de transferencia muestran que la verdadera vocación del departamento siempre fue la de estar vinculado con la sociedad. Siempre se supo, por ejemplo, que la medicina era un ámbito natural de oportunidades, que permitía estudiar la tecnología láser para aplicarla socialmente. Apoyos circunstanciales de algunas instituciones oficiales, y de la propia CITEFA, más una buena cantidad de esfuerzo, lograron que algunos de esos proyectos se transfirieran, pero es claro que lo que se necesitaba en materia de transferencia era una política activa. CEILAP puede, también, ser una plataforma de diseño de nuevos prototipos que luego puedan ser transferidos a la producción. En todo caso, los investigadores están convencidos de que la tarea es la de acumular *know-how*, de modo que el laboratorio sea capaz de responder a los requerimientos de la sociedad que pudieran presentarse en el futuro. Y en esa tarea, la de generar conocimientos que permitan resolver problemas, todos los grupos que trabajan en CEILAP colaboran entre sí.

Criptografía cuántica

¿Qué es la criptografía cuántica? El doctor Miguel Larotonda desarrolla en el CEILAP una técnica que es de sumo interés para el laboratorio. Existen distintos protocolos para hacer criptografía a nivel cuántico, pero el algoritmo de inscripción invulnerable más simple es el que se llama *one time pad*. El sistema supone un mensaje binario y una clave, tan larga como el mensaje. Emisor y receptor comparten la clave. El emisor envía entonces un mensaje cifrado, que el receptor recibe y descifra gracias a la clave. En definitiva, toda la vulnerabilidad del sistema estriba en la distribución de la clave. Un mecanismo posible, que surgió con la información cuántica, es el que se llama distribución cuántica de claves. Hay una forma de transmitir una clave, es decir, una cadena de números, que es inherentemente segura. La seguridad procede del hecho de que se puede hacer a través de una fuente de fotones correlacionados en sus polarizaciones. Analizando correlaciones entre el emisor y el receptor uno puede asegurarse de que no está siendo espiado.

VARIOS PROYECTOS, VARIAS DIVISIONES

Cada una de las ocho divisiones del CEILAP tiene sus laboratorios propios y lleva a cabo sus propios proyectos, que pueden ser individuales o reunir a más de una división. En la división de óptica cuántica se trabaja, en este momento, en criptografía láser. El desarrollo es de sumo interés porque permitiría transmitir información de un modo perfectamente seguro. En realidad, el desarrollo de la actividad criptográfica, que trabaja a nivel cuántico, está en los albores.

Otra división desarrolla un iluminador láser, y un radar láser con una técnica del tipo de la de LIDAR, bajo la dirección del doctor Mario Lavorato. Mientras que otra colabora con la de láseres sólidos en el desarrollo de láseres bombeados por diodos, bajo la dirección del doctor Alejandro Hnilo.

La división de láseres sólidos construye o adapta láseres para luego aplicarlos en desarrollos propios del laboratorio. Como los láseres fueron, naturalmente, evolucionando, el departamento está obligado a estudiar los

nuevos tipos de generación de láser. En particular, adquiriendo componentes importados de algunos tipos específicos de láseres, logra armar otros propios. La tarea es importante, en el sentido de que, aplicados a la defensa, por ejemplo, permiten desarrollar iluminadores láser, ya sea para el guiado de misiles o de bombas inteligentes. Pero además del uso netamente militar, esos desarrollos tienen también un uso médico. Se trataría, en definitiva, de estar al tanto de cómo se están construyendo los últimos láseres para ahorrar costos armando dispositivos propios.

Las divisiones de Fotofísica Láser en Gases, que dirige la doctora María Laura Azcárate, la de Fotofísica UV-Visible, que dirige el doctor Francisco Manzano, y la de Láseres Moleculares, dirigida por el doctor Jorge Codnia, colaboran desde hace algunos años en experiencias de separación isotópica.

Se sabe que existen isótopos que presentan un interés tecnológico, como el silicio, o el zirconio; que los hay de interés médico, como el nitrógeno; o aun de interés nuclear, como el tritio, que es un subproducto no deseado de las reacciones nucleares. En particular, a través

La inversión de población

En los laboratorios del CEILAP se ven láseres medio desarmados. El director explica que como el departamento no puede comprar todos los dispositivos necesarios, algunos deben desarmarse para modificarlos y adaptarlos a distintos usos particulares: “Cuando se habla de láser es como si se dijera auto. Un auto transporta personas, o mercadería, de un lugar a otro. Pero autos hay de muchos tipos, y uno debe elegir un tipo particular para hacer aquello que quiere hacer. Lo mismo ocurre con el láser. Hay que elegir el tipo correcto para la aplicación particular en la que se piensa”. Pero ¿qué se necesita para construir un láser? Sabemos que hay láseres sólidos, líquidos y gaseosos. Lo que se necesita, entonces, es un medio material específico y alguna fuente de excitación. Además, debe ocurrir lo que se conoce como inversión de población. Es decir, si en cualquier medio material la mayor parte de los átomos o las moléculas ocupan los niveles más bajos de energía, para que haya una emisión de luz láser tiene que ocurrir lo contrario: dados dos niveles distintos de energía, el nivel de energía más alta deberá estar ocupado por más átomos o moléculas que el de energía más baja.

de procesos inducidos por láser se puede, por ejemplo, reducir la cantidad de tritio, para disminuir el contenido radioactivo.

Los volúmenes de agua que quedan contaminados con tritio suelen ser enormes. Por eso, la doctora Azcárate propuso un método —que se está desarrollando en consonancia con Invap S.E.— para capturar el tritio y reducir el volumen de agua contaminada. El método ya está probado en el laboratorio. La captura ocurre a través de una reacción química inducida por láseres que se produce en las moléculas que contienen tritio y para la industria nuclear es un proceso de enorme interés. Aunque la técnica no destruye el tritio, reduce el volumen del agua contaminada, porque lo concentra. La reacción sólo se puede iniciar a través del láser.

Vinculado con los intereses nucleares, el departamento desarrolla en este momento otra técnica de separación isotópica: la del nitrógeno 14 del 15. El desarrollo tiene interés médico —como trazador en el sistema respiratorio del cuerpo humano—, y también nuclear,

puesto que el nitrógeno 15 se podría insertar en combustibles nucleares para aumentar la eficiencia de los reactores.

Pero más allá de sus aplicaciones particulares, mantener a punto, en el laboratorio, la tecnología de separación isotópica, con todas sus técnicas —algo que no es fácil de lograr— es importante y necesario, puesto que, se sabe, tarde o temprano los desarrollos nucleares la utilizarán. Sin soslayar que las técnicas de separación isotópica que utilizan láseres son mucho más atractivas desde el punto de vista económico que cualquier otra, puesto que no utilizan grandes instalaciones, y suponen costos mucho menores que los usuales.

LÁSERES DESARROLLADOS

El CEILAP también desarrolla láseres propios. En particular, láseres de dióxido de carbono continuos y pulsados, es decir, capaces de emitir permanentemente o en pulsos. Los pulsos, que pueden durar 100 nanosegundos, permiten alcanzar mayores energías. Los láseres

pulsados pueden utilizarse, por ejemplo, para hacer pequeños agujeros. El láser continuo, en cambio, para cortar metales. También se desarrollan láseres sólidos de neodimio, una tierra rara, láseres de colorantes y láseres de nitrógeno. Todas esas tecnologías son dominadas perfectamente por el departamento.

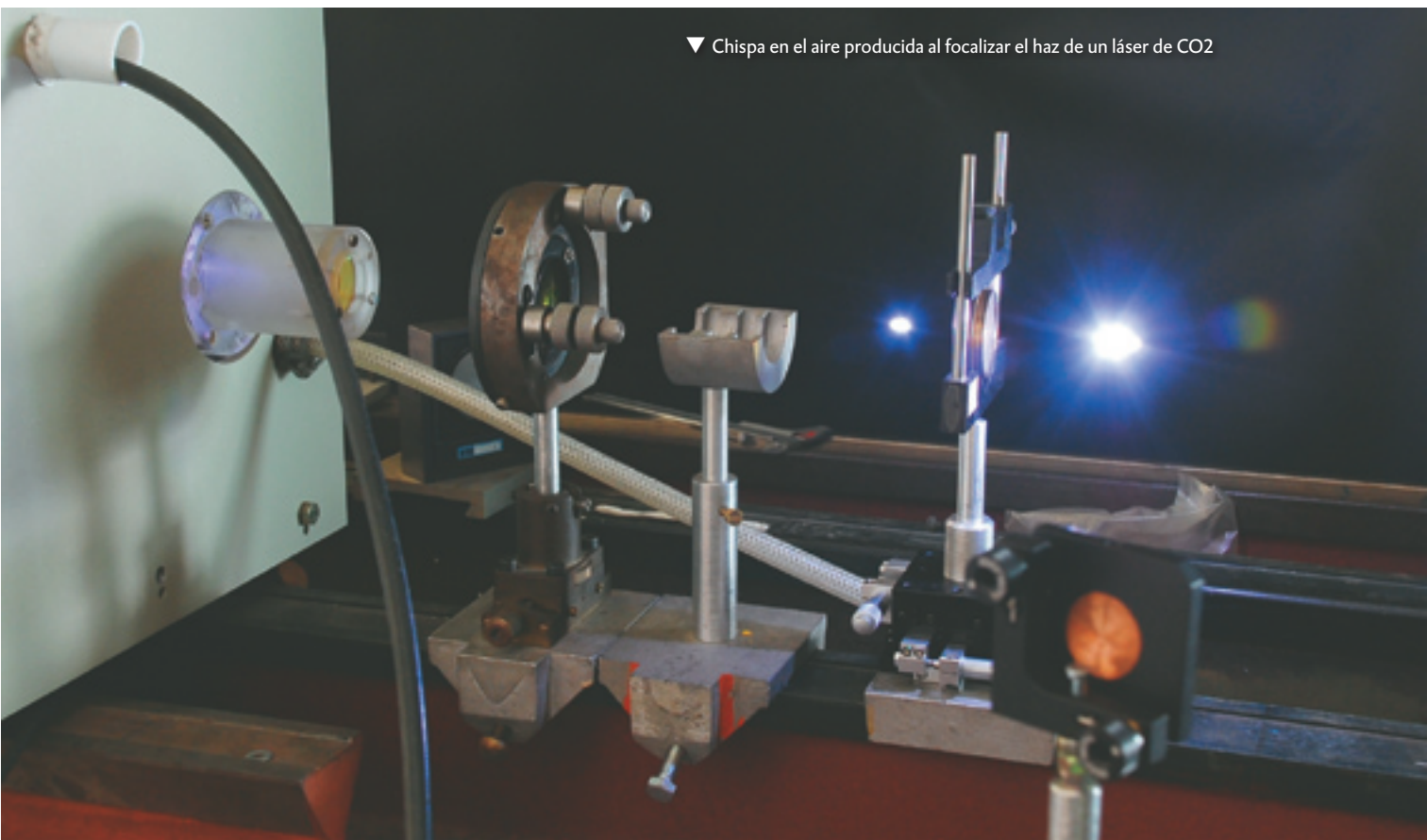
Una de las características distintivas del CEILAP es que, desde su nacimiento, y en forma continua, siempre ha desarrollado láseres propios. Además, esos láseres desarrollados en el departamento son utilizados en los distintos laboratorios del CEILAP y hasta algunos han sido transferidos a otras instituciones.

Los láseres de colorantes utilizan moléculas orgánicas, del tipo de la rodamina, pero de alta pureza. La rodamina absorbe luz y la re-emisión de luz por parte de la molécula permite tener un medio láser. La diferencia de este láser frente a todos los demás consiste en que si todos los láseres emiten un color definido, el láser de colorantes, a través de un filtro adecuado, puede sintonizarse en forma continua

en una variedad de colores. El filtro permite seleccionar color sin perder energía y eso ocurre entre longitudes de onda que van desde los 200 nanómetros hasta los 800 nanómetros, prácticamente en el infrarrojo, lo que supone un espectro muy ancho de colores de emisión. En conclusión, la importancia del láser de colorantes estriba en que el dispositivo es continuamente sintonizable en longitudes de onda a lo largo de todo el espectro visible, y que mediante técnicas especiales permite transformar, además, esa radiación visible en radiación ultravioleta, hasta los 200 nanómetros.

Los láseres de neodimio son muy importantes para las actividades del departamento. En particular, pueden estimular la emisión láser de otros dispositivos, como los de colorantes. Las primeras fuentes de excitación de los láseres de colorantes fueron los de nitrógeno, unos láseres gaseosos que emiten en radiación ultravioleta cercana. La actividad de desarrollo de láseres propios del CEILAP ha sido siempre importante, e ininterrumpida.

▼ Chispa en el aire producida al focalizar el haz de un láser de CO₂





▲ Sensores de Radiación Ultravioleta ▼ Estación LIDAR de Sensado de Ozono en Río Gallegos, Santa Cruz

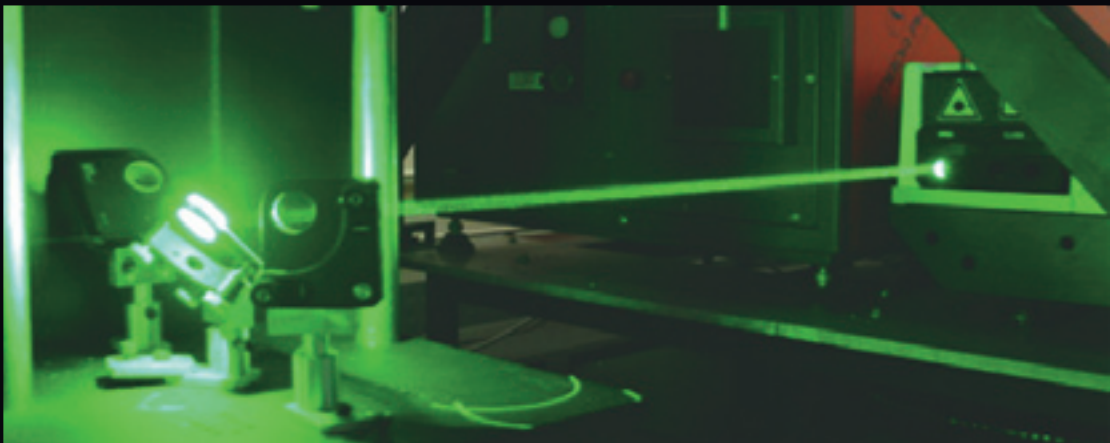


**Centro de Investigación
en Láseres y Aplicaciones**

El láser y el cielo protector

Por Jorge Forno

Los láseres forman parte del imaginario social como potentes armas utilizadas por superhéroes. La realidad no está tan lejana a esa idea ya que las particularidades de estos haces de luz permiten analizar fenómenos microscópicos que ocurren a kilómetros de la superficie terrestre e inaccesibles de otra forma, lo que permite conocer mejor un proceso que pone en peligro la salud de nuestro planeta. Desde el centro de Investigación en Láseres y Aplicaciones aprovechan estos rayos de luz para ver lo invisible.



