

VISIÓN PERSONAL DE UNA HISTORIA COMPARTIDA: INVESTIGACIÓN A BAJAS TEMPERATURAS EN BARILOCHE

Palabras clave: Materia Condensada, Bajas Temperaturas, Superconductividad.
Key words: Condensed Matter, Low Temperatures, Superconductivity.

■ Francisco de la Cruz

Centro Atómico Bariloche – Instituto Balseiro

delacruz@cab.cnea.gov.ar

La Editorial de la revista me invitó a escribir un artículo sugiriendo proveer “... una visión personal incorporando reflexiones sobre contexto, motivaciones y decisiones que definieron las líneas de investigación y los logros conquistados”. En este artículo pongo de manifiesto que la motivación existió, que se produjeron resultados de relevancia científica y técnica y que los logros tuvieron como principal consecuencia la formación de científicos y técnicos que se distinguieron en el país y en el extranjero.

Soy un físico hecho en la Argentina con buena parte de la formación recibida del extranjero. El primer entrenamiento lo adquirí en el Instituto de Física/Centro Atómico Bariloche como estudiante (1958-1962). Mis primeros pasos en investigación tuvieron lugar en la misma institución participando, con otros cuatro licenciados en Física, de la construcción

de un laboratorio de Bajas Temperaturas (BT), dedicado a estudiar la materia cerca del cero absoluto de temperatura ($0\text{ K} = -273\text{ °C}$).

La construcción del laboratorio fue una obra ciclópea donde tres técnicos, cinco licenciados en física, dos investigadores extranjeros y la Institución se propusieron un objetivo que, a priori, parecería llamado al fracaso. No fue así.

Abandonar el laboratorio para continuar la formación científica en el exterior requirió la reestructuración del grupo para sostener la actividad. En ese sentido jugó un papel importante la presencia del primer “cooperante” francés en Argentina. A mi regreso a Bariloche (1971) había nuevos estudiantes, una línea de investigación incipiente y muchas incógnitas sobre el futuro. Estudiantes, desafíos, colaboraciones y presencia de visitantes nacionales

y extranjeros creó un ambiente de trabajo que dio frutos, algunas veces también sinsabores. Desde mi regreso y hasta hace una decena de años continué involucrado en el desarrollo del laboratorio, la mayor parte del tiempo como jefe formal y a veces sin cargo. En ese período se consolidaron líneas de investigación y, en todo caso, fue época de experiencia intensa y participativa que llevó al laboratorio a ser reconocido internacionalmente.

Por las características de la invitación trataré de transmitir la experiencia vivida y compartida con los integrantes del grupo que, como suele suceder, consta de ilusiones y también fracasos. Describo actividades que involucran a los otrora estudiantes de doctorado y licenciatura que tuve el privilegio de asesorar y aprender de sus tesis.

Es importante remarcar que en lo referido a la descripción del funcionamiento y de las motivaciones que me llevaron a trabajar en el IB-CAB las he compartido, como siempre, con M.E. Porta que desde el principio ha sido inspiradora y compañera en casa y en el laboratorio.

1. PERÍODO (1955-1958). ANTECEDENTES

Nada de lo hecho se hubiera concretado de no ser por José Antonio Balseiro que convirtió en realidad lo que parecía una quimera, el Instituto de Física (IB) en el Centro Atómico Bariloche (CAB). El convenio entre la Universidad Nacional de Cuyo (UNC) y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) en 1955 tuvo la finalidad de crear una institución de características originales, aun dentro del contexto internacional. Su objetivo principal fue que el grupo de 15 estudiantes, elegidos anualmente, se convirtiesen en sólidos investigadores en ciencia y/o tecnología como resultado de la formación intelectual, propia del ámbito universitario y de la calidad profesional demandada por la CNEA, Laboratorio Nacional dedicado a investigación y desarrollo de tecnología.

Balseiro se hizo cargo del Instituto en 1955 y en 1958 "despide" a la primera promoción de Licenciados en Física con un discurso memorable donde dice "...Respeto por el que más sabe y puede más, pero también respeto por el menos dotado, el que puede menos pero que realiza su labor con humildad, tesón y cariño. No creo que haya un índice más patético de incultura, exceptuando la violencia, que la falta de respeto por el trabajo ajeno..."

Ingresé con la cuarta camada en 1958. Era imposible sustraerse al espíritu creativo que Balseiro y colaboradores imprimían a la obra. Sólo

así se explica que en pocos años y con escasos presupuestos se afianzara una institución de promisorios horizontes, que los estudiantes podíamos intuir aunque lejos estábamos de poder interpretar. El trabajo intenso exigía dedicación hasta el límite de las fuerzas, surgían conflictos que se resolvían con diálogo, tenso algunas veces pero nunca el conflicto paralizó la actividad. Al poco tiempo de su creación se comenzó con el diseño y construcción de laboratorios de enseñanza y de investigación. Los estudiantes asistíamos a clases teóricas y de laboratorio con profesores y ayudantes que, simultáneamente, participaban de la creación de grupos de investigación.

2. PERÍODO (1959-1963). PRELIMINARES DEL LABORATORIO (BT)

El factor determinante en mi actividad fue la propuesta de un físico extranjero, J.M. Daniels, a Balseiro durante una visita a Argentina en 1958. Daniels proponía la creación de un Laboratorio dedicado a investigar la materia a través del estudio de su comportamiento a temperaturas cercanas al cero absoluto, algo que a todas luces podría considerarse de imposible instrumentación en el Bariloche de la época.

A fines de la década de los 50 se inició el proyecto en Bariloche, ciudad enmarcada en un paisaje de extrema belleza pero sin tradición científica ni medios tecnológicos que sugiriesen la capacidad de lanzar un complejo programa de investigación.

En 1958 Daniels propuso que tres de los licenciados en Física de la segunda promoción (1959) del IB se trasladasen a la Universidad de British Columbia (Canadá) donde era profesor. La misión encomendada a los recién licenciados, M. E. Porta, J. Cotignola y O. Vilches es aún

PROGRAMA DANIELS Laboratorio BT Fase I (1958-1960)

Objetivo: desarrollo y construcción de tecnología criogénica como respuesta a un proyecto científico de alta calidad: Orientación Nuclear.

Aproximarse al cero absoluto utilizando líquidos criogénicos en cascada y desmagnetización adiabática. (Método de Oxford)

-Compra de licuefactor de aire.

-Diseño y construcción de un licuefactor de hidrógeno.

-Diseño y construcción de un licuefactor de helio (⁴He).

-Diseño y construcción de la infraestructura para desmagnetización adiabática.

Objetivo secundario: Entrenar en tecnología de BT a futuros investigadores para que ideas y proyectos de investigación no se vean impedidos por falta de capacitación en tecnología innovadora:

VITAL EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO

hoy inusual. Habitualmente, a los jóvenes licenciados que se dirigen al exterior los anima el propósito de desarrollar la investigación apta para doctorarse. En este caso, su misión consistía en recibir entrenamiento para diseñar, construir y operar el equipamiento a trasplantar a Bariloche, para establecer un Laboratorio de BT. Sólo después estarían en condiciones de aspirar a desarrollar tesis doctorales. Aceptar un desafío de esa naturaleza no es imaginable a no ser por la confianza que Balseiro era capaz de transmitir a estos pioneros de la ciencia Argentina. La complejidad de las tareas hacía prever años de trabajo técnico para

luego, de tener éxito, depender de la presencia de algún investigador formado, orientador de la temática a investigar.

Es pertinente preguntarse si fue una buena idea desarrollar tecnología dedicada a la investigación a tan bajas temperaturas. Fue excelente y es admirable que Balseiro, físico teórico con especialidad alejada del estudio de materiales, tuviera la visión y decisión de encarar el desafío. A mediados del siglo pasado la investigación a BT constituía un desafío al conocimiento. Se habían descubierto fenómenos extraordinarios como la superconductividad (transporte de electricidad sin gasto de energía) y la superfluidez (transporte de líquidos sin rozamiento) que hicieron necesario reformular los modelos físicos y químicos que describían el comportamiento de la materia.

La sugerencia de Daniels y la determinación de Balseiro fueron actos de visión y audacia remarcable. Para participar de esta aventura del conocimiento se debía generar tecnología de avanzada como la desarrollada en Oxford, donde Daniels se había doctorado.

