

El Premio Nobel en Física 2001

Francisco Claro

Versión aparecida en el suplemento Artes y Letras del diario El Mercurio el 14 de Octubre del 2001

Se ha cumplido un siglo desde que fuera otorgado a Wilhelm Röntgen el primer premio Nobel de física de la historia “en reconocimiento por el extraordinario servicio prestado a través de su descubrimiento de los notables rayos que recibieron su nombre”, como dice la cita correspondiente. El hallazgo destacado por el Nobel de 1901 fue casual y su naturaleza tan extraña, que el mismo Röntgen llamó a los rayos “X”, como hoy los conocemos. Cien años después el galardón recae en Wolfgang Ketterle (MIT), Eric Cornell, y Carl Wieman (Universidad de Colorado) “por lograr la condensación de Bose-Einstein en gases diluidos de átomos alcalinos, y por estudios fundamentales pioneros de las propiedades de tales condensados”. El trabajo confirma una predicción hecha tres cuartos de siglo antes y nada de casual. Como el marco de un cuadro de cien años, estos nobeles destacan dos maneras de avanzar características de la ciencia: el descubrimiento fortuito y la verificación experimental de propuestas conceptuales. Premian también dos frutos medulares del esfuerzo científico: el mejor conocimiento de la naturaleza y las aplicaciones que de él se derivan.

Junto a los galardonados de este año es la propia física cuántica la que está de fiesta. Una de las sorpresas mayores que deparó en sus albores fue enterarnos que la materia tiene “spin”. Esta propiedad asociada al giro la habíamos visto en planetas, trompos y bailarinas, pero jamás antes alguien se imaginó que se tratase de una característica intrínseca a las cosas. Y, por añadidura, cuantizada, en el sentido que sólo se encuentra en múltiplos enteros (1, 2, 3, ...) o semi-enteros ($1/2$, $3/2$, $5/2$, ...) de la famosa (y pequeñísima) constante h de Planck dividida por 2π . A diferencia de un

carrusel que puede ser impulsado o detenido a voluntad, este spin intrínseco a que nos referimos tiene un valor fijo y constante para cada objeto, que no se puede alterar. Extraña propiedad.

Según su spin, la materia puede ser fermiónica o bosónica. Si el spin es semi-entero, hablamos de fermiones; si es entero, de bosones. Los nombres rinden homenaje a Enrico Fermi (nacido hace exactamente cien años) y Satyendra Bose (físico hindú), quienes cumplieron un rol fundamental en caracterizar sus propiedades. Ejemplos de fermiones son los electrones, los protones, los elusivos neutrinos y alrededor de la mitad de los átomos conocidos. Entre los bosones se encuentran los fotones (partículas de luz), los fonones (partícula asociadas al sonido) y la otra mitad de los átomos conocidos. El comportamiento de fermiones y bosones es radicalmente diferente, como veremos a continuación.

El mundo que experimentamos a diario es como es gracias a una propiedad muy simple y particular de los fermiones: no puede haber dos de ellos en un mismo estado. Por ejemplo, si un electrón quiere formar parte de un átomo, tiene que ver qué estados allí están desocupados pues a sólo ellos puede acceder, como alguien que quiere sentarse en un bus buscará un asiento vacío. Es el llamado principio de exclusión de (Wolfgang) Pauli, el cual gobierna sólo el comportamiento de fermiones. Como consecuencia existe la diversidad que observamos, pues al ir agregando uno a uno electrones en distintos estados, los átomos que resultan son todos diferentes. Al combinarse éstos, el principio de exclusión se manifiesta también en la variedad molecular del mundo químico y, en el ámbito macroscópico cotidiano, a través de la multiplicidad de materiales sólidos que conocemos (metales, vidrios, plásticos, etc), o líquidos tan diferentes entre sí como el agua y el mercurio.

¿Qué ocurre en cambio con los bosones? Puesto que no obedecen al principio de Pauli, cualquier número de ellos puede instalarse en un mismo estado sin problema. Por ejemplo, no hay

inconveniente que los fotones de luz en el interior de una caja con paredes de espejo todos tengan la misma energía y se muevan al unísono. La situación es bastante artificial, aunque no imposible. De hecho, así ocurre en cualquier laser.