Bien saben los entusiastas de la ciencia ficción que el género no sería el mismo sin la existencia de los láseres. Estos dispositivos que emiten una luz intensa, coherente, monocromática y que no se dispersa, han formado parte de una amplia galería de artefactos ficticios y no tanto —pistolas, espadas y otras máquinas variopintas— que deleitaron a varias generaciones de niños y —admitámoslo— no tan niños, seguidores de la literatura y el cine fantástico.

Más allá de la ficción, **el láser tiene aplicaciones concretas en la vida diaria, que van desde precisas herramientas para prácticas médicas a la grabación y reproducción de audio y video en discos compactos, o los nuevos Blue Ray.** Si las espadas y pistolas láser permitían a héroes de ficción enfrentar a feroces enemigos imaginarios, en el mundo real la tecnología láser interviene en combates menos épicos contra enemigos nada ficticios, como los contaminantes atmosféricos.

La conservación del medio ambiente y los efectos nocivos de la contaminación no son temas que preocupen solo a los científicos, ni mucho menos. Estas cuestiones han sido puestas en el tapete por sociedades enteras, por ejemplo, a partir de la preocupación por los desarrollos nucleares y biotecnológicos y la creciente contaminación de la atmósfera y los cursos de agua. Desarrollar o adaptar tecnología que aporte al cuidado del ambiente es aumentar la dotación de recursos tecnológicos para responder a lo que hoy en día es una necesidad social y sanitaria, remarcada por la Organización Mundial de la Salud.

En el Centro de Investigación en Láseres y Aplicaciones (CEILAP) del CITEDEF se realizan estudios vinculados con el sensado remoto de la atmósfera, actividad que en buen

criollo implica la identificación, medición y análisis de los componentes atmosféricos sin contacto directo, y que permite saber como la composición de la capa menos densa y más externa del planeta es afectada por la contaminación. Una aplicación de la tecnología láser dirigida al estudio de contaminantes atmosféricos es la tecnología LIDAR (acrónimo del inglés *Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*). En el CEILAP existe una división que adapta y utiliza la tecnología LIDAR para detectar densidades de aerosoles, gases, y partículas presentes en la atmósfera. Las variaciones de estas densidades más allá de lo esperado en su dinámica natural están estrechamente ligadas a problemas ambientales.

OZONO, RADIACIONES Y AEROSOL

El CEILAP realiza mediciones medioambientales para seguir de cerca la evolución de llamado agujero de ozono, que en realidad no es un agujero sino una disminución del contenido de ozono de la estratosfera, descubierta a principios de los años '80. El fenómeno es particularmente notable en las regiones polares y más fuerte en la región antártica y está estrechamente relacionado con la intensidad de radiaciones ultravioletas que llegan a la superficie terrestre.

El CEILAP también se ocupa de detectar y medir aerosoles atmosféricos que afectan la capa de ozono. Se calcula que la actividad humana es responsable de alrededor del 10% de la carga total de aerosoles en la atmósfera. Los aerosoles son partículas que están en suspensión en el aire y pueden localizarse en mezclas con componentes atmosféricos en fases líquidas y gaseosas. Son partículas muy pequeñas —de diámetros menores a

100 micrómetros- y provienen de las fuentes humanas –principalmente de la combustión en procesos industriales o de transporte-; de fuentes naturales -por ejemplo el polvo proveniente de zonas áridas y semiáridas o las erupciones volcánicas- o de origen indeterminado –como la quema de pastizales o incendios forestales-. Los aerosoles, cualquiera sea su origen, afectan de manera directa la absorción y dispersión de la radiación solar y funcionan como núcleos de condensación que modifican las propiedades radiactivas y la persistencia de las nubes. Los efectos en la salud humana se deben al hecho de que los aerosoles inferiores a 10 μm pueden ser fácilmente inhalados y por lo tanto son potencialmente dañinos para las funciones tanto pulmonar como cardiovascular.

¿QUÉ ES EL LIDAR?

Un instrumento de gran importancia para realizar las mediciones medioambientales en el CEILAP es el LIDAR, dispositivo que funciona en base a un láser de emisión y opera con principios similares al radar o al sonar. Mientras que el radar es un sistema que por medio de ondas electromagnéticas mide distancias, altitudes, direcciones y velocidades de objetos estáticos o móviles como aeronaves, barcos, vehículos motorizados, formaciones meteorológicas y el propio terreno, el sonar utiliza la propagación del sonido –principalmente bajo el agua- para navegar, comunicarse o detectar otros buques y puede usarse como medio de localización acústica.

Sin pretensiones de detectar aviones, buques u otros objetos de gran porte, el LIDAR funciona aprovechando las propiedades de la radiación láser para detectar objetos de dimensión molecular, pequeñísimos blancos

que sin embargo adquieren gran interés científico. A diferencia de las fuentes convencionales de radiación lumínica, la luz del láser es monocromática, es decir que tiene una sola longitud de onda. Como si esto fuera poco, además la luz emitida es direccionable: diverge muy poco y puede proyectarse a largas distancias sin que el haz se abra o disemine la misma cantidad de energía en un área mayor. Es así que el LIDAR envía pulsos de fotones a la atmósfera con un rumbo determinado. En la atmósfera estos fotones chocan con moléculas de distintos compuestos allí presentes. Al chocar los fotones desvían su rumbo, parte de la radiación dispersada regresa a la tierra y una fracción de ella llega al receptor LIDAR, donde es registrada por un detector. **Sus características hacen del LIDAR una formidable herramienta para hacer observaciones cuantitativas de la atmósfera, por medio de técnicas conocidas como de sensado remoto.** No solo remoto sino también activo. A diferencia de los métodos de sensado remoto pasivo, que utilizan la radiación electromagnética emitida, dispersada o transmitida por una fuente natural a través de la atmósfera, los métodos activos se basan en la radiación emitida por una fuente propia de energía.

MIRANDO AL SUR

La idea de generar un sistema LIDAR en el CI-TEDEF surgió en 1995, cuando el Dr. Eduardo Quel, director del proyecto, analizó junto con el profesor francés Gérard Mégie la posibilidad de instalar un observatorio atmosférico para realizar mediciones de la capa de ozono estratosférico en base a un sistema láser.

Desde la década de 1980 se implementan acciones políticas internacionales para dismi-

El escudo de ozono

Aclaremos de qué hablamos cuando hablamos del ozono. Si como reza un dicho popular, madre hay una sola, moléculas de oxígeno –formas aloméricas en jerga química– hay dos. Una constituida por dos átomos del elemento oxígeno, representada por los químicos como O_2 , conocida como dioxígeno o simplemente oxígeno molecular; y otra menos familiar constituida por tres átomos, O_3 , llamada ozono. El 90% del ozono atmosférico se encuentra en la estratosfera, una capa de la atmósfera que abarca desde los 15 a los 40 kilómetros de altitud. El ozono tiene la propiedad de absorber selectivamente radiaciones ultravioletas. Se encarga de filtrar casi todas las radiaciones ultravioletas de alta frecuencia y deja pasar otras radiaciones ultravioletas que llegan a la superficie y son fundamentales para la vida ya que permiten, por ejemplo, la fotosíntesis vegetal. Pero el ozono tiene dos caras: el héroe de la estratosfera es el villano de la capa más baja de la atmósfera –la troposfera–, donde aproximadamente el 10% del ozono de la atmósfera actúa como un contaminante de primer orden, en especial como “smog” fotoquímico y aporta su granito de arena al “efecto invernadero”.

El ozono se forma a partir del oxígeno molecular por acción de la radiación ultravioleta solar en una reacción reversible que requiere condiciones específicas de presión y temperatura para estabilizarse. La reacción es de ida y vuelta: debido a la presencia de otros componentes químicos el ozono vuelve a su estado natural, el oxígeno y luego, el oxígeno se convierte de nuevo en ozono, en una dinámica continua de formación y destrucción de estos compuestos. Un auténtico equilibrio natural que se altera cuando las actividades humanas aumentan la concentración en la estratosfera de compuestos como los clorofluorcarbonados (CFC) o hidrocarburos que contienen bromo. Estos compuestos forman parte de algunos refrigerantes, solventes o aislantes, y tienen la para nada deseable cualidad de favorecer la transformación del ozono estratosférico en oxígeno. No son los únicos enemigos del sufrido ozono en la estratosfera: los óxidos de nitrógeno provenientes del incesante crecimiento de la actividad agrícola, los constituyentes del ciclo del carbono y los compuestos hidrogenados, se combinan con los derivados del cloro y del bromo para potenciar sus embates contra la capa de ozono y su proceso natural de regeneración.

En 1987 se demostró experimentalmente el papel que los CFC de origen antropogénico tenían en la destrucción del ozono, a partir de una campaña de mediciones aéreas promovidas por la NASA. No todo es culpa del hombre: en la actualidad se acepta que la destrucción masiva del ozono en la primavera antártica ocurre en estrecha relación con las condiciones meteorológicas particularmente frías de la estratosfera polar en invierno y al aumento de los constituyentes clorados, fluorados y bromados como consecuencia de las actividades humanas. Si en el hemisferio norte se realiza la mayor parte de las actividades industriales contaminantes, la disminución de la capa de ozono afecta principalmente a la región polar del hemisferio sur. En la Antártida, durante el mes de octubre el contenido integral de ozono disminuye marcadamente, desapareciendo de manera casi completa en altitudes de 12 a 20 kilómetros. Pero además, en la primavera polar hay un desplazamiento del famoso agujero hacia las regiones pobladas de América del Sur y Oceanía.

nuir la producción y el consumo de las sustancias que afectan la capa de ozono y minimizar así la causas antropogénicas del fenómeno. Restablecer el equilibrio natural del ozono estratosférico no es tarea apta para impacientes: requiere largos años de cuidado del medio ambiente. Y para seguir de cerca el asunto son necesarios monitoreos como los que realiza la División Lidar del CEILAP.

En 1996 construir un sistema LIDAR representaba un verdadero desafío. Había que meterse con una tecnología en pleno proceso de desarrollo. Un LIDAR se compone de un sistema emisor constituido por un láser pulsado, un colector de luz (usualmente un espejo parabólico de superficie más o menos grande); un sistema receptor que está formado por un telescopio y una caja espectrométrica, dispositivo que permite separar las diferentes longitudes de onda y convierte en señales eléctricas los fotones dispersados hacia abajo por la atmósfera cuando el pulso láser va penetrando en ella, y un sistema de registro y de cálculo, que digitaliza la señal eléctrica como una función de tiempo o como una función de distancia desde la fuente de luz.

En el CEILAP el equipo del Dr. Quel construyó un sistema LIDAR para medir perfiles hasta unos 40 km. de altura, que se puso en funcionamiento en 1998. El sistema realizó mediciones en Buenos Aires hasta 2005 con un primer modelo que tenía un solo telescopio de 50 centímetros de diámetro. Después las pruebas se repitieron con cuatro telescopios. Con esta adaptación se cuadruplicaron las posibilidades del instrumento, consiguiendo además un láser de mayor potencia. Fue en aquél momento cuando Francia donó un contenedor preparado para montar un laboratorio móvil con instalación eléctrica y aislamiento térmico incluidos, que podía ser transportado por barco o avión.

Tener un laboratorio móvil abrió la posibilidad realizar mediciones de partículas en la atmósfera de la fría Patagonia Austral, la zona paradójicamente más “caliente” del problema del ozono. Y en este punto entró en escena la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), un organismo oficial del gobierno japonés que ejecuta los programas de cooperación técnica y económica en base a requerimientos de países que están en vías de desarrollo. La JICA se interesó por transportar el laboratorio móvil al sur, más precisamente a Río Gallegos y, previa evaluación, otorgó un subsidio para efectivizar el traslado. La decisión de situar el laboratorio en Río Gallegos es estratégica. Se trata de una ciudad alcanzada por los bordes del agujero de ozono austral que, por otra parte, dispone de un cielo muy claro en la mayoría de las noches del año. Las noches sin nubes no son sólo para románticos: representan un ámbito ideal para los estudios de ozono atmosférico con láser, que deben realizarse después de la medianoche.

El traslado no estuvo exento de complicaciones. El crudo invierno patagónico hizo de las suyas y uno de los camiones que transportaban los equipos se quedó varado cuando atravesaba la provincia de Santa Cruz por la acción de una intensa nevada nocturna. Cuando el laboratorio llegó a Río Gallegos los técnicos descubrieron que era necesario reparar una bomba de agua de uno de los láseres dañada por la congelación. Lo cierto es que, salvados los inconvenientes, el equipo móvil se puso rápidamente en funcionamiento en Río Gallegos. Un emprendimiento fruto de la decisión y empeño de un grupo de científicos argentinos que contó además con colaboración internacional. Argentina aportó buena parte del financiamiento, principalmente en infraestructura y sueldos

Imagen de Futuro: Eduardo Quel

– Si a partir de hoy contara con todo el apoyo y los recursos necesarios: ¿Qué imagina que podría estar desarrollando su departamento en 10 años? ¿Y en 40?