La obtención de BT requería la construcción de licuefactores de diversos gases. Sólo el aire licuado que provee la temperatura cercana a los 77°K fue accesible por la adquisición de un licuefactor comercial, financiado por uno de los primeros subsidios que otorgó el CONICET dirigido por Houssay. El resto de los licuefactores fueron parcialmente construidos en British Columbia (1959) para ser completados y armados en Bariloche. La desmagnetización adiabática, etapa final para lograr las más bajas temperaturas, requería un importante campo magnético generado por un electroimán también adquirido con el mismo

subsidio. Los tres licenciados del IB estuvieron un año en British Columbia y regresaron a Bariloche en Octubre de 1960 para continuar la construcción del laboratorio bajo la dirección de Daniels, quien ya había sugerido el nombre de J. C. Wheatley como sucesor en la dirección del proyecto, después de su regreso a Vancouver. Porta contactó a Wheatley durante el último mes de su estadía en el exterior (1960) para describirle el proyecto de Bariloche y estimularlo a aceptar el desafío.

Con el paso de los años Wheatley recibió muchas distinciones, entre ellas el premio *Fritz London* (máxima distinción en el área), fue miembro de la Academia de Ciencias de EE.UU. e inclusive fue candidato a recibir el premio Nobel en Física por sus distinguidas investigaciones de las propiedades de líquidos cuánticos. Falleció imprevistamente en 1986, a la edad de 59 años.

3. PERÍODO (1961-1963). CONSTRUCCIÓN Y COMIENZO

El proyecto fue continuado por este joven investigador (32 años) que se trasladó a Bariloche en Agosto de 1961, meses después de la partida de Daniels. Wheatley encontró en Bariloche un grupo integrado por los tres licenciados que regresaron de Canadá y una nueva integrante, Ana Celia Mota, licenciada en Física en el IB (1960). Pocos meses después me incorporé al grupo durante mi último año de licenciatura.

Hay una frase de Vilches que describe bien la tarea de Wheatley: *“El laboratorio era una superposición de equipamiento que debía finalizarse y ensamblarse”*. Con Wheatley se inició un período de trabajo muy intenso. Al poco tiempo se incorporaron dos técnicos. Uno de ellos, H. Tutzauer recién recibido del Colegio

Industrial de Bariloche, fue un excelente apoyo de mucha confianza para Wheatley. En un año de trabajo se montaron los licuefactores de hidrógeno y helio y se completaron las instalaciones edilicias, de control y seguridad “mínimas” requeridas para un laboratorio de alta complejidad.

La dirección de Wheatley fue determinante para culminar lo que puede considerarse una epopeya. Trabajaba más que cualquiera de los integrantes del grupo. A las siete de la mañana estaba en el laboratorio y salvo breves períodos para almuerzo o cena permanecía en él hasta bien entrada la noche. Nosotros no trabajábamos los domingos, él sí. Las tareas semanales se mostraban escritas en listas con el nombre de cada uno de los ejecutores. Sólo él tenía noción del avance global de la construcción del equipamiento.

Dicho lo anterior es necesario reconocer que ningún esfuerzo, por grande que éste sea, puede alcanzar metas concretas de no existir la base donde apoyar los andamios. El CAB en sus pocos años de vida había aglutinado conocimiento suficiente para encarar desafíos. La biblioteca del CAB luchaba por obtener medios económicos para sostener suscripciones de revistas especializadas, el personal administrativo trabajaba en oficinas dignas, los técnicos desarrollaban tareas de precisión en talleres generales y laboratorios y el personal de maestranza mantenía edificios y espacios públicos, todo ello contribuyendo a construir un adecuado ambiente para albergar el desafío.

En esos primeros años de vida se cimentaron diversos laboratorios de investigación (Física Atómica, Resonancia Magnética, Física de Neutrones, Física de Metales, Física de Bajas Temperaturas, Física Teórica...)

y se crecía tanto en actividades experimentales como teóricas que se complementaban en pos del éxito.

Wheatley obtuvo importantes subsidios de la *National Science Foundation* que destinó a la adquisición de instrumental electrónico y materiales de difícil compra en Argentina. En la visión de este "recién llegado" era indispensable que la capacidad creativa del investigador en Bariloche no se viese limitada por la falta de elementos para construir la infraestructura para hacer ciencia. El investigador debía ser un buen científico y un reconocido técnico.

PROGRAMA WHEATLEY – Laboratorio BT -Fase II (1961-63)

La presencia de Wheatley marca un antes y un después en el método de trabajo. Se autoimpone ser un modelo de físico experimental (los datos tienen que representar la verdad rigurosa de la naturaleza a través de sus varias facetas). Será un problema de teóricos inventar modelos que se ajusten a la variedad de resultados experimentales por él adquiridos. Así entrena a sus estudiantes.

La imaginación se debe concentrar en el diseño inteligente del experimento.

No permite claudicaciones por cansancio ni libertades en interpretación caprichosa por falta de rigurosidad experimental.

Durante 1961 empezamos con las tareas para alcanzar las bajas temperaturas: purificamos y licuamos H_2 , 4He y 3He para lograr la temperatura base de 0.3 K a partir de la cual se hacía la desmagnetización adiabática. Antes de regresar Wheatley a EE.UU. y luego de largos meses de intenso trabajo se alcanzó por primera vez en América del Sur, en la Patagonia, temperaturas de 15

miligrados por encima del cero absoluto. Era tiempo para optimizar los sistemas de medición en vistas a iniciar la investigación.

Desde mi percepción los dos investigadores que hicieron posible la historia, Daniels y Wheatley, fueron excepcionales con características muy diferentes.

Para Daniels el resultado experimental era un componente imprescindible, pero no central, para corroborar su visión del problema de la física que encaraba. Era una necesidad, pero la belleza residía en la concepción del problema. La verificación experimental era un complemento.

Wheatley centraba el esfuerzo en el diseño del experimento de tal suerte que sus resultados fueran tomados con la certeza de que eran inobjetables: marca "Wheatley". Los teóricos deberán preocuparse por inventar modelos que se ajusten a sus datos.

Es pertinente indicar que el éxito del laboratorio fue inspirador para que la *American Physical Society* (APS) establezca el premio: *APS John Wheatley Award - "To honor and recognize the dedication of physicists who have made contributions to the development of physics in countries of the third world"*.

Wheatley programó cinco temas de tesis doctorales, una para cada uno de los licenciados que inicialmente participamos en la construcción del laboratorio.

Para seguir el desarrollo de actividades de su laboratorio en la Universidad de Illinois (Urbana) Wheatley había instalado un transmisor y receptor de onda corta en la Univer-

sidad y en el CAB. Todas las semanas había discusión de los resultados a través de la radio entre Wheatley y A. Anderson, su mano derecha en el laboratorio de Urbana. Cuando Wheatley regresó a Urbana dejó instrucciones para seguir con el mismo *modus operandi* a los fines de dirigir a distancia el trabajo de los cinco doctorandos.

Teníamos la responsabilidad y el desafío de hacer funcionar el laboratorio y cumplir con los planes encomendados. Cada uno se había especializado en alguno de los requerimientos técnicos para llegar a temperaturas cercanas al cero absoluto pero no teníamos suficiente preparación para responder a la compleja operación que requería la investigación.

Típicamente el operativo para alcanzar los miligrados Kelvin empezaba el lunes a la madrugada licuando H_2 , para continuar con el licuado del 4He y 3He durante el martes y proseguir con la desmagnetización adiabática el miércoles o jueves para hacer mediciones en el resto de la semana. Este proceso implicaba que todos los miembros del grupo hicieran turnos de trabajo rotativo. En el comienzo de esta operación, y por muchos meses, la tarea a muy bajas temperaturas se centraba en detectar y solucionar problemas experimentales que impedían el deseado comportamiento del sistema. Se hacía consulta radial con Wheatley, se calentaba el equipo, se producían las correcciones técnicas sugeridas y se enfriaba de nuevo para verificar el éxito o fracaso.

4. PERÍODO (1963-1968) HACIA EL DOCTORADO

La ausencia de Wheatley no disminuyó la intensidad de trabajo del grupo de Bariloche pero retardó la capacidad de lograr resultados cien-

tíficos de relevancia que permitiesen proyectar la realización de tesis doctorales en los plazos deseados. Surgieron dudas sobre la viabilidad del proyecto ante la ausencia de Wheatley. Tres miembros del grupo, Cotignola, Porta y de la Cruz, decidieron abandonar el programa de tesis proyectado y buscar temas de investigación a temperaturas que superasen 1K, acortando los tiempos para hacer experimentos. Esto causó tirantez en las relaciones con Wheatley que quedó, de hecho, desvinculado de la dirección de las respectivas tesis. Después de algún tiempo Vilches decidió terminar su tesis en Illinois con Wheatley, presentándola en la UNC en 1965. Mota permaneció en Bariloche desarrollando su tesis, dirigida por Wheatley, logrando resultados destacables en la investigación de ^3He líquido desde temperaturas cercanas al cero absoluto. Terminada su tesis (1967) partió a seguir su trabajo científico en Estados Unidos.