Como ejemplo de bosón, sin embargo, el fotón es muy especial: no tiene masa, viaja siempre con igual velocidad, su existencia es efímera y no interactúa con otro de su misma especie. ¿Qué pasa con otros bosones? Cuando su cualidad bosónica específica se manifiesta (no siempre lo hace), alguna propiedad sorprendente emerge. Así, se sabe desde hace más de medio siglo que los átomos de helio (^4He) a muy baja temperatura (2.17K o menos) forman un "condensado" que fluye como si tuviese una viscosidad un millón de veces menor que cualquier otro líquido conocido, y escapa del vaso que lo contiene subiéndose por las paredes como un ladrón furtivo. También se asocia un condensado bosónico al estado superconductor de la corriente eléctrica en metales como el plomo o el aluminio a muy bajas temperaturas. En este caso el bosón lo forma la asociación de dos electrones cada uno de spin 1/2, los cuales en pareja suman el spin entero requerido.

En los dos casos señalados el condensado de bosones se forma a muy bajas temperaturas. Ya en 1925 el siempre sorprendente Einstein se dio cuenta que cerca del cero absoluto de temperatura los bosones espontáneamente se acumulan en el baja energía posible, formando un "condensado de Bose-Einstein". Cuando la temperatura sube los bosones se excitan, distribuyéndose entre una miríada de estados de más energía, de modo que ninguno de estos estados acapara una fracción significativa. Como a podemos imaginar una biblioteca repartida entre las innumerables repisas de un librero muy alto, de modo que cada estante soporta apenas unos pocos libros. Hacer descender la temperatura sería como ir bajando uno a uno los volúmenes a la repisa más cerca del suelo, donde se agrupan formando "una

enorme biblioteca lineal" de propiedades muy especiales.

El Nobel de este año premia la enorme habilidad e ingenio de Ketterle, Cornell, y Wieman al lograr por primera vez que una millonada de átomos de sodio (o rubidio) suspendidos en una trampa magnética formen un condensado de Bose-Einstein, en un ambiente casi vacío y a la bajísima temperatura de apenas una fracción de millonésimo de grado sobre el cero absoluto. Se trataba del primer caso en que el condensado se identificó inequívocamente gracias a que en dichas condiciones los átomos interactúan muy débilmente. Por su naturaleza cuántica, en estas condiciones extremas los átomos de sodio se comportan como ondas de materia, todas idénticas entre

upando cada una el espacio casi completo de la trampa. Se produce entonces coherencia entre ellos, "se ponen de acuerdo" como los instrumentos de una orquesta bajo la batuta de un experto director. Se ha generado así una especie de láser a partir de bosones masivos, de propiedades muy diferentes al láser de fotones que opera por ejemplo en los lectores de CD en computadoras y equipos de sonido.

La cita al premio de Röntgen cien años atrás hace alusión a las numerosas aplicaciones tempranas de su descubrimiento. En el Nobel 2001 en cambio se mencionan sólo "estudios fundamentales", sin referirse a aplicaciones pasadas o futuras. Es una postura cautelosa ante las condiciones extremas de temperatura y vacío en que el condensado se produce hoy día. Pero, ¿quién 1960, recién inventado el rayo láser, que cuarenta años después habría hasta llaveros adornados con este dispositivo? En esta oportunidad la fundación Nobel ha destacado un aporte fundamental a la comprensión del mundo que nos rodea, y nos ha dicho de paso que eso basta para rendirle el más alto homenaje existente a los flamantes premiados de este año. En buena hora.

Claudio Tenreiro: Los físicos tienen un espacio natural en la CCHEN

Gisela Hertling

La Comisión Nacional de Energía Nuclear (CCHEN) es un organismo estatal creado en 1964 para hacerse “cargo de la investigación, desarrollo y adaptación de los usos pacíficos de la energía nuclear, como así mismo de su regulación, control y fiscalización, y para entregar asesoría técnica y legal al gobierno y transferir tecnología a sectores externos”, como se explica en su sitio Web (www.cchen.cl), donde también se puede encontrar una completa relación de las funciones y actividades que realiza esta entidad.