– Los sistemas LIDAR están siendo cada vez más usados en la exploración de la atmósfera, por las enormes posibilidades que tienen en las mediciones de muchos parámetros atmosféricos tales como presencia de partículas contaminantes, su identificación y sus propiedades, el origen de su producción, nubes y sus propiedades, temperatura, contenido de ozono y de vapor de agua en función de la altura, para citar algunos de los más importantes. En los próximos 10 años estaremos desarrollando sin duda este tipo de equipos que tendrán múltiples aplicaciones en todo lo que hace a la exploración de la atmósfera.

En 40 años, los láseres habrán evolucionado hacia los de estado sólido. Su confiabilidad y su potencia serán adecuados para que los instrumentos LIDAR se hayan popularizados y automatizados en grado sumo. Su uso será sin duda muy corriente, y se los verá para controlar la calidad del aire y la presencia de contaminantes diversos, en todos los lugares habitados para que la población respire el aire en forma segura.

El CEILAP Río Gallegos fue creciendo. Al container donado por Francia y la financiación del JICA, se sumó un equipo perteneciente a la red Aeronet de la NASA, para la medición de aerosoles y vapor de agua. La red Aeronet dispone de 500 instrumentos de medición idénticos, llamados fotómetros solares, distribuidos a lo largo del mundo. La NASA se responsabiliza por el mantenimiento y calibración adecuada de los fotómetros y colabora en su instalación. Hay cinco fotómetros solares en la Argentina y dos están en los laboratorios del CEILAP: uno en Río Gallegos y el otro en Villa Martelli. Además, para el estudio de aerosoles el CEILAP desarrolló un sistema LIDAR –técnicamente conocido como LIDAR de retrodifusión- que permite determinar las propiedades ópticas de los aerosoles suspendidos en el aire y su presencia de acuerdo a la altitud. En la sede de Villa Martelli el sistema se usó para determinar contaminación de aerosoles sobre la atmósfera de Buenos Aires en 2008 cuando la ciudad apareció cubierta

de capas de aerosoles originadas por quema de biomasa que habían llegado de lugares tan alejados como Mendoza, Tucumán e incluso del Brasil.

No solo se detectó el producto de la quema de biomasa. El Volcán Chaitén entró en erupción el 3 de mayo de 2008, tras una tranquilidad aparente que según se calcula fue de apenas 9428 años. Ubicado en el cordón Chaitén de la cordillera de Los Andes, el volcán lanzó enormes volúmenes de cenizas en la atmósfera patagónica. Estas cenizas se dispersaron por el territorio argentino afectando la visibilidad, la calidad del aire y la radiación solar incidente sobre el suelo y en pocos días llegaron a Buenos Aires. El CEILAP realizó ensayos que permitieron detectar el origen y composición de las partículas volcánicas y verificar para los días de estudio una disminución significativa de la radiación solar. La relevancia de estos estudios no se restringe a la sola medición de la radiación UV. Su importancia práctica se extiende a la aerona-



▲ Estación LIDAR completa para medición de ozono estratosférico ▼ Estación meteorológica asociada al LIDAR



vegación, por sus efectos de disminución de la visibilidad, y es de interés para la ejecución de modelos climáticos, además del monitoreo de la calidad del aire.

EL PROYECTO UVO3 PATAGONIA

En la actualidad la JICA promueve una nueva campaña en la que participan el CEILAP de Río Gallegos y el Laboratorio de monitoreo de Ozono y Radiación UV de la Universidad de Magallanes de Punta Arenas. El proyecto se denomina UVO3 Patagonia y busca fortalecer de la capacidad de medición de la capa de ozono y la radiación ultravioleta en la Patagonia Austral y su proyección hacia la comunidad. Hay un gran interés de los científicos por conocer el comportamiento del ozono atmosférico: **las mediciones realizadas en la región austral permiten contar con datos para analizar y proyectar el comportamiento de la capa de ozono estratosférica.** También existe un interés político: estos datos permiten evaluar los resultados de las medidas aplicadas a partir de acuerdos internacionales para disminuir la emisión de sustancias que alteren el equilibrio natural de generación y destrucción del ozono en la estratosfera.

Pero no se trata solamente de detectar ozono. El CEILAP de Río Gallegos participa en el Proyecto UVO3 de otras actividades de monitoreo ambiental. El adelgazamiento de la capa de ozono trae como consecuencia el aumento de las radiaciones solares que llegan a la superficie de la Tierra. El planeta recibe naturalmente radiaciones ultravioletas de las formas UV-C, UV-B y UV-A. La radiación UV-C es la más dañina para las personas, pero -afortunadamente- no llega a la Tierra al ser absorbida por el oxígeno y el ozono de la atmósfera. La radiación UV-B es en gran parte

absorbida por el ozono y sólo llega a la superficie de la Tierra en un cantidades mínimas. Esta radiación es la mala de la película: puede provocar un surtido de daños en la piel humana que incluyen el cáncer de piel, envejecimiento, irritación, arrugas, manchas o pérdida de elasticidad y otras patologías como el lupus eritematoso sistémico. Conocer cuanta radiación UV-B llega a la superficie de nuestro planeta permite tomar medidas como evitar la exposición al Sol y adquiere un indiscutible valor sanitario.

El problema preocupaba a los científicos pero también a las autoridades municipales de Río Gallegos. Los científicos del CEILAP tomaron cartas en el asunto y en el marco del proyecto UVO3 crearon un sistema de alerta para los habitantes de la ciudad: un prototipo de solmáforo, para difundir de manera sencilla y muy directa el índice de radiación ultravioleta. Este solmáforo cuenta con 5 niveles de colores, verde, amarillo, naranja, rojo y púrpura. La escala de colores está establecida internacionalmente para divulgación del índice ultravioleta. Cada color refleja un nivel distinto de radiación. **El solmáforo, instalado en la ribera de Río Gallegos, funciona en base a sensores emplazados en la estación del CEILAP que miden y registran periódicamente la radiación ultravioleta.** Luego, un programa interpreta el registro, lo traduce al código de índice ultravioleta y enciende en el solmáforo el color que corresponde. Si no respetar un semáforo en rojo puede causar graves accidentes, ignorar el solmáforo rojo también implica severos riesgos para la salud. El rojo o el púrpura del semáforo solar indican radiaciones tan elevadas que la exposición a la luz solar debe ser atenuada al máximo, utilizando ropas de manga larga, protector

solar con factor mayor a 15, sombrero de ala ancha y gafas UV. O, si es posible, quedándose bajo techo. La instalación del solmáforo formó parte de una campaña que incluyó la realización de programas de fotoprotección y educación relacionada con el ozono y la radiación UV.

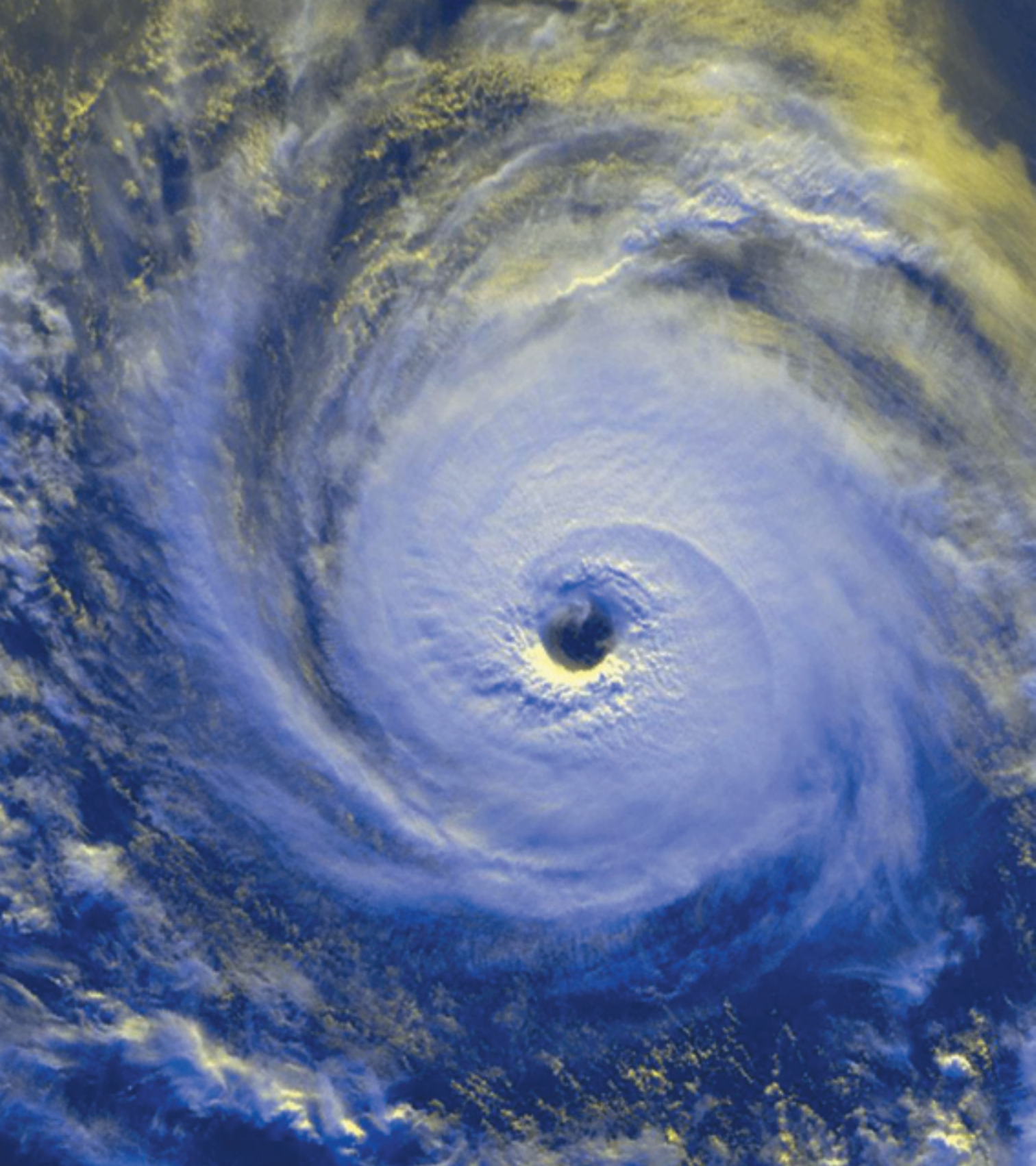
MÁS ALLÁ DEL OZONO

En Río Gallegos el laboratorio del CEILAP mide también la densidad de otros gases y aerosoles. Estos componentes atmosféricos están siendo cada vez más estudiados alrededor del mundo. Atractivos —científicamente hablando, claro— no les faltan: tienen la capacidad de modificar la radiación solar que alcanza la superficie de la Tierra.

En 2009 se instaló en la estación de sentido remoto atmosférico del CEILAP de Río Gallegos un nuevo instrumento denominado ERO-DOAS. Técnicamente, estamos hablando de un sistema desarrollado con el fin de determinar la densidad en columna vertical total de gases trazas atmosféricos, como el dióxido de nitrógeno y otros gases como el ozono. El nitrógeno es un nutriente fundamental para la optimización de la producción agrícola, y se aplica en forma de fertilizantes nitrogenados. Pero es una opción productiva que tiene sus riesgos ambientales: una porción nada despreciable del nitró-

geno aplicado, suele no ser absorbido por las plantas sino que termina contaminando las reservas acuáticas y atmosféricas. Gases nitrogenados como el amoníaco, el óxido nitroso y el óxido nítrico tienen numerosos efectos negativos sobre el medio ambiente. Puntualmente el óxido nítrico aumenta la producción de ozono troposférico y el óxido nitroso disminuye la del ozono estratosférico y aumenta el calentamiento global de la atmósfera. Como si fuera poco el óxido nitroso es estable en la troposfera y tiene un tiempo de permanencia en la atmósfera mayor de 100 años, por lo tanto su efecto como gas invernadero y en la destrucción de la capa del ozono estratosférico afectará a varias generaciones futuras. **Las mediciones que se efectúan con el equipo ERO-DOAS son relevantes a la hora de hacer el inventario nacional de gases de efecto invernadero y pueden servir de punto de partida para confeccionar modelos de comportamiento ambiental.**

Láseres, tecnologías LIDAR, equipos Aeronet o ERO-DOAS, son términos que pueden parecer muy extraños, salvo para un puñado de científicos. Sin embargo, poseer la capacidad de adaptar, desarrollar y usar estas tecnologías adquiere un fenomenal impacto en el cuidado del medio ambiente y, consecuentemente en la calidad de vida de las personas.



▲ Ojo de un huracán



**División Modelado
y Manejo de Crisis**

Preparados para lo peor con lo mejor

Por Marcelo Rodríguez

En la división de Informática de CITEDEF se preparan para esperar lo inesperado de la mejor forma posible. Pero: ¿Cómo saber anticipadamente qué es lo que hará falta? Los modelos que se trabajan en la División Informática permiten crear bases de datos actualizadas que estén disponibles cuando no haya tiempo de prepararlas. Además, por si fuera poco, diseñan un sistema de protección informática requerido por agencias especializadas nacionales e internacionales (ver recuadro).



Ante una catástrofe natural o cualquier otro tipo de emergencia que involucre un área geográfica considerable o que pase al dominio público, suele surgir la imperiosa necesidad de hacer algo para salvar vidas y bienes, y también toma forma la imagen del caos. El ideal de quienes trabajan en sistemas para el manejo de crisis es que al menos, este último ingrediente pueda ser minimizado hasta el punto de no estorbar la respuesta de la sociedad para hacer frente a la situación —una inundación, una epidemia, un sismo, una fuga química, una catástrofe meteorológica— que ya de por sí causa sus propio daño y dejan sus secuelas.

Normalmente las decisiones necesarias para paliar el desastre humano se toman demasiado tarde y de manera incompleta o ineficiente. Y no cabe esperar otra cosa, ya que un desastre de este tipo es justamente un imprevisto. Sin embargo, cuando se analiza qué se hace normalmente ante los imprevistos, se ve a raíz de eso que hay características comunes en las respuestas ante diferentes catástrofes y que muchos de los problemas que se plantean son comunes también. Así se abre una posibilidad de prever al menos cierta parte de ese caos inicial y transformarlo en un sistema y, como se dice en este medio, estar “preparados para lo peor y esperar lo mejor”.