Después de la partida de Wheatley y antes de encarar mi posible tesis doctoral decidimos en consenso con M. E. Porta (con quien había contraído matrimonio), R. Platzeck y J. M. Cotignola investigar un tema de carácter científico-tecnológico que Wheatley había propuesto: el estudio de la conducción térmica de cintas de zinc en estado normal y superconductor a temperaturas cercanas al cero absoluto. Éste fue el primer trabajo en que participé publicado en una revista de circulación internacional (1967), utilizando la infraestructura diseñada por Wheatley.

Habían transcurrido ocho años de intenso trabajo de un grupo de cerca de una docena de profesionales y técnicos en el laboratorio, el esfuerzo de varios expertos extranjeros y el apoyo de una institución para conseguir los primeros pasos del todavía duro porvenir.

Pese a nuestra deserción estábamos convencidos de la obra extraordinaria que Wheatley había hecho en Bariloche. Sería responsabilidad nuestra tratar de que su obra fructificara y sirviera para aquellos que transitaran como estudiantes y profesionales por el laboratorio de Bariloche. Mucho nos ayudó la comprensión y apoyo del Jefe del Laboratorio en esa época, Ricardo Platzeck, y del director del CAB, Carlos Mallmann, que se hizo cargo de la dirección poco después del fallecimiento de Balserio (1962).

Desprenderse de la tutela de Wheatley no era fácil pero fue el desafío que decidimos encarar. Pretendimos formar un equipo de trabajo en procura de sostener el mejor laboratorio posible y de elegir temas de investigación aptos para tesis de doctorado. En una ocasión un reconocido ex alumno de Bariloche, residente en el exterior, que nos visitó me preguntó si era consciente de la decisión tomada y lo que podía significar haber dejado de lado la guía de Wheatley. Le dije que sí y traté de justificarlo...me dijo: *si "sos" consciente está bien, quería estar seguro.*

Transcurrieron años de estudio y construcción de infraestructura hasta comenzar con la medición de propiedades de conducción eléctrica y térmica de metales puros a bajas temperaturas. No sé si lo que describí hasta aquí puede considerarse como estrategia, tal como pide la editorial, más bien fue la respuesta razonada a una necesidad. Tal vez puedo indicar como estrategia el método que utilizamos para decidir si nuestros resultados de investigación serían aptos para una tesis de doctorado con nivel internacional: el lema fue esperar hasta que el trabajo sometido a referato fuera aceptado para publicarse en una revista internacional de calidad tipo *Physical Review*.

Las tesis de Cotignola, Porta y de la Cruz versaron sobre el estudio de transporte de electricidad y calor en metales puros. Ricardo Platzeck leyó nuestros trabajos y accedió a ser nuestro director de tesis. Los resultados fueron publicados en revistas de prestigio. Cotignola fue el primero en presentar su tesis a principios de 1968, viajando poco después a Francia para su posgrado.

Por mi forma de razonar, la posibilidad de atacar un tema de investigación requiere alcanzar la comprensión básica del problema en forma tal que me sea posible poner en palabras conceptos sumergidos en modelos matemáticos. Mucho me ayudaron, en mis comienzos y después, dos compañeros teóricos, B. Alascio y A. López.

La Dirección del CAB tramitó la presencia de un prestigioso científico, el Prof. C. Gorter de Holanda, para integrar el tribunal de tesis para Porta y para mí. Sus palabras y comentarios fueron elogiosos sobre los éxitos conseguidos pero pusieron un claro marco sobre la física que habíamos hecho. Dijo algo así como que las tesis eran muy buenas y serias y que si bien los temas desarrollados no eran de la mayor actualidad le hacían recordar el trabajo en el laboratorio *Kamerlingh Onnes* de la Universidad de Leiden, después de finalizar la guerra. Estas palabras encerraban un elogio y un desafío. Me quedaron muy grabadas y fueron estímulo para mantener la calidad y perseguir el impacto a través de los años.

Durante la preparación de las tesis intercambiamos preocupaciones con la que ya era mi esposa sobre la situación en que quedaría el laboratorio en el período en que nos alejásemos para continuar con el aprendizaje en el exterior. Era imperioso elaborar una estrategia para evitar

que el esfuerzo hecho por tantos se perdiese.

Algunos alumnos del IB habían mostrado su interés en realizar sus primeras experiencias en investigación en el laboratorio. Pronto O. Bressan y C. Luengo aparecerían como co-autores en algunas de nuestras primeras publicaciones.

Era tiempo para hacer un posdoctorado en un centro donde se hiciese ciencia de avanzada. Por otra parte, era difícil imaginar la posibilidad de continuar una vida de trabajo conjunto en el exterior y educar nuestros dos pequeños hijos. Tomamos una decisión que marcó las características del trabajo futuro. Yo buscaría un trabajo posdoctoral para luego analizar el desarrollo de las aspiraciones conjuntas. Estábamos convencidos que el retorno debería ocurrir lo antes posible pero sólo después de haber medido nuestras posibilidades para continuar un trabajo creativo en Bariloche.

Durante 1965 Manuel Cardona se encontraba de visita en el Departamento de Física de la UBA. Era Profesor en la *Brown University* y reconocido internacionalmente como brillante investigador en semiconductores. Consideraba que la investigación de punta en el área se estaba agotando y decidió dirigir su interés hacia los materiales superconductores. Durante su estadía en Buenos Aires aceptó una invitación para una corta visita a Bariloche. Cardona me llevaba ya muchos años en conocimiento pero muy pocos en edad. Congeniamos y la conversación iniciada una mañana en el laboratorio continuó en casa durante la noche. Antes de partir se manifestó dispuesto a ayudar para que pudiera proseguir mi formación en otro lugar cuando fuera necesario.

Poco antes de finalizar el trabajo de tesis, María Elena fue informa-

da de la visita de un "cooperante" francés proveniente de Brasil. Este investigador describió una iniciativa del gobierno de Francia: aquellos franceses que estuviesen realizando su tesis doctoral podían postergar el servicio militar hasta finalizar el doctorado. El recién doctorado podía proponer una misión profesional en el exterior, solventada por el gobierno de Francia, en lugar del servicio militar tradicional.

Los trámites ante la embajada francesa culminaron exitosamente con el arribo de D. Thoulouze y familia (abril de 1967), un excelente físico en el área de magnetismo a muy bajas temperaturas. Thoulouze fue el primer cooperante francés en Argentina. Con el tiempo fueron seis los cooperantes que colaboraron con el desarrollo del laboratorio.

Thoulouze permaneció algo más de un año (1967-1969) a cargo del laboratorio y abrió una línea de investigación en magnetismo. Con el paso del tiempo J. Sereni la consolidó como una de las actividades principales.

Al terminar mi tesis pedí ayuda a Cardona para conseguir un puesto de posdoctorado. En 1967 me lo ofreció y en 1968 pasé a ser su primer *Research Associate*. Cardona había sostenido su línea en el estudio de Superconductividad, un estudiante se había doctorado y otro comenzaba su tesis. Sin embargo, su talento y extraordinaria capacidad de trabajo se centraba de nuevo en semiconductores, que volvieron a ser objeto de gran actividad científica luego de descubrir interesantes fenómenos utilizando técnicas de modulación óptica.

En este período publiqué 4 trabajos en revistas indexadas, en colaboración con los otros doctorandos. Ver detalles en **BIBLIOGRAFÍA**.

5. PERÍODO (1968-1971) *BROWN UNIVERSITY* (EE. UU.)

Al poco tiempo de estar con Cardona pude comparar estilos en la forma de dirigir el trabajo científico. Similar a Wheatley en la dedicación al trabajo, exigencia de rendimiento a sus estudiantes y búsqueda de rigurosidad científica, difería en el método. Cardona dejaba mayor libertad en la estrategia a seguir para atacar un problema. Discutía las formas mejores para encontrar una solución pero permitía que la selección final estuviese en las manos del ejecutor del experimento. Su influencia ha sido determinante en mi forma de pensar y encarar la actividad científica.