El Director Ejecutivo de la CCHEN es, desde julio de este año, Claudio Tenreiro. Este físico se licenció en 1984 en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile y en 1987 obtuvo el Doctorado en Ciencias en la Universidad de Sao Paulo, Brasil, con una tesis sobre fusión nuclear de iones pesados

Sus temas de investigación son, principalmente, física y astrofísica nuclear, física aplicada y desarrollo tecnológico. En este último ámbito ha conseguido mejoramientos de plásticos de uso agrícola a través de aplicaciones nucleares, ha trabajado en medidores de espesores en sistemas de producción, y ha desarrollado técnicas que permiten el endurecimiento de metales, entre otras cosas. Respecto a estos desarrollos tecnológicos, Tenreiro explica que “la idea es que mejoren alguna parte de la cadena de producción, ya sea que faciliten o mejoren la labor de

producción o que signifiquen un mejoramiento del producto y, por lo tanto, una innovación”.

¿Qué desarrollos tecnológicos le han traído más satisfacciones?

Uno es las técnicas de endurecimiento de metales, ya que con eso se consiguieron dos objetivos: fabricar mejores productos y mejorar la producción abaratando costos. Las herramientas importadas que usa la industria metalmeccánica que sufren desgaste, como las brocas, por ejemplo, vienen con un proceso de endurecimiento y con una cobertura de titanio. Ahora, si la herramienta en un uso pesado dura 40 días, después que le hacen el reafilamiento dura una semana. Las técnicas que desarrollamos permiten recuperar la calidad original de la herramienta y aplicar los procesos que traía originalmente: el endurecimiento y la cobertura de titanio. Con esto vuelve a aumentar la vida útil de las herramientas en un factor muy importante y eso, desde el punto de vista de la industria, significa un ahorro importante. Además, en el caso que fabriquen piezas mecánicas como piñones, por ejemplo, las pueden entregar endurecidas, lo cual le da un valor agregado al producto.

Otro desarrollo tecnológico que me gustaría destacar, y que tiene una aplicación totalmente distinta, es la tomografía de neutrones que se está perfilando básicamente como una herramienta de trabajo para la paleontología. Hemos conseguido hacer tomografías de muestras fosilizadas. Esto permite hacer un análisis no destructivo con imágenes tridimensionales de lo que existe en estas muestras. La muestra de paleontología

típicamente parece una piedra y la idea es ver qué hay adentro. Es decir, si hay un ser que estuvo vivo alguna vez, ver cómo está, ver sus características. En el fondo, es tomar una tomografía igual a la tomografía humana, pero se hace con neutrones, de manera que permita hacer una densitometría de un objeto sólido, como una piedra. Y eso lo hemos conseguido hacer, aunque todavía se están desarrollando más técnicas al respecto. Esto es muy bueno para la gente que trabaja con este tipo de muestras porque, por lo únicas, no las quieren romper. Pero en este momento las técnicas convencionales exigen cortarlas con una sierra. Y, por ser una piedra, cuando las cortan se pierde información, ya no se puede reconstituir la imagen tridimensional de lo que había. Pero con la tomografía de neutrones se puede. Hemos conseguido ver embriones, por ejemplo, en huevos fosilizados.

Pasando a otro tema, ¿cuál es la trayectoria laboral que lo trajo a la Comisión Chilena de Energía Nuclear?

Cuando terminé el doctorado, me contrataron en el Departamento de Física Nuclear de la Universidad de Sao Paulo. Después, estuve trabajando tres años en la Universidad de Manchester. Volví a trabajar a la Universidad de Sao Paulo durante dos años más y después me vine a la Universidad de Chile, el año 94. También he tenido temporadas cortas de trabajo, de entre uno y seis meses, en otras universidades en Escocia, en el Instituto Niels Bohr en Dinamarca y en distintos laboratorios nacionales, pero con contratos para tareas específicas.

Siempre sentí atracción hacia la tecnología, pero el primer contacto real se produjo cuando Brasil le compró la tecnología para el desarrollo de aceleradores superconductores a Estados Unidos y a mí me correspondió ir para aprender y traer la tecnología de la parte de criogénesis de estos aceleradores. Ahí pude aprender algo del proceso de transferir una tecnología. Y eso me motivó siempre a estar metido en estos temas.