Tal sistema debe soportar grandes condicionamientos: por ejemplo, el 11 de setiembre de 2001 en Nueva York había un sistema de manejo de emergencias, pero estaba en una de las Torres Gemelas. Cualquier sistema debería poder funcionar en condiciones adversas, en un escenario sin agua, con mínima disponibilidad de energía y en medio de un estado general de confusión y desesperación donde permanentemente circula información errónea. La información para tomar decisiones debe estar accesible desde cualquier lugar

pero no ser accesible a cualquiera, debe estar permanentemente actualizada pero no debe poder ser alterada.

En suma, son una infinidad de factores los que debieron tener en cuenta en el área de Modelado y Manejo de Crisis de la Dirección de Informática de CITEDEF cuando comenzaron a diseñar su primer sistema de prueba en 2003. **El instrumento parece de lo más sencillo: un sistema informático basado en una aplicación web a la que pueden acceder desde cualquier computadora los eventuales encargados de dar respuesta a las crisis.** Son ellos quienes decidirán qué hacer: el sistema simplemente pone a disposición de ellos una serie de recursos previamente evaluados según los modelos de crisis y que de otra manera no estarían en el momento ni en el lugar precisos.

Varias versiones de ensayo de este sistema fueron probadas ya a lo largo de 7 años. En 2009 se utilizó en la Ciudad de Buenos Aires una versión de entrenamiento frente a la pandemia de gripe A:H1N1 y desde mayo de este año funciona en el Estado Mayor Conjunto la primera versión de gestión. En aproximadamente tres años, según estima el ingeniero Alejandro Acquesta, a cargo del equipo de trabajo que lo desarrolla, probablemente pueda ser una herramienta que permita hacer realidad el funcionamiento integral del Sistema Federal de Emergencias (SIFEM), un modelo de respuesta de las instituciones del Estado frente a crisis que fue establecido por ley en 1999, pero al que difícilmente sería posible poner en práctica sólo con los recursos técnicos disponibles hoy.

LO PREVISIBLE DE UN IMPREVISTO

Ante un brote epidémico, una inundación, un desastre meteorológico, un sismo, hay carac-

terísticas que se presentan casi siempre. Además de la natural incertidumbre propia de no saber lo que vendrá ni sus consecuencias, hay una demanda urgente de información que los responsables de resolver la situación de crisis (organismos de gobierno, policía, defensa, bomberos, sistema de salud) no siempre tienen a mano.

Las instituciones suelen tener un gran desconocimiento de sus propios recursos materiales y humanos reales disponibles. A veces esa información existe, pero no está al alcance de quienes tienen que tomar las decisiones.

La incertidumbre es mayor aún cuando se habla de los recursos con que cuentan las demás organizaciones. Y ante una emergencia es común –y necesario– que las organizaciones interactúen y se vinculen con otros organismos, con los que para peor tal vez no tengan ningún contacto cuando todo está en orden. El área afectada por el siniestro puede extenderse geográficamente hacia niveles imprevistos involucrando, por ejemplo, diferentes municipios o provincias, o incluso llegando a requerir de la ayuda federal, todo lo cual incrementa la cantidad y el nivel de los actores intervinientes y la necesidad de que se comuniquen entre sí.

También es común que los canales habituales y legales de vinculación entre instituciones se alteren. Algo de eso sucedió durante la gran inundación que asoló la ciudad de Santa Fe en el año 2003. Entonces, el Gobierno provincial solicitó la intervención del Ejército en tareas de colaboración y rescate, cuando normalmente debería haber solicitado la intervención del Gobierno Federal para que éste, a su vez, decidiera si notificaba a Ejército. Según Acquesta, algunos de estos “atajos” administrativos deben ser posibles ante determinadas situaciones de emergencia y, por lo tanto, deberían estar contemplados en el sistema.

Otra dificultad habitual es la circulación frecuente de información contradictoria a la que por otra parte, cada actor accede en forma parcial y casi siempre con intermediarios. La comunicación inter e intrainstitucional se da por diferentes medios, cada cual con sus características. Un ejemplo: un archivo de datos que se envía por e-mail no ofrece ninguna posibilidad de actualización automática. Cuando algún funcionario consulta esos datos para tomar decisiones durante una emergencia, no puede saber si esos datos –la cifra de personas internadas o evacuadas en una localidad, por ejemplo– no han cambiado ya y no se están tomando decisiones sobre la base de datos desactualizados. Lo más frecuente es que de un archivo adjunto circulen siempre diferentes versiones simultáneamente y esto que es tan habitual, cuando se trabaja con información sensible en un contexto de emergencia, puede inducir a serios problemas.

LA GRAN PIZARRA

Con esta problemática como punto de partida, el equipo se puso a trabajar a principios de 2003 con la simple hipótesis de que los decisores habituales podrían actuar más eficientemente en la respuesta a situaciones de emergencia si contaran con mejor información.

El concepto guía del proyecto destinado a solucionarlo es, en apariencia, sencillísimo: una *white board* (“pizarra”) con información actualizada, sin contradicciones y accesible a todos los potenciales centros de toma de decisión ante emergencias. Una función no muy diferente a la que cumple una cartelera de corcho en una sala de operaciones, pero vinculando gente que habitualmente no ocupa los mismos espacios y aún más, no suele tener contacto entre

CITEDEF contra los virus informáticos

Normalmente los sistemas antivirus comparan las secuencias informativas (*strings*) del programa que están analizando, con otras que se encuentran en una base de datos de posibles intrusos. Si encuentran en esa base la misma secuencia de órdenes, declaran “intrusa” a la secuencia bajo análisis: así se detecta el virus informático. Otros sistemas proponen una comparación más “inteligente”, y detectan al programa intruso por similitud, teniendo en cuenta varios patrones o combinaciones de secuencias de datos.

Pero estos sistemas convencionales no son obstáculo para intrusiones más sofisticadas. En la división de Informática de CITEDEF funciona desde 2003 el Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Seguridad Informática, entre cuyas funciones está investigar diversas formas de identificar intrusos —no ya programas, sino perfiles de usuarios— a través de sus patrones de comportamiento. A cargo de este laboratorio está el ingeniero Carlos Benítez, quien explica que la identificación se logra analizando en cada intrusión variables tales como la forma en que fueron utilizados los comandos y, sobre todo, los patrones de tipo: el tiempo que transcurre entre el momento en que se pulsa una tecla y la siguiente, el tiempo que cada tecla se mantiene presionada. **Con esa información se compone un perfil de usuario, ese perfil se almacena en una base de datos y luego, cuando se vuelva a identificar ese perfil, se le bloquea el acceso al sistema.**

La idea no es nueva: durante la Guerra de Secesión estadounidense, expertos de cada bando analizaban las señales radiotelegráficas para deducir si quien las enviaba era la misma persona de siempre o si alguien había tomado el puesto.

Benítez se encarga de aclarar que, en el caso que nos ocupa, identificar un usuario no significa localizar geográficamente a una persona física, sino obtener datos sobre la forma en que actúa en la red para bloquearla ante futuras incursiones suyas. “No tiene nada que ver con identificar a una persona con nombre, número de documento y dirección”, asegura, argumentando que esto último ya era posible hace décadas con sistemas convencionales, tal cual lo comprueba el caso del ex hacker argentino Julio César Ardita, condenado en los EE.UU. en 1998 a tres años de prisión en suspenso y multas por haberse introducido en los sistemas secretos de la NASA y el Pentágono desde la computadora de su casa.

Pero aquellos hackers románticos, que entraban en las computadoras de los grandes centros de poder por el puro orgullo de demostrar su vulnerabilidad, son cosa del pasado. Hoy la seguridad informática se halla sujeta a ataques muy sofisticados y de enorme magnitud. Y al menos en las dependencias estatales, donde se maneja información sensible, considera Benítez, el tema no puede ser confiado a un antivirus o *firewall* comercial, como se llama a las barreras antivirus que se instalan en las computadoras caseras.

El proyecto de estudiar la identificación de perfiles de usuario en CITEDEF está centrado en el desarrollo de un marco teórico y un *know how* que permita desarrollar sistemas en el futuro y cuenta actualmente con financiamiento de la Agencia Nacional de Promoción Científica. Hasta 2007 habían mantenido una línea de trabajo conjunto con especialistas informáticos del Pentágono estadounidense, lo que se tradujo en una serie de *papers* publicados mayormente en diversas ediciones del Congreso Iberoamericano de Seguridad Informática (CIDS) y otros eventos académicos, señala Benítez.

Ciertos patrones de comportamiento de un usuario pueden volverse tan distintivos como las huellas dactilares, pero no existe mucha información disponible a nivel público sobre cómo diseñar sistemas capaces de aprovechar esta particularidad en el bloqueo del acceso de intrusos. Esto tal vez permita además detectar la peligrosidad de la intrusión, porque distingue entre los llamados *script kiddies* o pequeños hackers inofensivos que sólo buscan bajar programas, de los hackers avanzados o “de elite”. Una vez identificado el perfil, bloquearlos es fácil.

En la etapa de trabajo conjunto con los estadounidenses, una de las estrategias era valerse de “honeypots” —“potes de miel”—, redes usadas como señuelo para atraer intrusos y monitorear sus actividades para elaborar sus perfiles. La importancia de trabajar con el Pentágono, además del financiamiento que les brindaba, era que los sistemas de esta institución “son el *honeypot* más grande del mundo —dice Benítez—: todos quieren hackearlos y son por lo tanto el blanco de los ataques más avanzados y sofisticados, por lo que saber qué les hacen hoy a ellos es saber lo que nos van a hacer a nosotros dentro de diez años”.

sí y tiene diferencias importantes de códigos, de rutinas, de jergas, de formación y de cultura institucional.

Acquesta explica que en inteligencia artificial, la coordinación de agentes mediante el concepto de “pizarra” requiere dos reglas básicas. La primera es que cuando un agente toma conocimiento de algún dato sustancial, lo escriba en un espacio accesible a todos. La segunda es que cuando un agente tiene que tomar una decisión no tenga que acudir a sus canales habituales de búsqueda de información, sino que directamente, y como primera opción, acuda a ese espacio común: la pizarra. En la práctica, esto acorta los tiempos de toma de decisiones y libera a los actores de la necesidad de saber con cuanta gente está operando.

Con esta forma de acceso a la información precisa y segura por parte de todas las instituciones adheridas al sistema, se podrían evitar los problemas que surgen de la estructura serial de la información, que facilita la estructura de juego del “teléfono descompuesto” en la que siempre hay instancias intermedias capaces de agregar ruido, contradicción, cortes y recortes al canal. Independientemente de la calidad de los recursos humanos que conformen la cadena de información, los ingenieros saben que, como en toda cadena, la fortaleza del conjunto es igual a la de su eslabón más débil y que un buen sistema puede minimizar las fallas humanas restándoles la posibilidad de que ocurran.

El ejemplo de la inundación santafesina de 2003 está muy presente en la Dirección de Informática de CITEDEF porque fue prácticamente simultánea al comienzo de las actividades del área de Modelado y Manejo de Crisis, y justamente uno de los aspectos que destacan es que la crecida del río había sido anunciada 22 días antes por el Instituto Nacional del Agua,

pero esa información no había llegado a las instancias decisorias del gobierno provincial: “Ahí se vio claramente la importancia de tener un buen sistema de manejo de crisis”, dice ahora Acquesta.

ABARCAR MUCHO, APRETAR POCO

A esta altura queda claro que la “pizarra” es ni más ni menos que una aplicación web con acceso sencillo desde cualquier computadora en cualquier lugar físico para todos los integrantes de la red de instituciones de la sociedad que deberían dar respuestas frente a emergencias y que deberán estar permanentemente interconectados a través de ella. La institución del Estado que administre la red otorgaría el acceso a ella en función de un plan previamente coordinado o bien en el momento de la eventual emergencia.

De esta red formarían parte tres categorías de integrantes: los capaces de dar aviso—los institutos de epidemiología, el Instituto Nacional de Prevención Sísmica, el Instituto Nacional del Agua, el SEGEMAR, el Servicio Meteorológico Nacional, el INDEC con las cifras de población de cada lugar, y otros que integran el Consejo de Información Primaria, por ejemplo—, los que toman las decisiones políticas y los que coordinan a las fuerzas vivas que darán respuesta a la situación (Defensa Civil, hospitales, bomberos, policía, Fuerzas Armadas, ONGs de voluntariado en caso de que sean necesarias, etc.).

El refranero popular asegura que “el que mucho abarca, poco aprieta”, y el equipo de trabajo lo adoptó: el sistema debía justamente poder prestar ayuda frente a un muy amplio rango de emergencias posibles, y especializar demasiado sus funciones terminaría por transformarse en una falencia (además de ser imposible, por definición, especializarse “en todo”).

Imagen de Futuro: Alejandro Aquesta

–Si a partir de hoy contara con todo el apoyo y los recursos necesarios: ¿Qué imagina que podría estar desarrollando su departamento en 10 años? ¿Y en 40?

–Si se dieran ciertas hipótesis que manejamos sobre el futuro como el calentamiento global o el aumento de la población global entre otros, podemos predecir que habrá más emergencias, más extremas y más frecuentes, afectando a más personas, en un ambiente más tecnológico y conectado, en un entorno de escasos recursos naturales. En ese caso el Departamento de Modelado y Manejo de Crisis en 2020 brindará asesoramiento y apoyo tecnológico al Ministerio de Defensa en la participación en operaciones de defensa civil tanto en nuestro país como en operaciones internacionales de ayuda humanitaria, se convertirá en referente nacional, en temas de organización de respuesta multiagencial ante emergencias, nuestros sistemas permitirán conocer la ubicación y estado de cada vehículo y de cada agente participante de la respuesta a emergencias, entre otros aspectos.