Mi estadía en Brown y posteriores visitas a EE.UU. dejaron profundas huellas en mi visión de cómo y para qué hacer ciencia. Descubrí que cuando el investigador solicita un subsidio para desarrollar investigación también debe incluir recursos para sostener económicamente al o los doctorandos y para el sueldo de posdoctorados e inclusive el dinero para cubrir su propio sueldo en períodos de vacaciones, pues la Universidad no le paga al profesor cuando no enseña. Los recursos se adquieren a través de un sistema competitivo en función de la calidad de los proyectos presentados a agencias dedicadas a solventar la investigación. Es un sistema tenso y de esfuerzo para el investigador pero es una buena forma de selección y de cuidar que los fondos de la sociedad den frutos y se rindan adecuadamente. Un desempeño pobre del estudiante no es sólo su responsabilidad, también pesa sobre el responsable del subsidio. No hay forma mejor de hacer recordar que los recursos deben asociarse al buen uso que no al abuso de ellos.

Cardona me permitió elegir entre los temas de investigación en

marcha. Teniendo en cuenta nuestra decisión de regresar a Bariloche me decidí por el área de superconductividad, más adecuada a la infraestructura disponible en Bariloche.

Para ayudar al mantenimiento familiar María Elena enseñó ciencias en escuelas secundarias y tuvo un trabajo de dedicación parcial en el grupo de Bajas Temperaturas dirigido por G. Seidel, contribuyendo a construir el primer criostato de dilución en la Universidad. Este laboratorio estaba frente al de Cardona y, con el beneplácito de éste, trabajé y realicé buena parte de mis experimentos allí, colaborando también con Seidel y sus estudiantes.

En la bibliografía se puede encontrar una reseña en función del tiempo de los temas investigados, nombres de colaboradores e instituciones a las que pertenecían.

En los tres años en Brown publiqué un número importante de trabajos y asistí y expuse en varias reuniones científicas. Los trabajos fueron serios pero no de alta repercusión. Esta fue una característica de muchos de los trabajos que realicé durante varios años. Si de estrategia se trata creo estar en lo cierto si describo mi trabajo como el resultado de usar mi conocimiento de la física para diseñar con originalidad el estudio de algún aspecto particular de un problema. La formación de posgrado al lado de Cardona y Seidel fue de suma importancia para consolidar el futuro trabajo en Bariloche.

En Brown contribuí a la dirección de dos doctorandos, uno de Cardona y otro de Seidel. Con este último participamos del estudio de fluctuaciones superconductoras en la proximidad de la transición de fase. La detección del diamagnetismo incipiente inducido por las

fluctuaciones sólo puede detectarse usando magnetómetros ultrasensibles basados en junturas Josephson (SQUID). Fuimos de los primeros grupos en EE.UU. que adquirieron este tipo de magnetómetros.

Seidel y yo preparamos un proyecto de colaboración a ser realizado en Bariloche. Habíamos sido informados que la colaboración entre EE.UU. y Argentina había sido firmada a nivel político. La *National Science Foundation* disponía de los fondos pero la Secretaría de Ciencia no respondía a los contactos hechos desde la NSF. Después de nuestro regreso a Argentina pudimos lograr que la Argentina respondiese y pusiera en marcha el acuerdo. Nuestro proyecto fue el primer convenio de esta naturaleza entre la NSF y la Secretaría de Ciencia.

En este período publiqué 7 trabajos en revistas indexadas. Ver **BIBLIOGRAFÍA**

6. PERÍODO (1972-1974) EL REGRESO Y PRIMEROS TRABAJOS

Regresamos a Bariloche en octubre de 1971. Al poco tiempo fui informado de que un muy buen alumno del IB, Enrique Godfrin, deseaba hacer su trabajo final de Licenciatura conmigo. Con irresponsabilidad de juventud le propuse construir un Interferómetro SQUID. No era tarea sencilla pero Seidel nos prestó el equipo y con excelentes talleres locales y un muy buen servicio de electrónica pudimos "copiar" exitosamente el equipo con su electrónica. Godfrin, mostrando inteligencia y conocimiento poco habitual, logró hacer funcionar al magnetómetro antes de culminar la licenciatura.

Estaba convencido que con este aparato, capaz de detectar variaciones de campos magnéticos menores que una millonésima del cam-

po terrestre, teníamos asegurada la capacidad de hacer investigación moderna y competitiva. Era el primer instrumento de este tipo desde México hacia el sur. Pese a sus excelentes antecedentes Godfrin no consiguió una beca del CONICET ni de la CNEA y se fue a Grenoble para convertirse en poco tiempo en un muy respetado investigador en el campo de las muy bajas temperaturas. Él y D. Thoulouze, ambos en Grenoble, se convirtieron en la base francesa para visitas de investigadores argentinos durante mucho tiempo. Mientras permanecemos en EE.UU. dos licenciados, O. Bressan y C. Luengo, acompañaron el esfuerzo de Thoulouze.

Ya en Bariloche en 1971 asumí la dirección de mi primer doctorando, O. Bressan. Su trabajo significó un profundo análisis de los mecanismos que generan resistencia al paso de corriente eléctrica en metales. El movimiento de los átomos inducido por la temperatura y la presencia de defectos en la estructura atómica se "suman" en su contribución a la resistencia al paso de los electrones. Uno de los objetivos del trabajo de tesis de Bressan fue determinar si estos mecanismos eran, como se solía admitir, independientes entre sí. Bressan desarrolló un método muy preciso para estudiar el problema. Fue capaz de inducir y controlar la presencia de "impurezas" en décimas de parte por millón (según consta en su tesis, 1975) utilizando tecnología nuclear. El éxito fue alcanzado gracias a una buena colaboración con los laboratorios de CNEA en Buenos Aires y, como en otras muchas ocasiones, Blas Alascio fue un consejero teórico eficiente.

Mi accionar a través de los años ha seguido una estrategia simple y exitosa. He basado gran parte de mi trabajo en interesar a buenos estu-

diantes con temas dirigidos a satisfacer los requerimientos de tesis de grado y posgrado. De alguna forma rompí con la división conceptual que se aplicaba en el IB para enseñar física. Se denominaban “materias teóricas” a todas aquellas que se daban en el pizarrón y experimentales las que se asociaban a dictar clases en laboratorios de enseñanza. Supongo que esa clasificación se debe a que en los comienzos había muy pocos profesores y Balseiro enseñaba todo lo que pudiera enseñarse en el pizarrón. Balseiro era físico teórico. Decidí que aunque era netamente un físico experimental no iba a enseñar materias de laboratorio. Es así que mis cursos fueron en termodinámica, mecánica estadística, introducción a la física del estado sólido, superconductividad, etc. Obviamente no enseñaba teoría sino física y con un sabor a físico experimental. Para mí esos cursos y el contacto con los estudiantes fueron fuente de motivación y de captación de excelentes colaboradores. Los jóvenes suelen ser desprejuiciados, generosos y ponen presión y entusiasmo para sacar de uno más de lo que pareciera posible.

Otro aspecto en que se basó el éxito fue la búsqueda de originalidad y sencillez en algún aspecto del tema a investigar. Esto sirvió para que durante años de trabajo, en temas que no necesariamente eran de alto impacto, fuésemos capaces de llamar la atención a distinguidos investigadores que se manifestaron interesados en conocer y colaborar con personas tan alejadas y hasta aisladas del medio científico dominante.

En este período no publiqué ningún trabajo en revistas indexadas. Dirigí 1 tesis doctoral.

7. PERÍODO (1975-1980) TIEMPO DE ELECCIÓN Y PRODUCCIÓN

Después de analizar la situación económica y científica del grupo propuse algunos temas de investigación y me incorporé al plantel de enseñanza del IB para aumentar mi contacto con los estudiantes de física. Consideré la posibilidad de iniciar líneas de investigación en áreas de mayor impacto internacional, influido por el éxito del grupo de teoría del sólido, liderado por Alascio y López. Sin embargo, había mucho que hacer en el laboratorio y opté por ser conservador buscando temas a investigar dentro del área de mi experiencia.

Durante mi estadía en Brown había estudiado el comportamiento de la superconductividad de superficie. Al disminuir la temperatura de un material superconductor, en presencia de un campo magnético paralelo a su superficie, se detecta que la superconductividad se nuclea primero en la superficie del material en un espesor no mayor que algún centenar de distancias atómicas. A medida que aumenta el campo magnético la superconductividad de superficie se nuclea a temperaturas menores.

Una vez que se dispone del diagrama de fase de campo en función de temperatura $H^s=f(T)$ vemos que a través de detectar el campo al cual ocurre la transición se conoce la temperatura de “superficie”. Utilizamos esta propiedad para estudiar la transferencia de calor entre un material (en este caso superconductor) y otro (Helio líquido). En un material sólido el calor se propaga a través de vibraciones de los átomos, en forma de ondas que se transmiten con la velocidad del sonido. Al pasar el calor de un material a otro la velocidad de propagación cambia, como ocurre con la luz, y se produ-

ce el fenómeno de refracción que en el caso de transporte de calor implica un salto de temperatura en la superficie. Por otra parte, la superficie es un concepto geométrico y los fenómenos físicos tienen lugar en espacios finitos. Por primera vez se disponía de un termómetro capaz de detectar en qué región del espacio esto ocurría. Esta forma de concebir experimentos permitieron que las líneas de trabajo en el grupo fuesen reconocidas y el laboratorio respetado, aun investigando temas no considerados de alto impacto en ese momento.