Ahora, ¿por qué me interesó este puesto en la CCHEN? Yo diría que por dos circunstancias, básicamente. Primero, porque siempre la asocié con transferencia de tecnología y con desarrollo de nuevas tecnologías al servicio del país. Lo segundo, es que desde el punto de vista externo, como usuarios, siempre habíamos criticado a la CCHEN: que no hacía esto, que no hacía esto otro. Y cuando se dio la oportunidad de postular al cargo pensé que, si había hablado mal de la CCHEN, era la oportunidad de ver qué es lo que se puede hacer realmente desde adentro y, simplemente, postulé.

Desde el punto de vista del perfil que la CCHEN estaba pidiendo, en mi opinión yo satisfacía las condiciones por ser una persona del área de la física nuclear, haber desarrollado física nuclear básica y haber hecho transferencia de tecnología. Y la gracia de esto último es haberlo hecho en Chile. Porque hacer transferencia de tecnología en el extranjero es bastante fácil, pero aquí hay una barrera cultural y una serie de mitos que romper. Además, también tenía alguna experiencia en el área de dirección, o administración. En Brasil estuve a cargo de experimentos muy complejos que, desde el punto de vista

del manejo de dinero, eran de bastante responsabilidad, aunque no en el aspecto del manejo de recursos humanos. Luego, en la Universidad de Chile, fui Subdirector de la Escuela de Pregrado y después, Director del Departamento de Física. Estuve en la parte organizacional, tratando de aportar la experiencia o la vivencia, no tanto de otros lugares, sino más bien de una generación diferente. Yo notaba, y otros colegas me decían lo mismo, que hay un cambio que hacer relacionado, básicamente, con un cambio de mentalidad. Y traté de aportar algo en ese sentido.

Por otro lado, cuando ya había decidido postular a este cargo, sentí que era la oportunidad de entrar al sistema y darle el impulso que se requiere para que todos los esfuerzos que el país ha hecho en recursos humanos y monetarios se puedan encauzar en una dirección que optimice su beneficio. Básicamente, esa era la idea que tenía cuando llegué a este puesto. Pero no hubo una intencionalidad en el sentido de tener este trabajo como meta. Eso no.

¿Cuántos físicos hay en la CCHEN y qué trabajos hacen?

Actualmente hay 14 físicos trabajando aquí y están repartidos en tres áreas. En el Departamento de Investigación y Desarrollo, por ejemplo, hay varios físicos trabajando en física de plasmas y física de materiales. Hay otros trabajando en dosimetría y en laboratorios padrones. Estos laboratorios son los que tienen la norma o la estandarización de las radiaciones para poder hacer calibraciones en base a un padrón de medición internacionalmente reconocido. En el fondo, está relacionado con los valores absolutos y

con las calibraciones de cualquier detector de radiación. Y hay un físico a cargo de eso.

El año 99, Roberto Hojman nos contó que no había planes concretos de contratar a más físicos. ¿Cómo es esa situación actualmente?

En estos momentos, lo que estamos haciendo es delinear una directriz y una orientación estratégica de largo alcance para la Comisión. En esa directriz los físicos tienen un espacio bien específico relacionado con investigación y desarrollo. En ese sentido, yo visualizo la necesidad de más físicos. Y, de hecho, diría que luego vamos a tener a lo menos uno o dos cargos para físicos. Pero es difícil aventurar cómo y para qué áreas vamos a contratar sin un delineamiento de largo plazo. Por eso, una de las cosas fundamentales es que la Comisión estructure este delineamiento con un horizonte de por lo menos cinco a diez años.

Por otro lado, hay que proyectar cuáles son las alianzas estratégicas que queremos establecer. Es decir, con qué centros, con qué universidades, con qué instituciones vamos a establecer una sinergia que permita optimizar los recursos, tanto materiales como humanos, y ahí los físicos tienen un espacio natural, no hay duda.

¿A qué se refiere con esto último?

A que queremos establecer alianzas estratégicas con los físicos para potenciar la investigación. Nosotros tenemos un equipo muy reducido de físicos, sin embargo, tenemos facilidades experimentales, equipamiento, para

muchos más. Pero no los podemos contratar. Entonces, lo que vamos a hacer es implementar una estructura parecida a un Laboratorio Nacional. De ese modo, los usuarios pueden ser todos. Es cierto que hay que priorizar, pero en una primera etapa no creo que haya mucha demanda. Básicamente, vamos a poner la condición de que sepan usar el equipamiento. Pero esta posibilidad, entre otras cosas, garantiza que un alumno que está terminando el doctorado se interese en irse a trabajar a Antofagasta, Temuco, La Serena, o a cualquier ciudad de regiones, porque sabe que va a poder seguir contando con equipamiento para hacer investigación de buen nivel.