Para 2050 los sistemas de manejo de crisis, estarán conectados a todas las redes de sensores que monitoreen ciertas amenazas naturales o antropogénicas en el país y por lo menos, en Sudamérica, mediante sensores remotos ubicados en satélites, boyas, sismógrafos, detectores de incendio, etc. El sistema de manejo de crisis estará disponible en dispositivos personales de altísima capacidad de procesamiento, bajo consumo y alta interconexión con las redes satelitales y terrestres, y podrán ser usados de manera autónoma o desconectada de la red, se construirán algoritmos para optimizar uso de los recursos, planificar operaciones, reducir vulnerabilidades, y optimizar planes y procedimientos ante emergencias, entre otros avances.

Necesidades como las de coordinar logística para trasladar personas y bienes, intercomunicar a los organismos intervinientes con las características mencionadas o disponer medios materiales incluyendo donaciones y voluntariado, son comunes a cualquiera de las potenciales situaciones de emergencia. Por otra parte, los primeros momentos de una emergencia suelen ser a la vez los de mayor incertidumbre y los más decisivos a la hora de salvar vidas y bienes. Para ayudar a tomar decisiones en esos momentos son vitales los modelos matemáticos de crisis.

Estos modelos prediseñados establecen diferentes escenarios hipotéticos ante diversos problemas: cómo evoluciona epidemiológicamente una determinada enfermedad, en una población con una determinada cantidad

de habitantes, en determinadas condiciones; o cómo afecta un sismo de determinada intensidad en una población X, cuánta gente sería necesario evacuar en el contexto más favorable o menos favorable. Estos datos pueden ser útiles para al menos prever qué recursos pedir y cuáles serían innecesarios, a quiénes dar aviso o qué área puede llegar a verse afectada, antes de contar con datos más certeros y reales.

El sistema, entonces, debe ser un zapato que no apriete en ningún punto y que respete en lo posible todas las culturas organizacionales; lo específico, en cambio, estará dado por estos modelos, que justamente estarían disponibles en el sistema. Algunos de estos modelos ya han sido elaborados o perfeccionados respecto de los existentes, como el de prevención sísmica

o el de contaminación ambiental por tóxicos químicos. El proyecto es desarrollar otros en colaboración con universidades y organismos estatales de expertos.

Como parte del sistema general, esa “pizarra” donde la información que cada institución vuelca está georreferenciada (referida a áreas geográficas específicas, para que en cada lugar e pueda disponer de los datos correspondientes) es importante también el “efecto sinérgico”, que ocurre cuando el todo resulta ser más que la suma de partes aisladas. Las incoherencias en la información primaria pueden ser discutidas, pero es importante que aparezcan para poder hallar solución.

La solidaridad de la población que se manifieste a través de donaciones y ofrecimientos de voluntariado, también debe ser administrada a través del sistema a fin de que no se conviertan en un factor de confusión o de desperdicio de recursos. Los ofrecimientos deben ser registrados para que sean las instancias decisorias las que conozcan su existencia y dispongan de ellos sólo en la medida de lo necesario.

EN MARCHA

Antes de la puesta en marcha del sistema se decidió ponerlo a prueba mediante una versión de entrenamiento, que permitió simular grandes emergencias para obtener de ellas la experiencia necesaria para la previsión, y testear la capacidad de respuesta de las organizaciones oficiales.

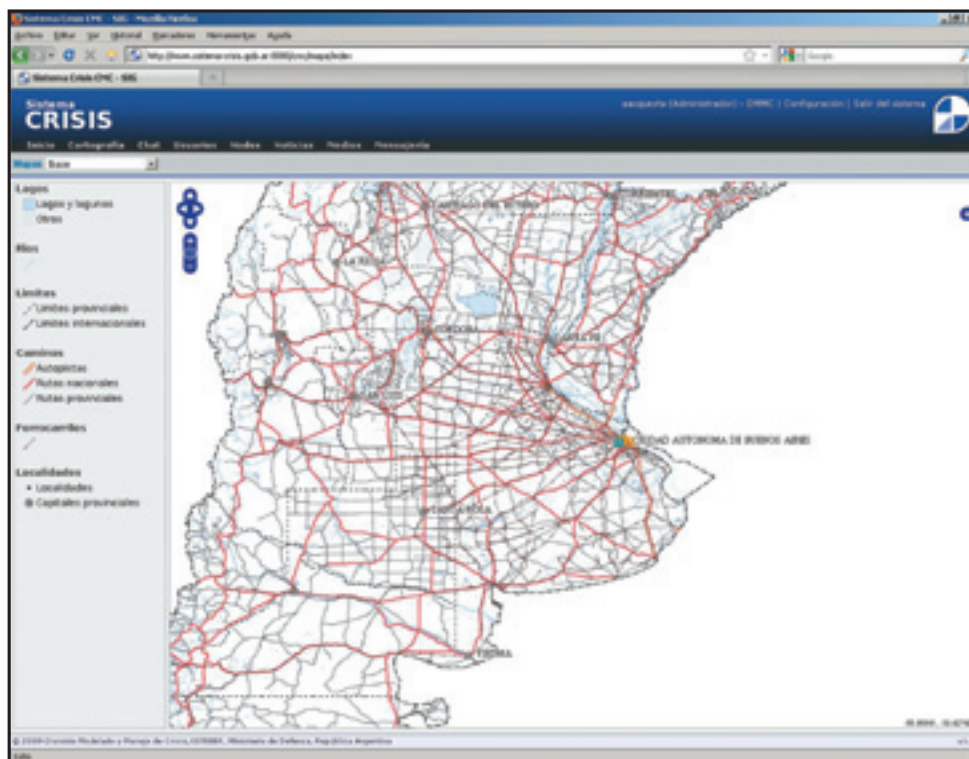
Hubo en total cinco simulacros, algunos de ellos organizados incluso con organismos externos como la ONU y los gobiernos de los EE.UU., Bolivia, Chile y Perú. Así se llegó a descubrir, por ejemplo, que ante la eventualidad de un terremoto en Salta sería más eficiente hacer llegar la ayuda

por tierra desde Bolivia que por vía aérea desde Buenos Aires. En este simulacro, realizado en octubre de 2007 y en el que se clausuró un puente para comprobar las consecuencias del hecho a nivel logístico, participaron la Policía salteña, el servicio de emergencias médicas provincial, la carrera de Comunicación de la Universidad Nacional de Salta y organismos de Defensa de Bolivia. “Pocos meses después —cuenta Acquesta— una crecida del río se llevó el mismo puente que habíamos cortado para simular el siniestro y las instituciones que se habían conocido durante el ejercicio se asociaron de manera bastante eficiente”.

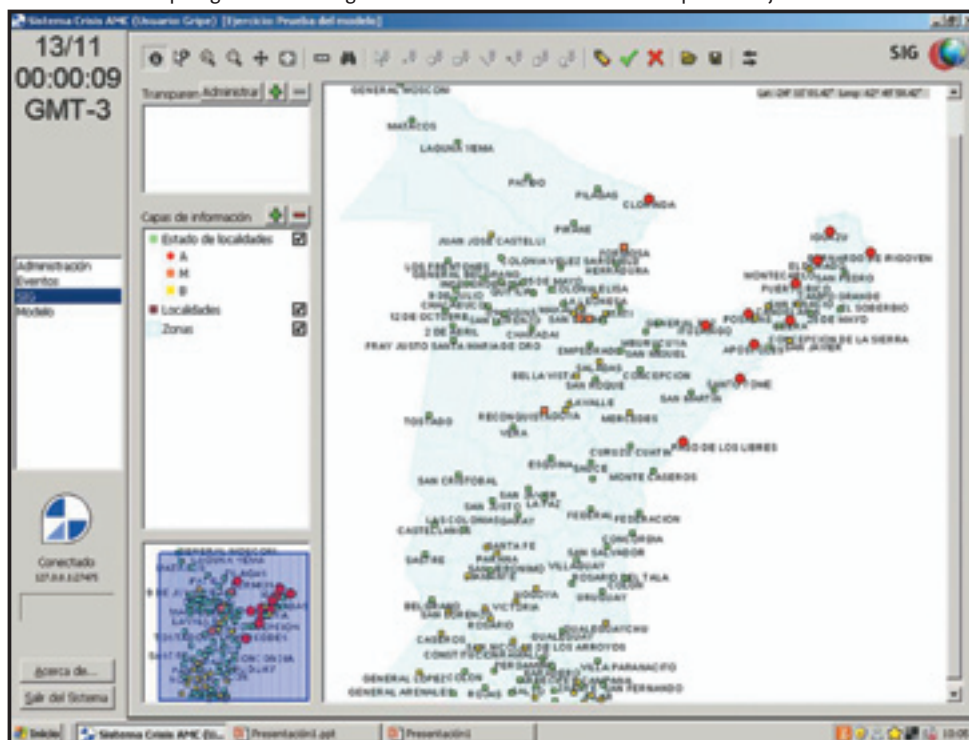
Con la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires y financiamiento oficial se comenzó a trabajar en 2008 en modelos de pandemias y accidentes químicos, en un proyecto que involucró a casi todos los ministerios del Gobierno Nacional. Se simuló un modelo de gripe aviar y se pusieron a prueba las herramientas institucionales, el acuerdo de cooperación binacional entre los ministerios de Defensa de Argentina y Chile y el Plan Nacional de Pandemias.

Acquesta relata que cuando seis meses después apareció en México el virus A:H1N1, el Ministerio de Salud de la Nación les solicitó el sistema con el modelo de respuesta frente a pandemias: “Si bien llevábamos seis años haciéndolo funcionar y confiábamos en su robustez, se trataba sólo de un sistema de adiestramiento —recuerda—. En ese contexto de imprevisibilidad, donde no se sabía si iba a tratarse de algo inofensivo o de una plaga como el Ébola, nos consta que la gente del Ministerio se preparó como para una plaga de gran magnitud”.

Se usaron un máximo de 30 terminales, en el ámbito de la ciudad de Buenos Aires. Así fue posible coordinar las cabezas de los ministerios



▲ Sistema CRISIS para gestión de emergencias ▼ Sistema de adiestramiento para manejo de CRISIS



para lograr una respuesta integrada. Las autoridades podían cotejar la aparición de nuevos casos con las suministradas por las autoridades sanitarias, que a la vez contaron con información permanente sobre los escenarios posibles de evolución de la gripe. Como resultado de la experiencia, hubo modificaciones en el Plan Nacional de Pandemias para adaptarlo a dar mejores respuestas.

Un lugar común llevaría a pensar y decir que para que estos sistemas funcionen, “es preciso un cambio de cultura”. Tal vez sea así, pero por ahora, la tarea es diseñar un sistema para que funcione en el entramado de culturas de aquí y ahora y sin que cueste demasiado implementarlo, porque sólo así tendrá verdadera utilidad. El camino a recorrer es largo, pero los pasos parecen firmes.





▲ CP 30: Tubo lanzador de los módulos con base de conexión de cohetes

▼ Tiro de Pampero con Cohetera Yaguareté

▼ Tiro de CP 30. Magdalena, Buenos Aires. 2010-10-01



**Departamento
de propulsión**

Volando al futuro

Por Matías Alinovi

El desarrollo en cohetaría no es un lujo para una nación si no una necesidad. Más allá de los obvios usos bélicos, son los cohetes los que permiten instalar satélites en el espacio entre otras cosas. Gracias a la investigación en el Departamento de Propulsión no sólo el dinero que antes se usaba para la compra de tecnología en el extranjero queda en casa sino que además se siembran las semillas de un conocimiento que será cosechado por décadas.



El departamento de Propulsión de CITEDEF dispone de las capacidades necesarias para el desarrollo de sistemas de coherencia y misilísticos. Ciertamente, su contribución a la dilatada historia de la institución, que se remonta a la década del '50, no es nueva. Para comprobarlo basta con recorrer la exposición a la entrada del galpón central. Ahí está expuesto el testimonio escalonado de sus logros técnicos: las lanzadoras colocadas en aviones y helicópteros; el cohete SAPBA, de 127 milímetros; los cohetes como el Pampero y el Albatros; las muestras de los blindajes cerámicos, los insertos de grafito; el primer misil argentino, el Martín Pescador, desarrollado en CITEDEF: un misil aire-superficie pensado para la Armada y diseñado para su empleo en aviones (más tarde, como el alcance del misil era escaso para los requerimientos operacionales, dio lugar al AS-25k, que permitió disparar a 25 kilómetros de distancia); y también el misil francés Roland, que equipaba los sistemas de defensa aérea del Ejército y de la Fuerza Aérea Argentina: cuando se agotó su vida útil, el Departamento de Propulsión trabajó exitosamente en el desarrollo de un misil que pudiera ser utilizado en el lanzador original; este misil se llamó Halcón.

Los avances de los desarrollos de coherencia se dan por etapas, y por la convergencia de distintas aptitudes organizadas en torno a un proyecto. Y un proyecto conduce naturalmente a uno nuevo. Por eso el departamento trabaja en la decidida colaboración con otros departamentos, que es propia de la organización matricial de CITEDEF. Típicamente, el diseño de un cohete en el departamento de propulsión exigirá el desarrollo del propulsante por parte del de química aplicada.

Específicamente, el departamento de química aplicada colabora además con el de pro-

pulsión en los estudios de vida útil del material. Puede ocurrir que las Fuerzas Armadas dispongan de sistemas cuyos componentes electrónicos o mecánicos funcionen correctamente, pero cuyos materiales pirotécnicos hayan expirado por la degradación propia de los elementos que lo componen. Lo que se hace, en ese caso, es un estudio de vida útil para constatar que los parámetros del misil, en especial los correspondientes a su motor, están aún en condiciones similares a las que tenía originalmente o, al menos, que cumpla las condiciones operativas y de seguridad requeridas para un disparo efectivo y seguro. El misil se transporta hasta el banco de ensayos que CITEDEF tiene en Villa María, en la provincia de Córdoba y allí se efectúa un disparo 'en banco', que permite obtener una curva de empujes y de presiones que puede diferir, o no, de la original.