También en esta época el desarrollo de tecnología que permitía la creación de metales amorfos (en contraposición con estructuras cristalinas) tuvo gran impacto internacional. Era un desafío entender el comportamiento de un sólido que no puede caracterizarse por orden cristalino.

En cualquier investigación de materiales es importante tener acceso a la tecnología e infraestructura adecuada para fabricar materiales, deficiencia notoria en países como el nuestro. Decidimos desarrollar capacidad local para fabricación de metales amorfos, caracterizarlos estructuralmente y aprovechar la experiencia previa para estudiar sus propiedades de transporte eléctrico, térmico y el comportamiento de la superconductividad en estos materiales.

Es importante mencionar que ya en esta época mantuvimos frecuente interacción con investigadores del país, en especial con el laboratorio de Bajas Temperaturas (UBA), de Sede Central (CNEA), INTI, etc. Cuando la situación política lo permitía la colaboración fue fructífera.

El conocimiento y respeto de la comunidad nacional e internacional

por nuestros trabajos fue creciendo en el tiempo, recibimos visitantes y participé de conferencias y visitas al exterior. En 1975 acepté una invitación para pasar un año como *Visiting Researcher at the Max Planck Institute*, Stuttgart. Allí trabajé en el laboratorio de Bajas Temperaturas y también en el laboratorio de altos campos magnéticos de esa Institución, instalado en Grenoble (Francia). En este lugar entablé contacto con grupos de CEA y del CNRS con los que colaboré en el estudio de multicapas metálicas superconductoras, ampliando así el tipo de actividades para desarrollar en Bariloche. Como físico experimental aprendí que era conveniente evitar estadias prolongadas en el exterior si se quería continuidad en el trabajo del laboratorio y entrenamiento de doctorandos.

Eran tiempos difíciles en Argentina y poco antes de regresar un Director del *Max Planck* que dirigía el laboratorio de grandes campos magnéticos de Grenoble me ofreció un puesto permanente. Lo conversamos en familia y pese al halago y estímulo que eso representó decidimos que el regreso a Bariloche era prioritario. Siempre agradeceré la propuesta que recibí cuando manifesté el deseo de regresar. Me dijo que era consciente de las serias dificultades en Argentina y que me mantenía la oferta hasta seis meses después de mi regreso. Esto nos trajo cierto grado de tranquilidad en los momentos de incertidumbre al pasar de regreso por Buenos Aires. Antes de que yo confirmara mi decisión de quedarme recibí una carta a los quince días antes de cumplir los seis meses diciendo que seguía en pie la oferta. Respondí que nos quedábamos en Bariloche pero la oferta me honró en lo profesional y es un agradecimiento que ha permanecido en el tiempo.

En el período 1975-1980 publiqué 9 trabajos en revistas indexadas en colaboración con otros científicos y doctorandos y se doctoraron 2 estudiantes. Ver **BIBLIOGRAFÍA**.

8. PERÍODO (1981-1986) EL LABORATORIO CONSOLIDADO

Como resultado del fortalecimiento de infraestructura para fabricación de muestras metálicas amorfas y de la disponibilidad de multicapas metálicas fabricadas en el CEA de Grenoble pude desarrollar, junto con estudiantes y colaboradores, proyectos de investigación más acordes a los temas de interés en el ámbito internacional.

Mi actividad en enseñanza se extendió más allá de las usuales en el IB. Debido a la conciencia generalizada del atraso que se había producido en la Argentina, por el deterioro de nuestras universidades, participé en el dictado de cursillos tanto en el país, en la región y también en el ICTP en Trieste. Colaboré con M.E. Porta y E. Martínez y otros miembros del laboratorio en la organización de cursos de termodinámica y física del estado sólido para profesores de física y estudiantes de Universidades Nacionales. El objetivo fue contribuir a mejorar la capacidad de enseñanza e investigación en un área deficitaria en nuestras instituciones de enseñanza superior.

Al principio, los cursos fueron patrocinados por CNEA, CRUN, y SUBCYT para luego convertirse en una actividad sostenida con el nombre de *Solid State Physics Course* que desde 1986 a 2004 contaron con el apoyo de TWAS, CONICET, Fundación Antorchas y CNEA. Estos cursos fueron atendidos por estudiantes de Física y Química de Tucumán, Córdoba, La Plata, Buenos Aires, Bahía Blanca y de países de la región, tales como Chile, Uruguay,

Brasil, Venezuela, Colombia e inclusive de España. Si bien la organización y la enseñanza en estos cursos, donde se alternaban clases teóricas con trabajos experimentales en varios laboratorios del CAB, contaban con profesionales del CAB también participaban profesores provenientes de centros nacionales e internacionales. El esfuerzo se vio más que compensado por los vínculos que se han establecido y mantenido a través de los años.

El estudio de metales amorfos abrió nuevos contactos y se produjo un buen número de tesis de maestría y doctorales. Los nuevos doctores siguieron su especialización en el exterior, donde fueron recibidos como posdoctorados (dos en Francia, dos en Alemania y uno en Inglaterra). También se doctoró un colaborador de la UBA que había solicitado mi dirección a distancia y partió hacia Francia.

Prueba de que la labor que realizábamos en la investigación a Bajas Temperaturas se reconocía internacionalmente es que a partir de 1981 y hasta 2005 fui nombrado "*Member of the International Committee - International Conference on Low Temperature Physics*".

La investigación de superconductividad en capas metálicas, iniciada en Grenoble, se expandió con la colaboración de Iván Schuller, ya entonces reconocido investigador en *Argonne National Laboratory* (cerca de Chicago, Illinois, EE.UU.). Este tipo de estudio que pone de manifiesto efectos de anisotropía debidos a la estructura laminar de las componentes de la muestra fue importante para nuestro entendimiento de procesos más complicados que se manifestarían en la superconductividad denominada de alta temperatura, próxima a descubrirse. Iván se convirtió en un asiduo colabora-

dor del laboratorio y jugó un papel determinante para la rápida participación de Bariloche en la investigación experimental de la Superconductividad de Alta Temperatura.

En el año 1986 dos físicos en Suiza, Bednorz y Muller, hicieron un descubrimiento que se convirtió en unos de los hitos de la investigación de materiales. Descubrieron superconductividad a temperaturas inesperadamente altas (37 K). Menos de un año después otro investigador mostraba que había superconductividad por encima de 90 K.

Hay que recordar que la superconductividad había sido descubierta en 1911 y la investigación de materiales en 75 años había conseguido detectar superconductividad en aleaciones a no más de 25K. Los descubrimientos constituyeron un reto a los científicos y tecnólogos que se empeñaban en descubrir qué clase de propiedades tenían estos materiales para inducir ese cambio en el comportamiento de la superconductividad. Aun hoy se sigue investigando esa incógnita.

Tal vez sea oportuno exponer un razonamiento técnico aunque simplista para intentar comprender la demora de ese descubrimiento. En general el investigador en ciencia básica busca entender un fenómeno a través de los conceptos más simples posibles que puedan brindar la explicación. En la mayoría de los metales la carga elemental que transporta la corriente eléctrica es la asociada a los electrones que se mueven entre los átomos del metal. La explicación del fenómeno de transporte de corriente se basa en considerar que esos portadores son partículas cargadas con poca interacción entre sí (electrones libres). Cuando la temperatura se reduce por debajo de la temperatura de transición al estado superconductor se mues-

tra que el concepto de electrón casi "libre" hay que abandonarlo pues la superconductividad tiene lugar como transición de fase y, como tal, implica una nueva característica de los portadores de corriente eléctrica. Algo ocurre que hace que las partículas portadoras de carga no sean más electrones independientes, aparece una fuerza de unión que compensa la natural repulsión por ser cargas del mismo signo. Sabemos hoy que el nuevo portador (denominado par de Cooper) se compone de un par de electrones acoplados que se desplazan sin admitir choques, ni entre ellos ni con los átomos que constituyen el material. Un choque implica un cambio de energía del par y esa energía no está disponible a las bajas temperaturas donde tiene lugar el fenómeno.