Con esto pensamos que podemos potenciar mucho a las regiones y que la física experimental, sobre todo, se va a ver beneficiada. Porque mucha gente está alejada de grandes centros o está en instituciones que no cuentan con los recursos suficientes. Es cierto que FONDECYT entrega recursos, pero son fondos bastantes restringidos que no alcanzan para un equipamiento mayor. Pero qué pasa si la persona puede usar nuestro equipamiento. En ese caso, cuando quiera hacer un experimento, viaja a Santiago por un mes, lo hace y después se devuelve a su universidad y lo analiza. Lo que necesita, entonces, es mucho más barato: un buen sistema de análisis de datos y una buena conexión con el laboratorio.

¿Desde cuando piensan funcionar de esta manera?

Podríamos empezar ya. Es decir, si alguien ahora dijera que quiere venir, podría hacerlo.

Pero, en general, esto toma un tiempo. Por eso, los contactos yo creo que tienen que empezar a hacerlos ahora para incluir esta posibilidad en los próximos proyectos que presenten. Y nosotros estamos facilitando eso. Estamos promoviendo áreas de aplicaciones que sabemos que son de mucha importancia. Hemos ido a regiones a proponer ideas y a incentivar que los proyectos que se presentan tengan una cobertura grande. Es decir, si iban a estudiar efectos de abonos en un lugar de la Octava Región, que se alíen con personas en la Séptima Región y en la Octava, también.

Todo esto que proponemos es un cambio bastante radical en la forma de investigar, por eso queremos que comience lo antes posible: para acelerar el proceso.

Dentro de lo que ya se hace en la CCHEN, ¿qué áreas le gustaría potenciar más?

Una es la relacionada con investigación propiamente tal. Otra tiene que ver con aplicaciones nucleares. Es decir, transferencia de tecnología y desarrollo de nuevas tecnologías para el país. Y la tercera se refiere a lo nuclear propiamente tal: desarrollar la capacidad de poder asesorar correctamente al gobierno, o a cualquier privado, en lo que se refiere a generación de energía utilizando tecnología nuclear. Esas son, básicamente, las tres áreas. Pero el área mayoritaria es la de aplicaciones nucleares. Si uno mira, en términos de proporciones, el Departamento que tiene que ver con aplicaciones nucleares, —a la agricultura, al medio ambiente— es impresionantemente grande comparado con los otros dos. Y es así porque lo que

el país necesita son aplicaciones y tecnología propia.

¿Qué cosas nuevas le gustaría implementar?

Yo diría que lo más nuevo, lo más diferente, que me interesaría implementar es una forma de trabajar distinta. Primero que nada, una política absolutamente abierta y transparente de trabajo. Segundo, una política que impulse a la gente, que la identifique con su institución y la motive a trabajar muchísimo más que hasta ahora y que la motive a abrirse a la comunidad para que la comunidad realmente entienda el valor que tienen la Comisión y sus aportes. Creo que eso sería un cambio bastante grande dentro de la institución.

Además, también me interesaría implementar cosas puntuales, como el banco nacional de muestras. Es decir, un banco de muestras ambientales de todo el país para poder establecer lo que la gente de medio ambiente llama línea base. La Comisión lo ha estado haciendo durante mucho tiempo y tenemos un banco de muestras ambientales razonablemente grande, pero es muy difícil cubrir un país como el nuestro. Por ejemplo, tenemos que cubrir, desde el punto de vista de muestras líquidas, toda la costa y eso significa una problemática completamente distinta a las muestras ambientales, los aerosoles, etc. Es un trabajo muy complicado. Por eso estamos tratando de buscar alianzas, con universidades y con otros centros, de manera de expandir nuestro campo de acción en ese banco. Eso va a permitir que los municipios, por ejemplo, cuando decidan crear barrios industriales, puedan establecer un padrón de referencia muy claro de la situación