LA ESTRUCTURA

En Propulsión trabajan unas treinta personas, distribuidas en divisiones. Están quienes se ocupan de la balística exterior y la aerodinámica de los vectores, que es lo primero que se estudia en función del objetivo: lograr un determinado alcance, con determinado grado de precisión. También, quienes se ocupan de la balística interior, que incluye, entre otros aspectos, el diseño del grano propulsante, la tobera y las protecciones térmicas. La división de estructuras desarrolla los sistemas lanzadores y sus plataformas. En todas las etapas, el desarrollo es asistido por los especialistas de la División cálculo, que haciendo uso de poderosas herramientas informáticas de simulación, verifican y validan los avances alcanzados por las diferentes divisiones, antes del pasaje a la etapa de fabricación de prototipos. La división de Pulvimetalurgia y

La cohetera SAPBA

En la noche del 10 de mayo de 1982, mientras navegaba hacia el puerto de Goose Green, el *Isla de los Estados*, un buque argentino que participaba del conflicto bélico en las Islas Malvinas, recibió varios impactos de los cañones ingleses, uno de los cuales hizo volar el puente de mando, y se hundió. A bordo iban veinticinco tripulantes. Entre los que murieron se encontraba un ingeniero militar, el Mayor Sergio Novoa, y un mecánico, el suboficial Víctor Benzo. Novoa y Benzo, dos integrantes de CITEDEF, habían abordado el buque hacía apenas dos horas. Cumplían una misión: transportar a las islas la cohetera SAPBA –sistema de armas proyectiles balísticos autopropulsados– desarrollada contra reloj en CITEDEF. Novoa estaba destinado en el Departamento de Propulsión, y junto con Benzo debían operar la cohetera.

materiales compuestos se ocupa del diseño y el desarrollo de los materiales especiales que son empleados en la conformación del motor cohete. Finalmente, la división de ensayos operativos está organizada y capacitada para la realización de ensayos en el terreno, con disparo en condiciones reales.

Los militares en la estructura del departamento son el Jefe del Departamento –el Coronel Juan Carlos Villanueva, ingeniero militar especializado en armamentos y veterano de guerra de Malvinas–, y el Capitán Raúl Marino, que se incorporó en 2010 con un doctorado en Ciencias de la Ingeniería del Instituto Balseiro. Los otros veintiocho integrantes son ingenieros mecánicos, aeronáuticos, licenciados en química, doctores en cálculo, técnicos, mecánicos, ingenieros electrónicos y estructuralistas de gran experiencia, que han estado involucrados en diversos proyectos anteriores. Todos ellos pueden abocarse a los aspectos puramente técnicos de su tarea gracias al invaluable trabajo de apoyo de las dos empleadas administrativas del departamento. Hace algunos años, regularmente ingresan pasantes al departamento, que suelen ser ingenieros mecánicos recién egresados.

PROPULSANTE SÓLIDO VERSUS PROPULSANTE LÍQUIDO

Básicamente, un cohete es una tobera por la que circula un flujo de gases –los que se desprenden de la combustión del grano propulsante– que primero se comprimen y luego se expanden a gran velocidad a través de la tobera. La expansión genera un empuje que impulsa al vector por reacción. Pero si por la tobera circulan gases a temperaturas altísimas, capaces de fundir los metales comunes, el cuerpo del cohete requiere disponer de una protección térmica entre el grano propulsante y el tubo metálico que lo contiene. Sin esa protección, el metal simplemente se fundiría y el cohete colapsaría. Esas protecciones se desarrollan y fabrican integralmente en el mismo departamento de propulsión, a través del moldeado, trabajado y el conformado de determinadas fibras –mica, fibra de vidrio– que recubren el interior del cuerpo y partes de la tobera. De esos materiales se dice que son ablativos: a las temperaturas que deben soportar –del orden de los 2000 grados centígrados en la zona de la salida de los gases– paulatinamente se consumen sin fundirse y sin perder sus caracterís-

Los grupos de artillería

Si una batería son seis lanzadores —el lanzador es el camión con 27 cohetes— una unidad completa son dieciocho lanzadores. Una batería supone entonces seis camiones lanzadores. Dieciocho camiones forman un grupo de artillería, elemento orgánico de apoyo de fuego de la artillería de la mayoría de las Fuerzas Armadas. Su misión es proporcionar apoyo de fuego a las unidades de combate como la infantería o los blindados. Su eficacia se valora en términos de la capacidad de saturación de determinada superficie del campo de combate, ‘zona batida’ de la artillería en cuestión. Si se dispara en ráfaga con los 18 camiones del grupo de artillería, se obtendría una ‘zona batida’ de varios kilómetros cuadrados, lo cual significa una muy importante capacidad de apoyo para los elementos de combate mencionados. Esa medida es la que se toma como unidad para estimar el apoyo necesario.

ticas físicas. En la zona más abrasiva del cohete, la de la garganta de tobera y divergente, se inserta un anillo de grafito —que no se funde hasta los 4500 grados centígrados— que aísla térmicamente el dispositivo, y que también se desarrolla en el departamento.

Los cohetes que se diseñan en CITEDEF utilizan propulsores sólidos, que suelen asociarse con las aplicaciones militares. En general, los combustibles líquidos son empleados en vectores que salen de la atmósfera y que requieren otras prestaciones. Pero aunque la cohería suele asociarse al uso militar, CITEDEF trabaja en cohetes de uso dual: ha desarrollado dispositivos específicamente militares, pero también cohetes sonda de propulsor sólido.

En diciembre del año 2009 se lanzó desde la localidad de Serrezuela, en la provincia de Córdoba, cerca de la frontera con La Rioja, el Gradicom PCX-2009, que alcanzó unos treinta y cinco kilómetros de altura, un cohete sonda de propulsor sólido.

Esos desarrollos son posibles porque la institución trabaja, desde hace algunos años, en la transición del empleo del propulsor homogéneo, con pólvoras bíblicas, a los propulsores compuestos, es decir, a propulsores que utilizan perclorato de amonio, aluminio y

aglutinantes como componentes principales. El valor agregado de desarrollar la cohería de propulsor compuesto ha sido, justamente, el de obtener y disponer del know-how y la experiencia suficiente en este tipo de propulsores. La diferencia entre el compuesto y el homogéneo es que a igualdad de diámetro del vector y masa de propulsor, se obtienen valores de ‘empuje’ mucho mayores, que redundan en alcances superiores.

El propulsor líquido, en general, supone una complejidad mayor, y los costos de la fabricación de un motor que utiliza combustible líquido son decididamente mayores. La aplicación militar, por ser demandante en grandes cantidades del producto, requiere mayor simpleza y menores costos. Dominando la tecnología del propulsor compuesto, la incomparable ventaja del propulsor sólido es que no es más que un motor de combustión, es decir, un grano diseñado con un patrón determinado para que se quemara siguiendo una curva determinada; y el cohete obtiene el empuje a través del efecto de la tobera.

El propulsor líquido puede resultar indispensable para los empleos requeridos por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y sus presumibles proyectos a largo

plazo. **Hoy, para poner sus satélites en órbita, la Argentina debe rentar un sistema lanzador. Un proyecto ambicioso, a mediano plazo, es el de construir lanzadores propios.** Esos lanzadores, desde luego, utilizarían combustible líquido. Aunque CITEDEF y la CONAE no trabajan –todavía– en conjunto para obtener a mediano plazo la capacidad propia para colocar satélites en órbita, es seguro que en ambas instituciones hay capacidades que podrían potenciarse y permitirían llegar a buen puerto.

LOS GRADICOM

Dijimos que en 2009 se lanzó el Gradicom PCX-2009, un cohete sonda de propulsante sólido. Mediante ese lanzamiento, sin embargo, no se buscó que el vector cumpliera las funciones propias de una sonda, sino que sirvió para poner a prueba el motor y obtener los parámetros de su funcionamiento, para entonces sí, a partir del ensayo, lograr que se convierta en el motor de un vector futuro. El motor del Gradicom es de dimensiones importantes: mide unos 320 milímetros de diámetro y pesa casi 400 kilogramos.

De allí surgió el proyecto del Gradicom II, impulsado por el departamento de química aplicada, una sonda que se lanzaría a fin de año buscando mayores alcances: superaría los cien kilómetros de altura. El nuevo desafío supone colocar en el vector la telemetría que permita sensar su trayectoria y obtener todos los parámetros necesarios del vuelo. Además, el Gradicom II podría ser guiado.

Hacía muchos años que no se hacían lanzamientos en el país y volver a lanzar un vector importante fue, previsiblemente, un acontecimiento que probó varias cosas. En particular, que una determinada capacidad se conserva,

y que los cohetes de aplicación dual forman parte del *background* científico de la nación. Si la idea de las nuevas políticas científicas es recomponer capacidades, el lanzamiento es auspicioso. Sin duda, nuevos investigadores darán continuidad a los proyectos, y contribuirán a la recuperación de capacidades científicas cuyo uso, más allá de las aplicaciones bélicas, deberá dictarse a través de las políticas de estado.

LOS MOTORES

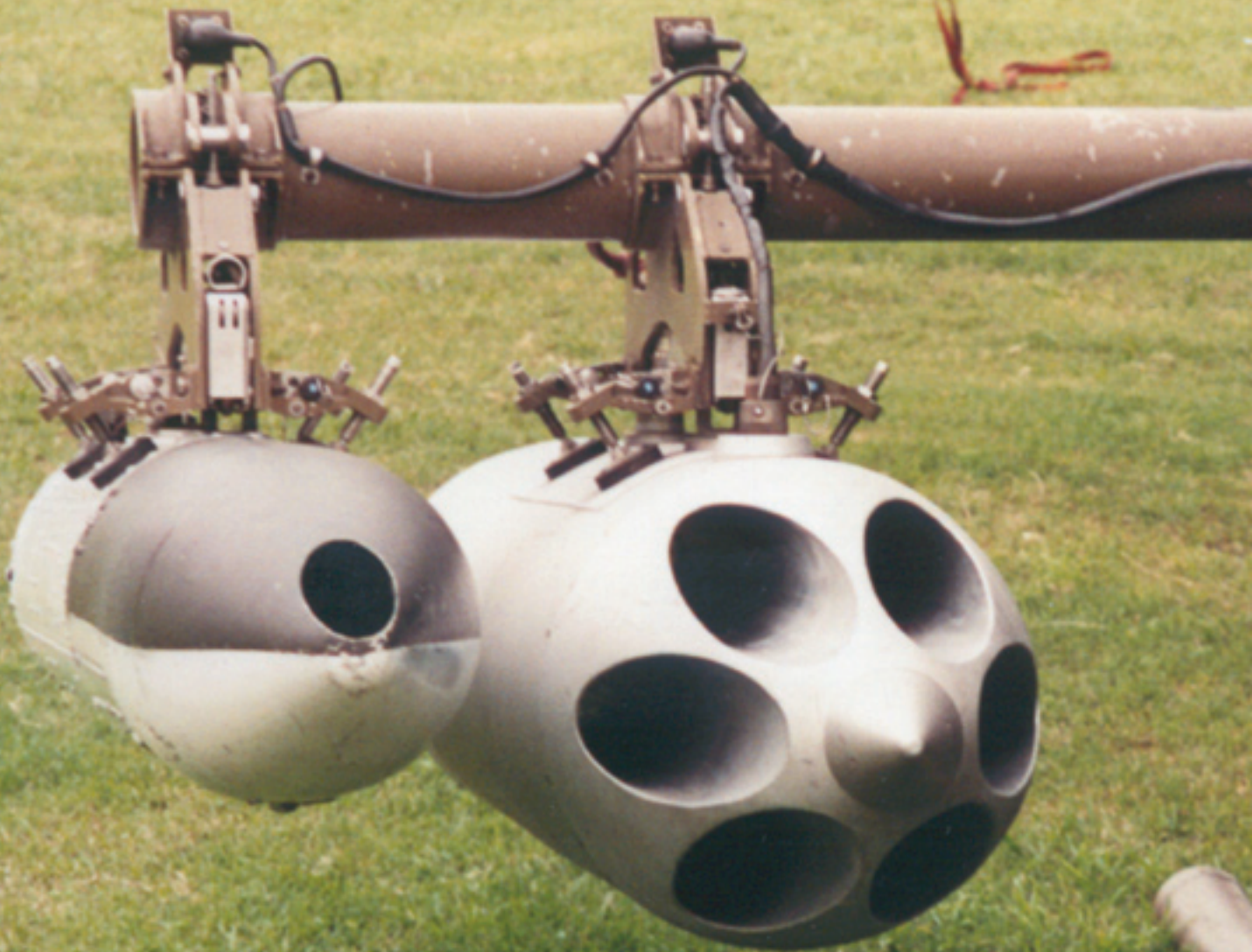
Cuando se habla del motor de un cohete, se está haciendo referencia al cuerpo del motor, el grano y la tobera, en conjunto. El grano, que es el combustible del cohete, se quema, y al quemarse las presiones aumentan, hasta alcanzar el orden de los 180 kilogramos por centímetro cuadrado. Por la acción de los gases del grano al quemarse, se genera un efecto de empuje, que impulsa al vector.

El grano propulsante suele diseñarse de acuerdo a un patrón de quemado que puede no ser lineal. Es posible, por ejemplo, diseñar una geometría de estrella de quemado cuya sección disminuya paulatinamente hasta alcanzar la forma de un cilindro. Como la generación de gases depende de la superficie de quemado, una estrella cuyos dientes gradualmente desaparecieran permitiría un patrón de quemado variable. Al alcanzar la forma cilíndrica, el quemado volvería a ser regular.

Típicamente, se buscará que al principio el vector salga con gran empuje, con mucha energía, y que después el propulsante se quemara de manera regular. En ese caso, la curva de presiones en el tiempo alcanza un pico de presiones y luego forma una meseta.

En general, los cohetes aceleran en la etapa inicial del vuelo. Un cohete cuyo tiempo de vuelo se estima en cien segundos puede, por ejem-

▼ Soporte largo para dos sistemas de armas. Spot de ametralladora 762 y cohetera Yaguararé para cohete Pampero 105 mm



plo, quemar su propulsante en sólo seis. Como el patrón de aumento de la velocidad tiene relación con el quemado del grano, podría pensarse que un cohete es propiamente un vector impulsado por la energía de los gases a través de la tobera sólo al principio del vuelo; al finalizar el tiempo de quemado, se transforma en un proyectil balístico, un objeto que sigue una trayectoria porque ha sido impulsado al partir; como cuando tiramos con fuerza una piedra.