Los nuevos superconductores son materiales metálicos más complejos donde la conducción eléctrica a temperaturas mayores que la transición superconductor no se puede describir con la aproximación de electrones libres. Aun en el estado normal (no superconductor) ya es difícil de describir la conducción eléctrica en estos materiales y el estado superconductor requiere un grado de desarrollo y sofisticación que aun hoy no alcanza a proveer una explicación totalmente satisfactoria.

Un aspecto importante que dignifica el método científico fue la forma en que la Argentina en general y Bariloche en particular recibió información que permitió nuestra activa y reconocida participación en esta aventura de la ciencia. Fue el físico chileno Iván Schuller desde *Argonne National Laboratory* quien me llamó telefónicamente a los pocos días que se había confirmado el descubrimiento. En esa conversación telefónica desde EE.UU., Iván me dictó las componentes y proporciones de La, Sr, Cu, O que formaban el

nuevo cerámico superconductor. Yo, ignorante total de estos materiales, sólo pude copiar las proporciones y después de colgar el teléfono me fui a consultar a un colega, Daniel Esparza, si algo como esto podía fabricarse en el Centro Atómico. En ese momento reconocí con alegría la posibilidad de hacer consultas con especialistas en otra áreas. Dentro de la semana de esa consulta tuvimos el cerámico y del trabajo conjunto entre miembros de su grupo y el mío pudimos detectar que teníamos Superconductividad de Alta Temperatura (SAT) en Bariloche. Fue una larga noche con participación de un nutrido conjunto de colegas de distintas especialidades cuando pudimos verificar la existencia de superconductividad de alta temperatura al sur del Ecuador. Empezamos a competir en un área de gran interés internacional.

Sin duda me acompañó la suerte cuando decidí seguir trabajando en superconductividad pero también nos encontró con un laboratorio que había madurado.

En este período publiqué 14 trabajos en revistas indexadas en colaboración con otros científicos y doctorandos. Se doctoraron 4 estudiantes. Ver **BIBLIOGRAFÍA**

9. PERÍODO 1987-1992 MAYORMENTE SUPERCONDUCTIVIDAD DE ALTA TEMPERATURA (SAT)

Desde los comienzos de 1987 colegas y estudiantes nos volcamos al estudio de los nuevos superconductores. El entusiasmo de ese momento se pone de manifiesto por la sorprendente decisión de un doctorando que, listo para exponer su tesis, renunció a hacerlo y pidió la extensión de la beca para participar de la aventura.

La repercusión de nuestro trabajo en el exterior fue relevante pero también lo fue en el país. Estudiantes de Bariloche, Buenos Aires, La Plata, San Luís, Tucumán... solicitaban hacer pasantías y trabajo de tesis en el laboratorio. Estos jóvenes fueron los genuinos promotores de éxito. Su buena formación y ambición por generar conocimiento los llevaron a largas horas de dedicación, celebrando el éxito y soportando desilusiones.

Utilizando conocimiento previo, adquirido al discutir resultados con un doctorando de la UBA que midió propiedades de un superconductor "tradicional" con morfología granular, pude analizar los primeros resultados obtenidos en nuestro laboratorio. La superconductividad se nuclea en los granos del material que conforma la muestra pero la superconductividad se propaga por efecto túnel de los electrones a través de la interfaz entre granos. Las características de la superconductividad son distintas a la de la superconductividad en medios homogéneos. Esas características las detectamos en la muestra de SAT desde la primera medición hecha en el laboratorio. No fuimos los únicos y el clamor en todo el mundo fue la necesidad de disponer materiales monocristalinos para que mostrasen las propiedades intrínsecas de esta "nueva" superconductividad.

Es importante comprender la relevancia y el desafío que se ponía de manifiesto en estos primeros resultados. El lector podría preguntarse si este problema también estaba presente en el estudio de la superconductividad de bajas temperaturas y, consecuentemente, si la comprensión de esa superconductividad sólo fue posible luego de obtener materiales monocristalinos. La respuesta es negativa: la fabricación de monocristales ayudó pero no fue

esencial para verificar la solidez de la teoría de la superconductividad, llamada BCS en honor a sus autores (Bardeen, Cooper y Schrieffer). Esta teoría es capaz de explicar sutilezas del comportamiento del fenómeno en diferentes direcciones cristalinas pero sus resultados son, esencialmente, aplicables a muestras policristalinas.

Fue necesario mucho esfuerzo y trabajo en todo el mundo para reconocer la diferencia fundamental entre las propiedades de la superconductividad en muestras policristalinas de materiales de baja y alta temperatura crítica. Esa diferencia es tan importante que se convierte en la razón por la cual aun hoy no se ha conseguido el uso de los SAT para transporte de energía eléctrica a grandes distancias.

Muy pocos fueron los laboratorios capaces de sintetizar monocristales y su distribución a otros colegas la dosificaban con cuidado para poder sostener su protagonismo. Nuestro trabajo inicial fue respetado y pudimos colaborar en mediciones en monocristales provistos por algunos de aquellos laboratorios hasta tanto pudiésemos intercambiar muestras de producción propia.

Se necesitaban recursos para adquirir equipamiento destinado a mejorar la infraestructura de laboratorios de Física y Química de Materiales y Física del Estado Sólido. Nuestra experiencia tecnológica en BT y en superconductividad nos daba cierta ventaja para el diseño de experimentos para estudiar los nuevos materiales. Sin embargo la Argentina estaba débilmente equipada para enfrentar el desafío. Solamente el IB y el Departamento de Física de la UBA tenían capacidad de enfriar hasta cerca del cero absoluto, pero aun en esos laboratorios no se disponía de equipamiento criogénico

adecuado para investigar amplios rangos de temperatura. Había que implementar nueva tecnología con urgencia.

El impacto internacional despertó el interés no sólo en investigadores y tecnólogos sino de la población en general. Las radios, diarios, televisión cubrían constantemente el tema y se hablaba del nuevo descubrimiento. Los pocos involucrados en la Argentina nos vimos sobrepasados por consultas, invitaciones, asistencia a reuniones, etc. Por un lado esto motivaba el esfuerzo pero nos veíamos obligados a aumentar las horas dedicadas a la investigación para evitar quedar fuera de la competencia: faltaba tiempo y medios. Físicos del grupo de Teoría del Sólido de Bariloche fueron los primeros en contribuir con sus trabajos a alguna de las multitudinarias conferencias internacionales. Recuerdo con qué interés escuchaba sus comentarios, un tanto difíciles de entender para mí.

La repercusión de nuestro trabajo en el exterior fue satisfactoria pero no fue menor dentro del país. El deseo de participar en el concierto internacional implicaba una competencia difícil de afrontar con los medios usuales que el estado brindaba a la investigación. Las autoridades de la CNEA pudieron transmitir al Presidente de la República, Dr. Raúl Alfonsín, la necesidad de alocar fondos para poder continuar participando a nivel internacional. La respuesta de Alfonsín fue rápida e invitó a la Presidente de la CNEA, Dra. E. Pérez Ferreira, a una reunión en Olivos. Fue acompañada por el Director del CAB, A. López y un grupo de investigadores de la CNEA de Buenos Aires y Bariloche. Recuerdo que después de requerir una explicación de la posible trascendencia del trabajo Alfonsín preguntó: "en esto ¿jugamos en primera?". La respuesta fue sí.

Dijo Alfonsín, "En ese caso un Presidente debe poder prestar colaboración". Los recursos alocados por la Presidencia fueron derivados a la Fundación Balseiro para su administración y tuvieron un impacto fundamental. El apoyo iniciado durante la Presidencia de Alfonsín se prolongó por 10 años permitiendo la incorporación de relevante infraestructura en muchos laboratorios y contribuyó a la interacción intensa entre investigadores del país y del exterior. Un detalle de la inversión y su destino puede encontrarse en la página de la Fundación Balseiro bajo el título "Superconductividad".

Otro aspecto relevante fue la decisión tomada por el Directorio del CONICET. El entonces Presidente, Carlos Abeledo, informó en conferencias y reuniones en diversos centros de investigación la decisión del CONICET de brindar apoyo económico a la actividad, estimulando la participación de químicos y físicos dedicados a la ciencia de materiales.

El esfuerzo se puso de manifiesto por un cambio cualitativo y cuantitativo del apoyo para compra de equipamiento en diversos laboratorios y por el aporte para realizar reuniones interdisciplinarias.