actual. Porque en todos los desastres que hemos observado en Chile, uno de los grandes problemas es saber cómo estaba la situación antes de que ocurriera el problema. Entonces, eso, desde nuestro punto de vista, lo vemos como un imperativo. Y la Comisión tiene una ventaja: que como conjunto de laboratorios es único en el país. La cantidad de técnicas analíticas que nosotros disponemos yo creo que nadie más las tiene en un solo lugar. Y como esta recolección de muestras se ha estado haciendo por distintas razones relacionadas con el quehacer de la Comisión, yo creo que es el momento oportuno de hacerlo sistemáticamente abarcando todo el país.

Otra cosa que me gustaría hacer es fomentar el análisis de técnicas de trazadores en el comportamiento de pesticidas y abonos. Me atrevo a afirmar que la mitad de los abonos van a parar a los ríos y no a las plantas, al igual que tres cuartas partes de los pesticidas. Y me permito dudar que realmente se estén utilizando los pesticidas con el efecto que se desea, y los abonos que cada suelo necesita. Yo creo que el desarrollo de una agricultura orgánica pasa por conocer bien qué es lo que está sucediendo con los suelos, los productos, etc. La ventaja de los trazadores es que permiten, justamente, monitorear la cadena de cómo se mueven estos elementos en las distintas etapas de la naturaleza. Ya se ha comprobado, en algunos casos, que se perdieron tres cuartas partes de los abonos en un cultivo. Y es por desconocimiento de los procesos.

¿Qué tipos de trazadores se usan para estos seguimientos?

En estos casos usamos trazadores con isótopos alterados, no trazadores radiactivos, que generan un poco de miedo, a veces. En los trazadores con isótopos alterados, se marcan moléculas con un isótopo diferente al isótopo mayoritario en la naturaleza. Y después se detecta dónde están esas moléculas con los isótopos alterados. El trazador radiactivo es útil para ciertas cosas y el trazador alterado para otras. Además, en el caso del trazador radioactivo, se usan trazadores de vida media correspondiente al proceso que uno va a estudiar. Entonces, si usamos un trazador de vida media de 80 horas, por ejemplo, uno sabe que después de una semana no hay rastro de él.

La técnica de trazadores también permite estudiar otros fenómenos. Por ejemplo, cada vez que hay contaminación hacia el borde costero, uno puede averiguar exactamente a dónde van a parar esos elementos. Eso ya se ha hecho en algunos lugares, pero la idea es que se haga en forma mucho más sistemática. Se puede seguir toda la trayectoria del material contaminante, desde el lugar de origen hasta el borde costero. Y también se puede usar para estudiar la contaminación ambiental. En Santiago, por ejemplo, podríamos saber exactamente quienes están contribuyendo con material particulado, y qué tipo de material particulado es. Acá en Santiago se declaran pre-emergencias simplemente contando material particulado. Pero una cosa es cuánto material particulado hay y otra cosa es qué es lo que tiene. Puede haber poco material particulado, pero ser tóxico. Todo ese tipo de estudios son aspectos que en la Comisión tienen un nicho natural y se han desarrollado y se

tienen todas las técnicas como para poder realizarlos.

Ahora, volviendo a las cosas que me gustaría implementar. En el área de la salud, la Comisión ya inició un proyecto nuevo que está relacionado con la fabricación de medios de contraste para estudios de tomografía por positrones. Esto va a permitir que el sistema de salud pública tenga acceso a este tipo de exámenes. Algo que hubiese sido imposible sin este proyecto nuestro. La Comisión va a comprar un ciclotrón para fabricar glucosa marcada, que es utilizada en la tomografía de positrones. Eso permitirá hacer estudios dinámicos de tumores, por ejemplo, que tienen una ventaja enorme respecto de los análisis convencionales. Todos los otros estudios por resonancia, lo que detectan son cambios morfológicos y cuando esos cambios ya ocurrieron, puede ser demasiado tarde. Sin embargo, en el caso de los positrones, por ser un principio que actúa a través del metabolismo, se puede detectar la falla funcional. Así, se puede detectar, por ejemplo, la generación de un tumor maligno mucho antes de que se forme. Por lo tanto, se puede saber la génesis de una serie de alteraciones con mucha antelación respecto de cualquier otra técnica. Por eso decidimos que esto era absolutamente necesario para el país. Y, específicamente, que era importante para el sistema público de salud. En estos momentos estamos comprando un ciclotrón que debería estar en funcionamiento en julio del próximo año y va a permitir habilitar cámaras de tomografías con esta técnica. Si no lo hubiéramos hecho ahora, simplemente se hubiera perdido la ocasión porque en el país no hay mercado para dos ciclotrones. La producción de glucosa