Como el departamento de propulsión estudia, en este momento, un proyecto de sistema de cohetes de artillería de mayor alcance, el desafío técnico es dar a la trayectoria balística algún tipo de sistema de control que permita variar la trayectoria. Es decir, desarrollar algún sistema que logre sensar las variaciones de la trayectoria real respecto de la originalmente prevista y aplicar las correcciones necesarias para que el vector se vuelva a ‘montar’ sobre la trayectoria original. Para ello se requiere disponer de complejos sistemas de guiado y control que deben colocarse sobre el vector.

Pero un cohete que dispone como agrega-do un sistema de control de su trayectoria pasa a ser considerado en la categoría de los misiles. Y como dijimos, ese cambio en la trayectoria balística se logra a través de sistemas de guiado y superficies de control. Si bien la historia de CITEDEF nos muestra las capacidades alcanzadas en este tipo de misiles (Martín Pescador, AS 25K, Halcón, etcétera), los desarrollos actuales están orientados a cohetes que no presentan sistemas de guiado y control, sino que son puramente balísticos. A lo sumo, unas aletas en la parte posterior le imprimen una cierta rotación al vector y le otorgan estabilidad en el vuelo. Cuando se lanza un objeto esbelto, es necesario imprimirle una rotación sobre su eje longitudinal para alcanzar la estabilidad.

EL CP 30

El sistema CP 30 –CP por las siglas en inglés de propulsante compuesto y 30 por los kilómetros de alcance del vector– es un proyecto del Ejército que emplea un camión lanzador con una grúa autoportante. La grúa tiene por finalidad levantar unos módulos lanzadores donde se disponen los cohetes, e instalarlos sobre la plataforma de tiro para disparar, de forma tal de facilitar y agilizar el proceso de recarga del sistema. Cada módulo lleva nueve cohetes, y sobre la plataforma pueden montarse tres módulos. Es decir que cada camión lanzador cuenta con 27 cohetes: tres módulos de nueve.

Básicamente, una vez disparada toda la carga del sistema, el camión reemplazará los módulos disparados con módulos cargados, operación que puede realizarse en pocos minutos y constituye una de las principales ventajas de los sistemas de artillería de cohetes frente a la artillería convencional de tubo. El sistema lanzador tiene, además, una computadora balística que permite la automatización del tiro por parte de los operadores.

Si se compara con la artillería de campaña convencional –cuya principal limitación es su poca movilidad, ya que se debe emplazar el cañón, disparar un proyectil y volver a cargar el cañón para lograr así, tal vez, dos disparos por minuto– la cohetería presenta varias ventajas. En particular, el sistema CP 30 permite decidir si disparar un cohete o una ráfaga. Los 27 cohetes, por ejemplo, pueden dispararse en dieciocho segundos. A treinta kilómetros, ese disparo en ráfaga genera, sin duda, una saturación muy importante. Pero además, una vez que se ha disparado, el camión permite abandonar la posición inmediatamente y evitar así el fuego contra la batería. En pocos minutos los módulos son reemplazados y el

La distancia y la guerra moderna

¿Por qué, en términos de la estrategia militar, se busca disparar cada vez más lejos? ¿Por qué empeñarse en desarrollar cohetes con alcances cada vez mayores? Porque es un hecho de la evolución histórica de los conflictos que la distancia entre oponentes en el campo de batalla aumenta. Las guerras del medioevo ocurrían hombre a hombre; el alcance de la arquería, y luego el del fusil, impusieron una primera distancia. Hoy se dispara a kilómetros del blanco. Quizás la pregunta por la distancia surge ingenuamente cuando se piensa en disparar para intervenir. Si, por ejemplo, imaginamos que inmediatamente después de la saturación debe, necesariamente, ocurrir la intervención de la infantería, disparar a distancias mayores supondría dificultades mayores de intervención. Pero la artillería no busca saturar el terreno para intervenir directamente, sino para disminuir la voluntad bélica del enemigo, o incluso disuadirlo, a las mayores distancias posibles. Las políticas de la defensa nacional apuntan naturalmente a generar una capacidad de disuasión que desaliente las agresiones de potenciales enemigos. Así es como debe entenderse la voluntad de disparar cada vez más lejos: como parte de una política disuasoria, y no de agresión.

sistema se encuentra operativo para cumplir nuevas misiones de fuego

Treinta kilómetros pueden parecer muchos, pero no es una gran distancia para la artillería moderna. El vuelo del CP 30 es del orden de los 70 segundos. Es decir que viaja a unos 1800 kilómetros por hora en promedio. En la trayectoria de caída, una vez que superó la altura máxima, el vector puede alcanzar velocidades de mach 3, unos 3600 kilómetros por hora.

Los programas de la computadora balística que utiliza el CP 30 se desarrollaron en CITEDEF. El sistema permite cargar las coordenadas y distancia al blanco, y la computadora, que ya tiene cargados los datos correspondientes a la tabla de tiro, automáticamente posiciona el lanzador en alza y deriva, y efectúa el disparo. Como agregado, y para compensar los errores de la balística del proyectil, el sistema dispone de una estación meteorológica portátil, que tiene en cuenta los efectos de las variables meteorológicas –viento, humedad, temperatura, presión–, y efectúa las correcciones al cálculo original.

Nótese, sin embargo, que una vez efectuado el disparo no hay posibilidad de modificar su trayectoria original. El CP 30 es puramente balístico. El objetivo del proyecto CP 90 tiene como ambicioso objetivo incorporar algún sistema de corrección de trayectoria.

EL CP 90

El departamento de propulsión se encuentra, en este momento, terminando el proyecto CP 30. A fin de año se entregarían al Ejército los cuatro lanzadores que conformarían lo que se llama una batería núcleo. El Ejército Argentino no tiene, hasta ahora, unidades completas de artillería con cohetes; sólo a fin de año se conformaría la primera unidad núcleo. ¿Por qué se la llama núcleo? Porque una vez entregado el sistema a la Fuerza, será necesario verificar la doctrina que ya se ha escrito y en caso que sea necesario, ajustarla y modificarla, de manera tal de garantizar el empleo de los sistemas dentro de un adecuado marco doctrinario. Aunque los profesionales que lo desarrollaron

conozcan cómo opera el sistema CP 30, sólo empleando el material en el terreno, por los propios usuarios operativos, podrán corregirse detalles, aplicarse mejoras y ajustar los reglamentos. Una vez que esa batería núcleo esté conformada, el Ejército tiene entre sus planes a mediano y largo plazo, la conformación de nuevos elementos de artillería con cohetes.

El nuevo proyecto del departamento, cuya factibilidad aún se estudia, es obtener un cohete de 90 kilómetros de alcance, el CP 90. Sería, evidentemente, un cohete de mayor diámetro que el CP 30: si el CP 30 mide 127 milímetros, el CP 90 podría tener cerca de 250 milímetros de diámetro y cinco metros de longitud. El alcance, lo dijimos, sería de 90 kilómetros, lo que supone un desafío adicional: si garantizar la precisión de un tiro balístico a 30 kilómetros de distancia con un error probable de desvío relativamente bajo es posible, hacerlo a 90 kilómetros es realmente difícil. Por eso, el CP 90 dejaría de ser un cohete, para conver-

tirse en un misil, es decir, su trayectoria ya no sería meramente balística, sino guiada.

Desde luego, el CP 90 sería un misil con un guiado rudimentario, puesto que no tendría sentido colocar, a un cohete de artillería, la complejidad del guiado de un misil del tipo de los que persiguen a cuerpos en movimiento, con los enormes costos que ello implica. Un misil antiaéreo, por ejemplo, debe perseguir a un avión que maniobra evasivamente, a grandes velocidades, mientras que la artillería dispara a una zona fija. Aun cuando ese blanco estuviera en movimiento, frente a la velocidad enorme del vector, la velocidad del movimiento de una tropa terrestre, o incluso de vehículos, sería despreciable, y el error probable de desvío sería bajísimo al disparar en ráfaga. En conclusión, la trayectoria del CP 90 sería mayoritariamente balística, pero al mismo tiempo algún tipo de guiado, que podría darse a través de una preprogramación de la trayectoria del vector, permitiría corregir la trayectoria original.

▼ Base de Tiro "Principal Quevedo". Serrezuela Córdoba





▲ Vista del Simulador SIMU VP con personal entrenando

▼ Fal adaptado para SIMU VP



▼ Pistola 9 mm. adaptada



**Departamento de Sistemas
de Guiado y Simulación**

El gran simulador

Por Claudio H. Sánchez

Con el desarrollo de la informática, sobre todo de las interfaces de realidad virtual, se ha tornado posible simular complejas situaciones con las que se debe enfrentar personal especializado unas pocas veces en su vida. En el Departamento de Sistemas de Guiado y Simulación pueden recrearlas con sistemas informáticos que además de ahorrar dinero, permiten el ahorro de vidas humanas.



En la década de 1980, los vendedores de computadoras personales solían hacer demostraciones en las empresas a las que les querían vender los (en ese momento) novedosos equipos: les mostraban como un procesador de textos convertía en obsoletos a la máquina de escribir y al papel carbónico, se explayaban sobre las posibilidades de una planilla de cálculo y pasaban diapositivas (analógicas, claro) con las maravillas de los programas gráficos. Pero lo que realmente convencía a los potenciales clientes no tenía nada que ver con el trabajo de oficina si no con el *Flight Simulator*, un juego de la empresa Microsoft que simulaba las dificultades de pilotear un avión.

El *Flight Simulator* ponía al alcance de todos las sensaciones de manejar una aeronave, sin gastar en combustible, pagar un alquiler o derechos de pista y, por sobre todas las cosas, sin la posibilidad de salir lastimado ante una maniobra desafortunada. Esa rudimentaria cabina representada en un monitor monocromo era uno de los primeros mundos virtuales en los que uno podía sentirse transportado a una realidad paralela. **El desarrollo de estos mundos virtuales fue ganando en complejidad con los años hasta llegar a niveles de semejanza con el mundo real inimaginables** en los comienzos del *Flight Simulator*. Distintas tareas riesgosas que van desde enfrentar a un enemigo armado hasta el mencionado simulador de vuelo podían hacerse sin correr riesgos en el mundo real, adquiriendo experiencia y precisión en el camino.

Es por eso que pilotos, artilleros, policías y muchos otros tienen en los simuladores una herramienta fundamental para su entrenamiento, sin la cuál difícilmente podrían obtener experiencia en un país como la Argentina en el que la hipótesis de conflicto prácticamente no existe desde hace décadas. El Departamento

de Sistemas de Guiado y Simulación (DSGS) del CITEDEF, a cargo del Ingeniero Eduardo Álvarez, ha desarrollado distintos sistemas de simulación de vuelo y de tiro, usados actualmente en el entrenamiento de las Fuerzas Armadas y de seguridad que los mantienen entrenados y listos para intervenir, por ejemplo, en las misiones de paz en las que participan regularmente.

SIMULADORES DE VUELO

Un simulador de vuelo profesional, como es de esperar, difiere bastante de los juegos a los que estamos acostumbrados. En primer lugar, las variables que toman en cuenta (como velocidad, características del terreno o condiciones meteorológicas) son más precisas y detalladas. También ofrecen una visibilidad más amplia y realista, de 180° o más. Y, en los modelos más avanzados, la simulación incluye las sensaciones físicas tales como el movimiento de la cabina o las sacudidas que produce una turbulencia. El diseño de un simulador de estas características es muy complejo y puede llevar años de desarrollo, programación y ensayo. Es necesario traducir el comportamiento de un avión a fórmulas matemáticas que una computadora pueda interpretar a toda velocidad para luego representarlas en forma comprensible para el usuario.

Una forma de aprovechar recursos consiste en tomar cada uno de los fenómenos que afectan el vuelo de un avión para desarrollar módulos separados que puedan adaptarse a distintos modelos. Con esta consigna, el Ingeniero Horacio Abbate, jefe de división del Departamento de Sistemas de Guiado y Simulación del CITEDEF, ha creado la Plataforma General de Simulación que, justamente, ensambla estos módulos como en un rompecabezas que se adapta a las necesidades del

usuario. Se trata de un programa (en realidad, un conjunto de programas) que incluye todas las funciones asociadas a un simulador de entrenamiento. Sus componentes pueden combinarse y complementarse con otros sistemas para desarrollar distintos tipos de simuladores. Por ejemplo, la visualización del terreno sirve tanto para un simulador de vuelo como para un simulador de tiro aunque las exigencias respecto del mismo varía en ambos. Y el módulo de disparo para armas livianas puede adaptarse a todo tipo de armas: sólo hace falta modificar las variables que afectan el modo de disparar, la potencia del arma, la trayectoria, etc..

La versatilidad de esta plataforma hace que sea constantemente testada por usuarios distintos y con necesidades específicas distintas, lo que asegura una alta calidad y confiabilidad para cada uno de los desarrollos.

APLICACIONES DE LA PLATAFORMA

La Plataforma General de Simulación ha sido aplicada hasta el momento a diversos simuladores, como el SIMOA II (Simulador de entrenamiento de Observadores Avanzados), en uso desde el año 2004 en el Colegio Militar de la Nación; el NEONAHUEL, simulador para el entrenamiento de tripulaciones de tanques y el SIMVUELO, sistema de visualización para simuladores de vuelo.

El interior del simulador NEONAHUEL es exactamente una cabina de tanque, para dos tripulantes: el jefe de tanque y el apuntador. Cada uno dispone de la vista exacta del terreno, tal como la vería en condiciones reales de combate. Permite realizar prácticas de tiro en una variedad de situaciones (como seguimiento de blancos, apreciación de distancias

o uso de telémetro), medir y registrar los resultados y evaluar al personal entrenado. En su versión actual, el NEONAHUEL simula la operación del TAM (Tanque Argentino Mediano) y se está trabajando en su adaptación al SK105, vehículo blindado de origen austriaco y utilizado por el Ejército Argentino. Las “horas de vuelo” en estos simuladores permiten que los usuarios se habitúen al equipo y las respuestas que daría en distintos tipos de terreno. Hacer esto con frecuencia en simulaciones de combate implicarían un costo enorme, por no mencionar los riesgos.

