
SUPERCONDUCTIVIDAD

FRANCISCO DE LA CRUZ

Centro Atómico Bariloche, Instituto Balseiro 8400 S. C. de Bariloche, RN

Texto aproximado de la conferencia dada el 17 de Octubre de 1991 en la Academia Nacional de Ciencias (Córdoba), con motivo de la incorporación del autor como Miembro Correspondiente.

Dedico esta conferencia a dos personas que el País no aprovecha como debiera: Mario Mariscotti y Conrado Varotto.

Cuando me puse a preparar esta disertación recapacité sobre las causas que pueden haber inducido a que me honren con la distinción que motiva mi presencia en la Academia.

Ustedes han decidido que mi actuación científica se ha hecho merecedora a que mi invitación a ingresar a una Institución que fue creada en épocas en que la ciencia no era reconocida como parte de las actividades culturales de la Argentina. Hubo, en su fundador, un reconocimiento al impacto de la ciencia en la sociedad y él vislumbró un mundo en donde los países que generasen descubrimientos científicos y los volcasen al uso tecnológico jugarían el papel equivalente al de los países colonizadores, en épocas pasadas. Tal tarea no puede consumarse por la decisión de unos pocos. El país todo debe sentir que la ciencia es importante, que está en marcha y que es propia.

En la actualidad no podemos decir que la ciencia y la técnica sean nuestras. Hemos fracasado, nuestra sociedad no comprende qué es la ciencia y como científicos tenemos la frustración de no haber sabido incorpo-

larla a las características culturales de la nación.

Preocupa observar que el tema de la ciencia y de la técnica está presente recurrentemente en los discursos de políticos y gobernantes. Es preocupante, porque ellos representan a la sociedad y a través de sus acciones nos damos cuenta de que las palabras suenan huecas, pues desconocen su significado. No causa menos estupor escuchar a jóvenes estudiantes y, peor, a no tan jóvenes dirigentes, hablar de "ciencia nacional". La falta de conocimiento les induce el horror de enfrentarse a lo que está lejos de las fronteras y las fronteras las tienen encima de sus narices.

La ciencia se hace trabajando intensamente: pocos años atrás un premio Nobel conversaba con estudiantes del Instituto Balseiro. Un estudiante preguntó qué hay que hacer para obtener el premio que él poseía, a lo cual contestó que había que trabajar mucho y que cuando se dejaba de trabajar se seguía pensando en los problemas de la física: se "lavaba uno los dientes pensando en física" y, aún así, el premio no estaba asegurado.

El progreso científico sería muy lento si solamente se basara en el esfuerzo que realizamos los que nos dedicamos a esa actividad. El progreso resulta de la complementación del trabajo y dedicación de muchos con el trabajo y genio de unos pocos. Son pocos los poseedores del genio, hay que descubrirlos, alimentarlos y cui-

darlos. Nuestra organización social dificulta la búsqueda de genios: los asusta, los ahuyenta. Nuestra educación masiva no se encara como actividad estimulante de la iniciativa ni como instrumento idóneo para la búsqueda selectiva de las características más relevantes de cada ser humano. No nos gusta generar modelos vivientes, los preferimos muertos.

La física como ciencia experimental necesita de laboratorios, habitados por gente competente. Formar un buen científico es el producto de años de trabajo continuo, inversiones del dinero de la sociedad y, fundamentalmente, de la aplicación de un cuidadoso mecanismo de selección. Nuestro país ha vivido sobresaltado por continuos y destructivos golpes de estado, donde la estructura militar gobernante (durante largos períodos de su historia) imprimió un criterio selectivo opuesto al determinado por el criterio científico dentro del cual un joven puede dirigir, sin respetar el "escalafón", con la sola condición de estar capacitado. El "escalafón ...", tan apreciado también por nuestras estructuras gremiales y burocráticas tampoco se apiada del espíritu de la ciencia. Cuando pensamos en esas estructuras tratamos de convencernos de que están lejos de dominar nuestro accionar cotidiano, cuando en realidad somos víctimas y victimarios de las mismas. Basta mirar cómo muchas de nuestras sociedades científicas han transformado el carácter académico y de excelencia que debiera caracterizarlas, en instituciones con alto contenido gremial, en unos casos, o permanecen en un letargo con escaso impacto en la sociedad, en otros.