marcada por un ciclotrón es suficiente para satisfacer todas las necesidades. Y si ese ciclotrón hubiese quedado en manos privadas, sus dueños hubiesen fijado el precio de la glucosa marcada y el sistema de salud pública hubiese seguido excluido de esta técnica, seguramente.

¿Cómo ve el futuro de la energía nuclear en el mundo?

La única fuente limpia de generación de energía es la energía nuclear. Esto, porque no tiene emisiones de ningún tipo. Por eso, me parece que va a ser la mejor fuente de energía una vez que se solucionen los problemas que presenta actualmente.

La energía nuclear entró con el pie izquierdo, entró mal. Lo hizo como un arma de destrucción masiva, no como una fuente de energía. Pero yo creo que la aceptación pública de la energía nuclear va a tener que cambiar a la luz de una serie de antecedentes nuevos, una serie de investigaciones nuevas. Inicialmente, al concebir la energía nuclear como arma de destrucción masiva, era obvio que nadie se preocupaba ni de los desechos ni de nada, porque no interesaba. Si lo que queremos es destruir, lo que quede no importa. Por eso, las generaciones de reactores iniciales para generación eléctrica se parecían mucho a los que producían plutonio para bombas atómicas. No había grandes diferencias conceptuales en el diseño de los dos tipos de reactores. Pero en estos momentos el escenario es muy diferente. En los últimos cinco o diez años se ha desarrollado de forma violenta una ingeniería de reactores que, por primera vez en la historia, piensa la energía

nuclear como una fuente de energía y no como un arma. Esto cambió completamente el diseño. De hecho, aparecieron los reactores llamados de generación cuatro, cuyo diseño tiene como punto de partida la seguridad. Y como segundo elemento la eficiencia en la producción de electricidad. Por eso, el diseño de los reactores nuevos entrega garantía de que no van a generar ningún problema como reactores en sí. El mito que tiene la gente, que el reactor va a explotar, jamás va a ocurrir en un reactor de este tipo.

Hay cuatro proyectos de reactores en el mundo: uno del Departamento de Energía de Estados Unidos, que se llama GIFT; el de la Westinghouse, el IRIS; otro de la Agencia Internacional de Energía Atómica, el IMPRO; y el de Argentina, el CAREM. De los cuatro, el argentino es el más avanzado. Y dos de los otros utilizan el sistema que ellos desarrollaron para movimiento de barras de control del reactor. Todos están en etapa de desarrollo y se espera que los primeros empiecen a funcionar en unos cuatro años más.

Estos son reactores que producen del orden de 300 mega Watts eléctricos, no estamos hablando de mega reactores. Y son modulares: si uno necesita más de 300 mega Watts, pone dos. Y la ventaja es que si uno no necesita más energía, lo saca y no queda nada. No son como los reactores actuales que están dentro de un mastodonte de concreto. El CAREM tiene 15 metros de alto por unos 4,5 metros de diámetro. Es una vasija metálica.

¿Cuáles son los principales cambios de diseño en estos nuevos reactores?

Básicamente, lo que cambió está relacionado con los generadores de vapor, que son los que permiten mover las turbinas. Antiguamente estaban fuera del reactor. Eso creaba un elemento de inseguridad enorme porque si se dañaba el generador de vapor podía poner en crisis el reactor. En los nuevos diseños está todo integrado e, incluso, en el peor de los accidentes, cuando todo falla, se garantiza que el núcleo del reactor queda siempre refrigerado, lo que elimina las posibilidades de una explosión. Y respecto a las explosiones: lo que explota no es el reactor, lo que causa la explosión es la presión del vapor de agua, generalmente. En los nuevos diseños eso es imposible, no puede pasar ese accidente. Con eso se elimina una situación que es muy molesta, que es lo que llaman la zona de exclusión. Es un área de seis kilómetros al rededor del reactor que hay que evacuar en caso de accidente. Con todas las incomodidades que eso trae. Además, estos nuevos reactores necesitan ser rellenados cada ocho años. Actualmente, un reactor hay que rellenarlo, dependiendo de su uso, una vez al año. Y esa es una operación peligrosa. Además, los nuevos están diseñados de manera tal que cuando hay que rellenarlos, se llena todo de agua, se saca el núcleo entero y se pone otro nuevo, como si fueran cartridges. Y eso también minimiza los riesgos.