Por su parte, el SIMVUELO es un proyecto financiado por la Agencia Nacional de Promoción de la Ciencia y la Tecnología. Se encuentra en su tercer año de ejecución y participan en él profesionales del CITEDEF y de distintas universidades nacionales. Consiste en una serie de módulos de hardware y software aplicables a distintos simuladores de vuelo: el sistema que genera la vista del terreno sobre el que se vuela, los sistemas responsables de la simulación de vuelo propiamente dicha, además de una plataforma móvil que reproduce los movimientos, vibraciones y otras sensaciones mecánicas que se experimentan en una cabina. El equipo de desarrollo trabaja actualmente en la aplicación del SIMVUELO a un simulador para el avión IA-63 Pampa.

SISTEMAS DE GUIADO

Otro grupo de desarrollo en el CITEDEF lo forman los sistemas de guiado, aquellos que permiten que una nave o un proyectil sigan un rumbo determinado, algo imprescindible para una situación de tiro real, pero también muy útil para hacer más precisos los simuladores. Normalmente la trayectoria de un proyectil se corrige permanentemente por medio de un giróscopo

La simulación al alcance de todos

De alguna manera, la mayoría de los video juegos son simuladores. El primer video juego de la historia, el *Tennis for two*, era un simulador. De tenis, en este caso. Y cuando comenzaron a popularizarse las calculadoras programables, los manuales proponían un juego muy curioso: el Moon Landing. Este juego simulaba el aterrizaje de una nave espacial, bajo la acción de la gravedad, y atenuada por cohetes retropropulsores.

El Moon Landig no tenía ningún tipo de visualización gráfica. Simplemente mostraba en el visor la velocidad de caída, la distancia al piso y el combustible disponible. Tras cada visualización, el operador indicaba cuánto combustible quería inyectar para accionar los cohetes. Así hasta aterrizar a una velocidad segura. Parece un chiste, pero para los ingenuos (y felices) poseedores de las ahora viejas HP 41 o TI58, parecía de ciencia ficción. Y hasta era emocionante.

El Moon Landing era más un ejercicio de programación que un juego. Hoy, con una computadora personal y una planilla de cálculo, se pueden plantear ejercicios más complejos e interesantes. Por ejemplo, se puede simular la trayectoria de un proyectil bajo la acción de la gravedad mediante dos ecuaciones relativamente simples, que se estudian en los cursos elementales de física. El operador indica la velocidad inicial y el ángulo de disparo para acertarle a un blanco. Luego se pueden agregar variantes como el rozamiento con el aire, la velocidad del viento o un blanco móvil. Existen muchos ejemplos de este tipo disponibles en Internet. Basta poner en un buscador la frase “tiro oblicuo en Excel”.

que detecta cualquier cambio de rumbo. En realidad, el rumbo puede no estar “determinado”, como en los casos en los que se trata de seguir a un objetivo móvil; entonces resulta necesario que el sistema detecte continuamente la posición de ese objetivo y envíe instrucciones adecuadas al vehículo para mantenerlo en el rumbo correcto.

La idea de seguir a un objetivo no se limita a guiar un vehículo o un proyectil. También se puede aplicar al control de una cámara fotográfica que debe mantenerse enfocada sobre un determinado objetivo. El DSGS se encuentra desarrollando un sistema de guiado de este tipo para asegurar la estabilidad de una cámara montada en un helicóptero. **También se trabaja en un estabilizador para naves fluviales aplicable a lanchas: un giróscopo detecta las oscilaciones de la nave y envía la señal necesaria para contrarrestarlas.**

También, y a partir de una demanda concreta de la Fuerza Aérea, puntualmente de su área de medicina y seguridad que ha detectado un problema, se está desarrollando un simulador que intenta generar una desorientación espacial en el piloto. Es que ocurre que muchos de los accidentes se producen, según se cree actualmente, debido a un proceso interno en el oído medio de los pilotos que los hace perder la noción de su ubicación en el espacio. La hipótesis surge de los accidentes que se producen sin que medie una falla en el instrumental, por lo que resulta necesario reproducir las condiciones para evaluar la incidencia que podría tener este fenómeno de desorientación.

SIMULADORES DE TIRO

Si los simuladores de vuelo permiten la experiencia de volar un avión (fuera del alcance

▼ Caja de armas y armas para simulador SIMU VP



Imagen de Futuro: Eduardo Alvarez

– Si a partir de hoy contara con todo el apoyo y los recursos necesarios: ¿Qué imagina que podría estar desarrollando su departamento en 10 años? ¿Y en 40?

– En un plazo de 10 años el DSGS dispondrá de un área mecatrónica de 80 personas con laboratorios con área limpia desarrollando: auto (directores pasivos y semi activos de misiles tácticos), técnicas avanzadas de control de posición para satélites, técnicas para navegación por distinto tipo de referencias, técnicas de posicionamiento de dispositivos articulados o bien con vínculos parcialmente elásticos manejados con materiales con memoria de forma, micromecánica de armamento para simuladores, desarrollo de plataformas estabilizadas de distintas capacidades y aplicaciones.

Y se dispondrá de otra área de 80 de personas desarrollando temas de aerodinámica y navegación de misiles y cohetes dentro de las velocidades hipersónicas, desarrollo mecánico de nuevos modelos de motores cohete con distintos principios de funcionamiento y apuntando a la constelación de microsátélites. Habrá un área de 80 personas destinada a la programación para simuladores aplicables a entrenamiento con nuevos equipos, armas, vehículos terrestres, vehículos aéreos y navales, etc.; a las situaciones tácticas con intervención interconectada de simuladores en distintas áreas de las FF.AA.; entrenamiento de las FF.AA. aplicable situaciones estratégicas a nivel continental y global.

Respecto a las expectativas para dentro de 40 años pensamos que Citedef se habrá expandido en varios institutos distribuidos en distintos puntos del país y el exterior, tendrá una red encriptada para seguridad informática enlazada por distintos medios físicos redundantes.

La problemática se habrá extendido al espacio exterior y a las sub-micro-partículas. Estudiaremos navegación en el sistema planetario y fuera de él y veremos la posibilidad de aprovechamiento de materiales y bienes disponibles fuera de la Tierra.

Se tratarán de desarrollar otras fuentes de energía a partir de la materia o bien con la captación de la misma desde el universo. La defensa pasará por otros campos que no serán sólo la aplicación de armamentos y las disciplinas aplicables serán prácticamente provenientes de todas las áreas del conocimiento.

El área del DSGS se habrá expandido en múltiples aplicaciones para el entrenamiento y el desarrollo de ingenios aéreos, navales y terrestres. Tendremos simulaciones inmersas tridimensionales capaces de generar realidad virtual.

de la mayoría de nosotros) un simulador de tiro ofrece la posibilidad de sentir el peso y la responsabilidad de empuñar un arma, en una situación peligrosa. Su utilidad para el entrenamiento de las Fuerzas Armadas y de seguridad es evidente. Una práctica con armas y municiones reales no sólo es riesgosa: también es muy cara, por el costo de los proyectiles, el desgaste de las armas y la instalación de un perímetro seguro. **Un simulador de tiro permite reali-**

zar centenares de disparos sólo con el costo de la energía eléctrica. Y sin el riesgo de balas perdidas, claro.

El CITEDEF comenzó a desarrollar sus propios simuladores en el año 1993. Inicialmente se trataba de simuladores de tiro con misiles, pero luego extendió el desarrollo a otros tipos de armas. Uno de estos desarrollos es el SIMU VP, (“VP” es por “versión portátil”) un sistema de simulación de tiro que puede usarse en el

entrenamiento de en condiciones muy distintas. El sistema completo cabe en una valija de regular tamaño, o *rack*, y puede instalarse en una sala (de aproximadamente 6 por 11 metros), con su pantalla, computadoras, proyector, etc. Ya está en uso en las fuerzas policiales de varias provincias argentinas y otras están estudiando su adquisición.

Programar un simulador de tiro como el SIMU es mucho más que poner un blanco y un detector de impactos, como en los primeros videojuegos de los años '70. En primer lugar, el escenario donde se encuentran los objetivos no evoluciona en forma lineal sino que el mismo comportamiento del usuario va abriendo las posibilidades en abanico.

Supongamos que se quiere simular un tiroteo que tiene lugar durante un asalto. En una pantalla se proyectan las escenas con diversos delincuentes que se mueven de acá para allá, disparan, se cubren con los rehenes, etc.. En un momento dado, el "tirador" dispara contra la pantalla. Puede ser que dé en el blanco (le acierte a un delincuente) o no y, si le acierta, puede ser que el disparo sea letal o no. Según sea el caso la escena deberá continuar de diferente manera. Además, el operador del simulador puede introducir variantes como la cantidad de delincuentes o los lugares donde éstos se ubican. La "película" que escenifica la situación, no se parece a una cinta con un cuadro a continuación del otro, sino que se ramifica como un árbol, según lo que haga el usuario y cómo respondan los demás. Algo así como el desarrollo de una partida de ajedrez (o los libros de la serie *Elige tu propia aventura*). A esta película digitalizada se le pueden agregar efectos tales como condiciones climáticas o distintos grados de iluminación, de modo que la misma secuencia sirve para representar situaciones distintas.

Otro elemento a tener en cuenta es la detección del carácter letal o no de los impactos, ya que no es lo mismo herir a un delincuente que dejarlo fuera de combate. Para esto, en cada cuadro de la escena, convenientemente digitalizado, un operador pinta las diversas regiones del cuerpo de la víctima (por ejemplo, la cabeza, el tronco o las extremidades). Esos colores no se ven durante la simulación, pero el sistema los detecta y los usa para evaluar el efecto del impacto: un impacto en la cabeza (pintada de un determinado color) será letal y uno en el brazo (de otro color) no. También resulta fundamental que el usuario se enfrente concretamente a la decisión urgente de hacia dónde y cuándo disparar en un contexto en el que, por ejemplo, hay rehenes a los que no se debe poner en peligro. Adquirir experiencia en este tipo de situaciones en el mundo real podría conllevar el costo de muchas vidas.

Además, y como en el caso de los simuladores de vuelo, en los de tiro se reproducen también los efectos mecánicos: un dispositivo neumático produce el retroceso correspondiente a cada disparo. Este realismo no es trivial: la sacudida del arma afecta la efectividad del tirador y un simulador profesional debe tenerlo en cuenta para generar las condiciones y sensaciones reales durante el disparo. Este sistema neumático se abastece de un compresor o un tubo de aire comprimido.

El sistema incluye también módulos de estadísticas que informan, tras la simulación, la cantidad de disparos realizados, su efectividad, si fueron hechos poniendo en peligro la vida de rehenes o transeúntes y muchas otras variables. Esta evaluación luego puede imprimirse, junto con la foto y datos del entrenado, para incluir en su legajo y para estadísticas futuras que permitan conocer la situación actual de los usuarios.

Al sistema se le pueden conectar distintas armas tales como pistolas 9mm, fusiles FAL y hasta un misil: el MARA (Misil Antitanque de Reducido Alcance). Para cada tipo de arma, hay una escenificación adecuada (no parece probable que se disparen misiles antitanques durante el asalto a un banco). Un elemento actualmente en desarrollo es el módulo para la evaluación de los disparos recibidos. Consta de una cámara, un arnés con detectores adecuados y el software correspondiente. Todo esto detecta la ubicación del tirador y el posible destino y efecto de los disparos del o los adversarios.

El SIMU tiene también una versión fija (VF), para su instalación en forma permanente en un salón o polígono virtual para entrenamiento en armas livianas como pistolas, revólveres, ametralladoras, lanzacohetes portátiles o cualquier otra arma que el usuario elija. Sólo se trata de adaptar el arma a la instalación y programar las variables adecuadas.

Una versión BL (para blindados) puede instalarse en un recinto que simule la cabina de un tanque. Esta versión permite agregar sistemas de telemetría (simulados) propios de este tipo de vehículos. Un sistema de comunicaciones permite la interacción entre la tripulación y el

instructor. La familia de simuladores SIMU se comenzó a desarrollar en el año 2006 y muy pocos países en el mundo disponen de esta tecnología. Argentina es uno de ellos, por lo que puede ofrecer esta tecnología a los países que lo soliciten iniciando un círculo virtuoso en el que la inversión da sus frutos y permite nuevas inversiones para mejorar el producto.

UN PAÍS DE VERDAD

El desarrollo de estos mundos virtuales no es poca cosa. En los últimos años el tema está en boca de todos y este tipo de investigaciones permite no sólo crear grandes sistemas como los simuladores mencionados, si no también todas las tecnologías necesarias para su funcionamiento como pequeños sistemas de interfaz que aumenten la sensación de realidad y la verosimilitud de los movimientos: no es lo mismo manejar los viejos *joystick* que empuñar un arma con el peso adecuado y que tiene un comportamiento similar a una real. De esta manera si bien los simuladores son un motor para meterse en un campo en expansión, lo más probable es que den una prole fecunda para ser aprovechada por numerosas necesidades existentes.

▼ Personal entrenando en el prototipo de simulador de vuelo Visual Pampa



AUTORIDADES DEL MINISTERIO DE DEFENSA

Dra. Nilda Garré

Ministra de Defensa

Lic. Oscar Cuattromo

Secretario de Planeamiento

Lic. Gustavo Sibilla

Secretario de Estrategia y Asuntos Militares

Sr. Alfredo Forti

Secretario de Asuntos Internacionales de la Defensa

Lic. Mirta Susana Iriondo

Subsecretaria de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico

Dr. Raúl Garré

Jefe de Gabinete

Ing. Eduardo Anselmo Fabre

*Presidente del Instituto de Investigaciones Científicas
y Técnicas para la Defensa*

Sr. Marcelo Vensentini

*Coordinador del Instituto de Investigaciones Científicas
y Técnicas para la Defensa*

Lic. Jorge Bernetti

Director de Comunicación Social