En lo que se refiere al grupo de Bajas Temperaturas del CAB hubo una reorganización estimulada por iniciativas internas. María Elena Porta decidió dedicarse a tiempo completo a la organización administrativa del esfuerzo científico, técnico y de formación académica. Ernesto Martínez se unió a María Elena con especial énfasis en la organización de cursos y eventos destinados a la formación de jóvenes físicos del país y del extranjero. Los técnicos del laboratorio en unión con los talleres mecánicos y de vidrio del CAB construyeron equipamiento adecuado

para trabajar en los rangos de temperatura necesarios. Equipamiento hecho en Bariloche fue enviado a Buenos Aires y Tucumán en Argentina y también a Brasil y España. La Fundación Balseiro contribuyó en todo los aspectos administrativos para llevar a buen término estas inusuales operaciones.

En este período nuestros resultados trascendieron en el contexto internacional. Al poco tiempo entablamos una duradera interacción con David Bishop y su grupo de *Bell Labs*. A Bishop lo conocí en una conferencia en México en 1985. Ya era un investigador reconocido internacionalmente. Poco después de ser descubierta la SAT, Bishop se convirtió en uno de los investigadores que sobresalieron por sus originales trabajos e incluso por sus comentarios en el *New York Times*. Volvimos a reencontrarnos y mucho del prestigio internacional conseguido fue como resultado de una intensa y fructífera colaboración. La presencia de nuestros estudiantes y doctorados en aquel laboratorio se prolongó por muchos años. Profesionales y estudiantes argentinos interaccionaron intensamente con Bishop en Argentina y en *Bell Labs*.

Durante los años de la investigación en SAT estudiantes y egresados de Bariloche participaron de muchos foros internacionales. El buen y muy buen papel de ellos llevó al reconocido físico teórico David Nelson, a la sazón Jefe del Departamento de Física de Harvard, a comentar en una revista que los estudiantes de Bariloche estaban entre los mejores del mundo.

El trabajo fue intenso y proliferó en publicaciones en colaboración con investigadores de muchos laboratorios nacionales y extranjeros.

La relevancia del trabajo juzgado por los colegas me permitió ser elegido miembro del Comité Organizador (1988-2003) de la *M2S-High Tc Conference*. Los colegas brasileños, generosos por cierto, reconocieron y honraron nuestro trabajo invitándome a exponer e integrar el comité organizador del importante congreso internacional en Rio de Janeiro (1990), atendido por Muller, uno de los dos descubridores de los SAT. Nuestros trabajos empezaron a ser citados con más frecuencia y las visitas y estadías de intercambio eran frecuentes y bien recibidas.

En este período se publicó un buen número de trabajos en revistas internacionales y se presentaron otros por invitación en conferencias internacionales. Se contribuyó a comprender la naturaleza granular asociada a las primeras muestras de SAT. Se sospechaba que la superconductividad en estos materiales era muy anisotrópica, como lo era la anisotropía cristalina y se intuía que el comportamiento granular de la superconductividad se basaba en ese aspecto más que en una diferencia en la calidad de unión física de los microcristales.

En 1991 recibí un llamado telefónico que me conmovió. Con una voz tenue y cansina Abdus Salam me decía que me habían galardonado con el *TWAS 1991 Award in Physics*. Si bien esta era una distinción personal es obvio que indicaba una presencia internacional de la física experimental de Bariloche. Basta mirar mi CV para detectar que prácticamente no hay trabajos donde sea único autor. Fuimos reconocidos como laboratorio argentino dedicado a la investigación de los SAT. El laboratorio se convirtió en marca registrada.

La colaboración con otros investigadores y estudiantes de EE.UU. y Europa fue en aumento.

En este período publiqué 36 trabajos en revistas indexadas en colaboración con unos 40 investigadores, entre estudiantes profesionales de Argentina, EE.UU., Francia e Italia. Se doctoraron 4 estudiantes. Ver

BIBLIOGRAFÍA

10. PERÍODO 1993-1998 SUPERCONDUCTIVIDAD DE ALTA TEMPERATURA (SAT)

La investigación de SAT en monocristales recibidos desde el exterior primero y crecidos en el laboratorio después fue la actividad dominante. A través de mediciones en distintos laboratorios del mundo se puso en evidencia que el comportamiento granular en el transporte de electricidad no se debía a la presencia de material en la interfaz entre cristales sino que es el resultado de la gran anisotropía de las propiedades de conducción eléctrica en diferentes direcciones cristalinas. Esto impulsó el desarrollo de nueva tecnología para construir cables superconductores, requiriendo que la orientación cristalina sea única y mantenida a lo largo de kilómetros de longitud del cable. Desafío tremendo que se ha ido resolviendo técnicamente en diversas empresas y laboratorios en el mundo.

El lector estará tentado a pensar que el reemplazo de cables de cobre por superconductores para transporte de energía eléctrica es una utopía dado el costo que requiere su enfriamiento. Hay que considerar que la capacidad de transporte eléctrico de un superconductor es 10.000 veces superior a la del cobre. Teniendo esto en cuenta el costo de enfriamiento no es un problema determinante pero sí lo es resolver las características "granulares" del material.

A partir de la disponibilidad de monocristales pudimos estudiar las propiedades intrínsecas de los SAT.

Nuestra interacción con investigadores extranjeros se acrecentó y se hizo imperativo aumentar nuestra presencia en conferencias y laboratorios en el exterior para difundir y recibir información. Por ello, el esquema de trabajo y uso de recursos internos se organizó para diagramar una actividad que se empezaba a valorar en el concierto internacional. El Laboratorio de BT tenía a su cargo la distribución de los líquidos criogénicos (nitrógeno y helio) a todo el CAB. Formalmente había un Jefe de Laboratorio y taller mecánico y un encargado de la Sección Criogénica. En los muchos años en que me desempeñé como Jefe de Laboratorio y en un período algo menor en que me reemplazó Ernesto Martínez nadie se quedó con la fracción de sueldo que correspondía a los cargos. El trabajo era compartido en todos los niveles y los recursos dedicados a jefaturas integraban una caja chica que distribuía M.E. Porta de acuerdo a las necesidades. Algo similar se hizo con los recursos para hacer viajes al exterior. La gran mayoría de ellos fueron financiados por agencias externas a la Institución. En todo caso el científico o estudiante que emprendía la tarea rendía cuentas de lo gastado y el resto se incluía en la caja chica. En varias oportunidades el viaje de algún miembro del grupo estuvo financiado por esos recursos.

La obtención de fondos nacionales a un nivel moderado, las excelentes relaciones en continuo aumento con investigadores extranjeros, la capacidad de imaginar y concretar buenos experimentos y el éxito en la fabricación de buenos materiales aportó considerable conocimiento al área de los SAT desde la Argentina. Aumentó el número de estudiantes de doctorado en el tema y aquellos que anteriormente hicieron la tesis se distribuyeron en posiciones de carácter técnico en el país

o fueron a ocupar otros cargos en el exterior. Todos los doctorados y doctorandos fueron constante fuente de inspiración y ayuda.

La estrategia a seguir fue simple: dedicación al trabajo, respeto a la labor individual y colectiva y relaciones profesionales con laboratorios de Europa, EE.UU., Japón e Israel para aprender y generar conocimiento.

Los logros científicos en el quinquenio que estamos considerando ponen de manifiesto los resultados de las decisiones científicas y administrativas que tomamos. En este período alcanzamos el mayor número de colaboraciones con físicos experimentales y teóricos de Argentina y del exterior. La colaboración con grupos del exterior nos permitió obtener resultados accediendo a facilidades de envergadura de laboratorios extranjeros. Tecnologías que se desarrollaron en *Bell Labs*, tales como la decoración de vórtices superconductores, fueron operadas en ese laboratorio por estudiantes de doctorado de Bariloche en estadías de distinta duración. Bishop permitió que los estudiantes de doctorado de Bariloche construyeran copia del equipamiento y lo trajeran a Bariloche donde fue usado con intensidad.

Poco después de iniciar la investigación de los SAT, Bishop y colaboradores hicieron un anuncio en el *New York Times* que hizo temblar a los tecnólogos que aspiraban a utilizar los nuevos superconductores. Manifestaron que en una amplia región de temperaturas y campos magnéticos los nuevos superconductores no serían aptos para aplicaciones tecnológicas pues ese estado, aunque denominado superconductor, presentaría resistencia eléctrica no nula. Según anunciaron, esto se debía a que los denominados vórtices superconductores pasaban de

formar una red sólida, a temperaturas y campos bajos, a formar una estructura de líquido de vórtices al aumentar campo y/o temperatura. Esta fusión de objetos magnéticos fue un anuncio que ocasionó años de discusiones, nuevas teorías y experimentos. La mejor y más contundente verificación de que el líquido de vórtices existía fue hecha en Bariloche por un estudiante en pos de su tesis doctoral.