Resulta difícil pensar que seamos capaces de crear una mentalidad científica que responda en forma competente y competitiva. Porque, aunque es habitual que el científico en nuestra sociedad rechace el concepto de competitividad, es necesario reconocer que la actividad científica consiste en aprender para descubrir (llegar primero). Tenemos que correr al lado de japoneses, nortea-

mericanos, europeos ... y esos individuos, además de competir con buenos medios, se entrenan bien y mucho. En esas sociedades solamente algunos son elegidos a participar. Ellos, a través de sus conquistas, transmiten a la nación el espíritu científico. Ese espíritu está incorporado al industrial que planea la inversión económica, al maestro que enseña que los próximos descubrimientos probablemente se realicen en algún laboratorio propio, que sabe adaptar el conocimiento que exponen los científicos para mostrar a los alumnos las bellezas de la intimidad de la naturaleza, indicando que hay que manejarla con cuidado y que la responsabilidad de su utilización recae en políticos, también compenetrados del espíritu científico.

Resulta difícil pensar que nuestra sociedad reaccione a tiempo para generar las medidas indispensables que hagan nuestra nación una nación con ciencia. Es difícil imaginar a nuestro estado generando estructuras con las características necesarias, pero es aterrador imaginarse que haya dirigentes pensando que todo esto pueda arreglarse con una privatización.

Pero si todo fuera así ¿qué vieron ustedes en mí para incorporarme a esta Academia? Con seguridad no fue el genio. Lo que yo he practicado es el trabajo y la dedicación intensa y esas características no fructifican si no hay un ambiente, si no hay un equipo. Las realizaciones que voy a exponer han sido conseguidas, en su totalidad, en la Argentina con participación protagónica de jóvenes argentinos. La experiencia que voy a relatar es una entre otras, de mayor y de menor valor que ocurren en el país y que permiten que haya gente que siga de cerca la evolución científica en el mundo. Estas actividades académicas se unen a algunos proyectos de avanzada tecnológica y divulgación de la ciencia (en este último aspecto es un orgullo disponer de una revista como es Ciencia Hoy). El conjunto de esos proyectos aislados da esperanzas y constituye el germen que debería alimentarse para ha-

cer que nuestro país goce de los beneficios de la ciencia, de los cuales el más inmediato es la libertad e independencia que surge del conocimiento.

Creo que si uno de los principales protagonistas de la física argentina, el Dr. Enrique Gaviola, estuviese aquí diría que me he extendido demasiado en lo que sé menos y que me debería dedicar a discutir sobre lo que se supone debería saber más.

En el año 1986 dos científicos, trabajando en la IBM Suiza, descubrieron que un material cerámico se hacía superconductor a temperaturas considerablemente más altas que las mayores obtenidas en las aleaciones convencionales. Poder transportar energía de un lugar a otro, sin realizar trabajo, es un fenómeno difícil de entender, pues la experiencia nos enseña que (el pecado original) nada se consigue sin trabajo.

El descubrimiento fue aceptado como tal en noviembre de 1986. En febrero de 1987 se iniciaba la investigación en Bariloche, al reproducir exitosamente los resultados obtenidos, por esa época, en unos pocos laboratorios del mundo. Lo relevante en el contexto de mi exposición es entender cómo nos fue posible generar una respuesta tan rápida.

Hacia más de 25 años se había fundado un laboratorio, el de Bajas Temperaturas del Centro Atómico Bariloche. Ese laboratorio creció en madurez, no en personal, a través de una sostenida productividad científica. Madurez no quiere decir vejez: algunos miembros del grupo original no están más en este mundo, otros no están en Bariloche, siguen trabajando en otras partes del planeta. Ello fueron reemplazados por gente más joven y el laboratorio acumulaba y transmitía experiencia a través de los años. Podría decir que alrededor del año 1975 el laboratorio "tenía pantalones largos". La madurez se alcanzó en 15 años de esfuerzo continuado, sin huelgas, sin intervenciones ni presiones políticas y, cosa rara en el país y milagro de Bariloche, sin

que su personal se viese forzado a alejarse del país después de algún golpe de estado.

En el año 1986 estábamos preparados: trabajábamos en Superconductividad, teníamos desarrollada la tecnología criogénica propia, estábamos equipados con el instrumental electrónico necesario. Pero esto no era lo más importante: estábamos rodeados de grupos con experiencia y conocimiento en otras disciplinas, de científicos que saben de materiales, que conocen la estructura íntima de la materia y modelan las interacciones que determinan las relevantes propiedades que observamos diariamente, entre ellas la Superconductividad, otros que intuyen cómo construir un nuevo material y todos esos grupos alimentados por el ansia de conocer de unos cuantos elegidos estudiantes, que dan sentido y son el motor de mucho de lo que realizamos.