Otra cosa que me gustaría destacar es que, en gran parte, los avances que se han obtenido en estos diseños es porque ya no hay secretos, todo es de conocimiento público. Eso facilita mucho la colaboración entre distintas industrias y países. Por ejemplo, uno de los problemas que presentaba el IRIS de la Westinghouse

era cómo limpiar los generadores de vapor que están adentro del reactor. Había una empresa brasileña que ya había hecho un sistema para eso y, simplemente, lo incorporaron. Es decir, todo el mundo va aportando positivamente a solucionar los problemas. Eso es inédito. No es un proyecto secreto de nadie, están los planos arriba de la mesa para el que los quiera ver. Y cuando estén en funcionamiento, cada uno va a comprar el diseño que prefiera.

Por otro lado, el talón de Aquiles de la energía nuclear, y sigue siendo un talón de Aquiles sin solución, son los desechos radiactivos. Lo que se está haciendo actualmente, es separar los desechos radiactivos de vida media muy larga, los de vida media intermedia y los de vida media corta, de modo que se almacenan de distinta forma. Los más peligrosos son los de vida media larga. Esos se vitrifican y se compactan en unos cubos de vidrio muy pequeños y la idea es colocarlos en depositarios geológicamente estables, como las minas de sal. Los de vida media mediana, entre 10 y 30 años, se guardan en una pirámide especial que todo el mundo sabe que por 300 años no hay que abrirla. Y después están los de vida media muy corta, que se almacenan de una manera separada. Ahora, nada de esto es solución. Son sólo maneras de guardar cosas peligrosas. Pero los italianos y los norteamericanos tienen en este momento programas que apuntan a la transmutación. Es decir, tomar estos desechos radiactivos, bombardearlos con protones de alta energía y transmutarlos a elementos estables. Con eso se elimina el desecho radiactivo. Hay dos proyectos cuyo eje central es diferente. Los europeos están pensando en tres

ciclotrones en línea que consiguen subir la energía de los protones sobre el GeV, que es lo necesario para hacer la transmutación, y los norteamericanos están usando un acelerador lineal. Pero la idea de los dos es producir radiación nuclear hasta transmutarlos a elementos estables. Los italianos piensan que en esta transmutación, además, se puede generar energía. Todo esto está en etapa embrionaria. En el caso de la transmutación estamos en la frontera del conocimiento, todavía. Pero es un tema que se está estudiando en todo el mundo. De hecho, yo estoy dirigiendo a dos tesis de doctorado que están trabajando en un tema que apunta a resolver uno de los problemas que hay en la transmutación. Además, la implementación es cara. Aunque creo que lo caro, es relativo. Es decir, si decimos que vamos a cambiarnos a una generación eléctrica sin emisión y lo que vamos a valorar es eso, entonces vale la pena gastar recursos en transmutar los elementos a estables porque con eso se acaba el talón de Aquiles de la energía nuclear.

Por eso, creo que la generación nucleoelectrónica va a ser la solución para el planeta, pero en la medida en que encontremos la respuesta a todos los problemas que se tienen. Pienso que los reactores que actualmente existen son inaceptables y no son solución para nada. Es decir, no se trata de llegar y construir reactores. No. Se trata de que una vez que tengamos los reactores que nos satisfacen plenamente y tengamos garantías de que esto no va a significar más problemas, entonces podemos reemplazar la generación eléctrica actual por este sistema. Y yo me arriesgo a decir que el año 2015 ya van a estar resueltos los problemas de diseño de los

reactores y los problemas de la transmutación.

La gente le tiene miedo a la energía nuclear, pero creo que es porque ignora lo que se está haciendo y cómo se está haciendo.