Un ingrediente esencial que pone de manifiesto el carácter multinacional de la ciencia fue la rapidez en la transmisión de conocimientos. Esto no se planea: se hace, se alcanza, cuando la calidad del trabajo que se realiza en un laboratorio es de interés de otro. Solamente así los planes de cooperación de tornan en programas de trueque, elemento básico para el desarrollo científico. Desde un laboratorio norteamericano, con el cual colaborábamos, nos hicieron conocer las novedades que empezaban a agitar a todos los laboratorios de física del mundo. Se había dado paso a la aparición de lo denominados Superconductores de Alta Temperatura, SAT. Nos dieron detalles suficientes para que personal del laboratorio de Desarrollo del CAB, ducho en la fabricación de cerámicos, pudiese manos a la obra. No fue la casualidad la que determinó el resultado exitoso: había personal capacitado en la fabricación de materiales y existía el stock de drogas necesario para fabricarlos. Este esfuerzo conjunto entre especialistas en Ciencia de Materiales y físicos del Estado Sólido permitió que en un período de 7 días, desde que se nos proveyó la información, repro-

dujéramos los materiales deseados y se iniciase investigación (extendida hoy a muchos laboratorios del país) en una de las temáticas que han despertado más interés en el mundo científico y tecnológico y que ha concentrado un esfuerzo conjunto, sin precedentes, de más de 10.000 físicos y químicos.

¿Por qué es importante esta temática? ¿Por qué se llaman Superconductores de Alta Temperatura?. El estudio de estos materiales ha abierto, hasta ahora, más incógnitas que respuestas; y el hecho de que presenten un fenómeno tan espectacular como el de la Superconductividad ha contribuido a que una gran cantidad de excelentes científicos trabajen en el tema.

Una de las características asociadas a la aparición del fenómeno de la Superconductividad es que ocurre a temperaturas muy inferiores a la ambiente. Esto implica que tanto la investigación como las aplicaciones tecnológicas deban realizarse a bajas temperaturas, con el consiguiente esfuerzo asociado a la producción y mantenimiento de las mismas.

Los primeros superconductores fueron descubiertos en el año 1911 a una temperatura de unos 4 grados por encima del cero absoluto (-273°C). A partir de entonces el esfuerzo realizado por muchos investigadores permitió encontrar o diseñar materiales que se hacían superconductores a mayores temperaturas. El trabajo fue arduo y menos exitoso que lo que se deseaba. Basta pensar que en el año 1986 la temperatura mayor a la que se había descubierto superconductividad no superaba los 25 grados por encima del cero absoluto. Es en ese año cuando se descubre la Superconductividad en Oxidos Metálicos, y en menos de un año desde el primer hallazgo se descubren superconductores a temperaturas que alcanzan los 100 grados por encima del cero absoluto. Es comprensible que semejante salto haya inducido a denominar Superconductores de Altas Temperaturas a

aquéllos descubiertos en 1986 y 1987. La definición tiene también sentido si se piensa en las dificultades y costos que significa la obtención de la temperatura a la cual los materiales se hacen superconductores. Los superconductores de bajas temperaturas deben refrigerarse por medio de helio licuado, cuyo costo a precio internacional es del orden de 4US\$ por litro, mientras que los nuevos superconductores alcanzan esa propiedad cuando se los enfría con nitrógeno líquido, a un precio de 0,25 US\$ por litro (en la Argentina del precio es más elevado).

En los metales simples los electrones responsables de la conducción eléctrica pueden considerarse libres. La conducción se debe al avance de los electrones en la dirección de la variación del voltaje, abriéndose camino a través de choques con los átomos, disipando energía en esos choques, dando origen a la resistencia eléctrica. La conducción eléctrica es el resultado de promediar el número de electrones que se mueven en una dirección. Lo importante y curioso es que el movimiento de cada electrón puede considerarse independiente de todos los otros, a pesar que sabemos que cada electrón tiene una carga eléctrica. La comprensión del porqué de este comportamiento ha sido uno de los grandes logros de los conceptos fundamentales que se introdujeron en la física, a principios de siglo.

La Superconductividad, descubierta en 1911, no podía explicarse con las exitosas teorías que describían la conducción eléctrica. Recién en 1956 culminó un gran esfuerzo que mostró que ese nuevo estado de la materia requería la participación coordinada y simultánea de todos los electrones. A la temperatura en que ocurre el fenómeno, se pone de manifiesto una forma singular de interacción entre los electrones, de tal suerte que a partir de esa temperatura y a temperaturas menores el movimiento de cada electrón está condicionado por el movimiento de los otros. Ese estado de la materia tiene algún parecido, en escala ma-

croscópica, al movimiento de los electrones alrededor del núcleo. En este caso también los electrones se mueven sin resistencia.

El gran problema que introducen los SAT al conocimiento es un importante desafío. No entendemos el comportamiento de los electrones en esos materiales, ni aún cuando no son superconductores: no obedecen al esquema que habíamos aceptado para los metales simples. La interacción entre electrones es importante aún antes de hacerse superconductores (no pueden considerarse como libres), no conocemos cómo es esa interacción en el estado normal y menos cuáles son las que inducen la Superconductividad. Es conveniente recalcar la importancia de conocer la naturaleza de esos mecanismos: por un lado porque es un desafío para el conocimiento y, desde un punto de vista más pragmático, porque la ingeniería de materiales con propiedades predeterminadas requiere de ese conocimiento. Un grupo de físicos de Bariloche encara este estudio con relevante participación en el contexto internacional.

Uno de los usos más apreciados de la Superconductividad es la posibilidad de transportar muy intensas corrientes sin disipar energía. Un superconductor de los tradicionales puede transportar densidades de corriente del orden de los 10 millones de amperes por centímetro cuadrado. Esto es 100.000 veces más de lo que puede transportar el cobre, a niveles de disipación aceptables. Sin embargo el paso de corriente eléctrica implica la generación de campos magnéticos y una característica particular de los superconductores es que el campo magnético no penetra en forma uniforme sino a través de tubos, denominados vórtices, en donde se concentra el campo magnético. Esos tubos se distribuyen equidistantes entre sí, sin una densidad determinada por la intensidad del campo. La corriente que circula por el material hace fuerza sobre los tubos magnéticos y si los logra mover se genera disipación de energía, perdiendo la propiedad que despierta más

interés tecnológico. Los 10 millones de amperes por centímetro cuadrado se consiguieron después de muchos años de estudio y experimentación, donde los metalurgistas y los físicos aprendieron a generar trampas en el material para que no se muevan los vórtices. También en este aspecto la Superconductividad de Alta Temperatura nos juega una mala pasada. No sabemos aún porqué, pero a las temperaturas donde las aplicaciones tecnológicas tienen más interés, las trampas para los vórtices no son efectivas y la disipación es muy alta. Paradójicamente, podría decirse que los Superconductores de Alta Temperatura son excelentes Superconductores para aplicaciones tecnológicas, si se los usa a bajas temperaturas. Este problema es un desafío al conocimiento. Debemos averiguar si la pérdida de efectividad de las trampas para vórtices es una propiedad asociada a las trampas o es una característica de los vórtices. Para resolver el enigma trabajan muchos científicos y nosotros, en Bariloche, estamos contribuyendo a su resolución.

La investigación de los superconductores es una apasionante aventura de la que están participando un buen número de investigadores argentinos. El éxito alcanzado se debe a que pudo utilizarse parte del conocimiento que se generó en el país. Dos cosas son importantes hacia el futuro: por un lado que se tenga la constancia y el estímulo para proseguir el trabajo hasta que se contesten la mayoría de las incógnitas que encierran los nuevos materiales y de esa forma se sepa el posible futuro tecnológico de los mismos; por otra parte, la prosecución del trabajo con el apoyo económico necesario debería contribuir a consolidar una infraestructura técnico-científica que permita estar mejor preparados para atacar la investigación de nuevos materiales y establecer el estimulante nexo entre la ciencia de materiales y la industria.

No puedo terminar esta disertación sin agradecer a algunos de los que tanto han ayudado a que trabaje y siga trabajando.

El Centro Atómico y el Instituto Balseiro han sido el ámbito donde me enseñaron y donde aprendo enseñando. A ello contribuye un grupo de personas y una infraestructura dedicada a hacer posible el aprendizaje y el trabajo creativo. Desde la Edad Media el símbolo de esa infraestructura es la Biblioteca. Ojalá nuestra Institución no se olvide de la línea que trazó su fundador.

Hubo un cordobés, José Antonio Balseiro, que me mostró lo que era la ciencia y un norteamericano, John Wheatley, que me enseñó como se hacía.

Hay dos compañeros, Blas Alascio y Arturo López Dávalos, con los que comparto la aventura de querer hacer ciencia en nuestro país.

El trabajo se hizo en un grupo donde técnicos y científicos construyeron un lugar donde el trabajo es alegría.

Nunca podría haber podido entender algo sino fuera por el espíritu inquisitivo y poco condescendiente de nuestros estudiantes.

Nunca podría haberme dedicado al trabajo sino fuera por la comprensión y apoyo de mi familia y, muy en particular de mi colega, amiga, esposa y mucho más.

Revista de Enseñanza de la Física

NOVEDADES