La tecnología de decoración de vórtices para su visualización causó impacto y fuimos contactados para hacer una colaboración, exitosa por cierto, con el Instituto Weizmann, con la *École Polytechnique Fédérale de Lausanne* y con la Universidad de Tokio a los fines de estudiar nuevos

comportamientos de estructuras ordenadas y desordenadas de vórtices.

En Bariloche se desarrolló un tipo de experimentos que consistieron en el diseño y preparación de muestras con una configuración denominada de "Transformador de Flujo Magnético". Los experimentos hechos con esa configuración causaron un importante impacto pues permitían, por primera vez, determinar configuraciones y longitudes de los vórtices superconductores. Esta técnica estimuló a investigadores de *Bell Labs* a definir y estudiar lo que se denominó propiedades de transporte no locales en presencia de vórtices superconductores. En los experimentos participaron investigadores de aquel laboratorio y de Bariloche tanto experimentales como teóricos.

En este período publiqué 52 trabajos en revistas indexadas en colaboración con unos 46 investigadores, entre estudiantes profesionales de Argentina, USA, Francia, España, Holanda y Alemania. Se doctoraron 8 estudiantes. Ver **BIBLIOGRAFÍA**.

■ CONCLUSIÓN

La intención de este artículo no es profundizar sobre los temas de la física que me permitieron avanzar y participar, desde Argentina, en un campo de la Ciencia de Materiales altamente competitivo. La intención solicitada "... una visión personal incorporando reflexiones sobre contexto, motivaciones y decisiones que definieron las líneas de investigación y los logros conquistados" he tratado de cumplirla. En los 10 años siguientes al último período al que hago referencia continué con la actividad de investigación y formación de investigadores. A partir de 1999 no tomé nuevos estudiantes de doctorado, continué dirigiendo tres tesis y colaborando con otros inves-

tigadores del laboratorio. La última tesis dirigida por mí fue presentada en 2004 y en 2008 me retiré de actividades de investigación.

En este período publiqué 37 trabajos en revistas indexadas en colaboración con unos 30 investigadores, entre estudiantes profesionales de Argentina, EE.UU., Israel, Francia, España, y Japón. Se doctoraron 8 estudiantes. Ver **BIBLIOGRAFÍA**.

Con frecuencia hay críticas en el país a la inversión científica destinada a resolver desafíos al conocimiento en ciencia básica que requieren dedicación a largo plazo. Es interesante detallar el destino profesional de los 22 físicos que se doctoraron en ciencia básica bajo mi dirección.

He sido muy afortunado y el éxito como investigador ha sido pródigo conmigo. Estoy convencido que en su gran parte se lo debo a la posibilidad de comunicarme con estudiantes y colegas a través de los años. No puedo agradecer individualmente y tengo que conformarme con incluir una **BIBLIOGRAFÍA** donde figuran solamente nombres y años de convivencia fecunda y, sobre todo, divertida. Hago una excepción para agradecer a María Elena por la paciencia de tantos años y la ayuda, también, con este artículo.

■ BIBLIOGRAFÍA

Más que indicar un listado convencional de referencias bibliográficas, que se pueden encontrar sin dificultad, presento un listado cronológico de colaboradores y temas de investigación.

Coautores por áreas temáticas, años e instituciones. Los años se refieren a la fecha en que se publicaron trabajos.

La descripción temporal y temática (no por publicaciones) permite tener una idea de las colaboraciones

Los vórtices son tubos de campo magnético paralelos al campo aplicado, generados por corrientes que giran alrededor de un núcleo que deja de ser superconductor. A medida que aumenta el campo exterior aumenta la densidad de vórtices hasta que el campo alcance un valor en el cual los núcleos de los vórtices se tocan y la totalidad del material deja de ser superconductor. Los vórtices son objetos descritos por la física cuántica como lo es el estado superconductor. Idealmente forman una estructura cristalina con simetría hexagonal. Como en todo sólido la temperatura ablandaría las constantes elásticas y la estructura se funde.

Si se hace pasar una corriente eléctrica, ésta ejerce una fuerza sobre el vórtice y al moverse disipa energía. Esto se evita introduciendo trampas microscópicas en el material que fijan la estructura y sostienen el paso de corriente. Las trampas no son eficientes si la estructura se licúa.

Distribución geográfica y actividad de profesionales doctorados bajo mi dirección

La gran mayoría realizan labores docentes que no identifico.

En Argentina:

6 en Investigación Científica

1 en Investigación Científica (50%)

2 en Investigación en Ciencia y Tecnología

1 en Tecnología

1 en Desarrollo Tecnológico-Dirección Administrativa-Dirección Universitaria

En Europa:

3 en Investigación Científica

1 en Investigación Científica (50%)

1 en Tecnología y Desarrollo

1 en Evaluación Oficina de Patentes

En EE.UU.

4 en Investigación en Tecnología

1 en Investigación en Ciencia y Tecnología

1 en Investigación Científica

nacionales e internacionales que mantuve a través del tiempo. El número de publicaciones se refieren a revistas con referato de circulación internacional.

1967-1969 BARILOCHE (6 publicaciones)

Bressan O. *Tecnología Criogénica.*

Bressan O., Cotignola J.M., Porta M.E., Platzek R. *Efectos magneto-mórficos en muestras de tamaño reducido.*

Bressan O., Cotignola J.M., Porta M.E., Platzek R. *Propiedades de Transporte Eléctrico y Térmico en Metales Puros.*

1969-1972 BROWN UNIVERSITY (7 publicaciones)

Cardona M., Maloney M.D. *Superconductividad Tipo I y Tipo II.*

Kaufman H. *Fluctuaciones diamagnéticas en superconductores.*

1975-1980 BARILOCHE - UNIVERSITY OF CALIFORNIA AT DAVIS - COOPERANTE FRANCES DOCTORANDO (10 publicaciones)

Bressan O., Ridner A. *Transporte de electricidad y calor en metales Puros.*

Luzuriaga J., Porta M.E., Godfrin E., de Allende C., Fink H. *Superconductividad.*

Ridner A., Martínez E. *Transferencia de calor en interfaces.*

Porta M.E., Esquinazi P., Tutzauer H., Favaron J. *Producción y propiedades de metales superconductores Amorfos .*

1981-1986 BARILOCHE- UNIVERSITY OF CALIFORNIA AT DAVIS - CNRS/GRENOBLE - CEN/GRENOBLE - COOPERANTE FRANCES - ARGONNE NATIONAL LAB - DOCTORANDO (14 publicaciones)

Guimpel J., Porta M.E., Laborde O., Villegier J.C., Schuller I. *Superconductividad en multicapas metálicas.*

Porta M.E., Civale L., Arce R. *Propiedades electrónicas de metales amorfos.*

Porta M.E., Esquinazi P., Arce R., Ridner A., Fink H., Civale L., Frank V., Martínez E., D'Ovidio C., Luzuriaga J., Osquiguil E., Guimpel J. *Superconductividad en metales amorfos.*

1987-1992 BARILOCHE - ARGONNE NATIONAL LAB - BAJAS TEMPERATURAS (UBA) - STRASSBOURG - BELL LABORATORIES - INTERNATIONAL CENTER (TRIESTE) - DEPTO. FISICA CNEA - STANFORD - DOCTORANDO (37 publicaciones)

Civale L. *Superconductores amorfos.*

Civale L., Pastoriza H., Guimpel J., Nieva G., Heinz J.M., Durmeyer O., Kappler J.P. *Superconductividad granular encapsulada.*

Esparza D.A., D'Ovidio C., Civale L., Guimpel J., Safar H., Decca R., Nieva G., Martínez E., Osquiguil E., Malachevski M.T. *Superconductores granulares de Alta Temperatura Crítica.*

Guimpel J., Murduck, Schuller I. *Penetración de campo en multicapas superconductoras.*

Luzuriaga J., Martínez E., Osquiguil E.J., Pinning. *Colectivo en superconductores.*

López D., Stastny P., Leyarovska N., Maticotta F.C., Acha C., Bekeris

- V., Urba L., Polla G., Levy P., Levya G., Benyacar M. *Propiedades de Superconductores en cerámicos de Alta Temperatura Crítica.*
- Osquiguil J., Civale L., Decca R. *Transición de transporte metálico a "variable range hopping".*
- Safar H., Durán C., Civale L., Luzuriaga J., Rodriguez E., Fainstein C., Schneemeyer L. F., Waszczak J.V. *Flux Creep en cerámicos SAT.*
- Safar H., Pastoriza E., Guimpel J., Duran C., Arribere A., Yatzzi J., Goffman M., Rodriguez E., Fernandez-Righi E., Bishop D., Schneemeyer L.F., Waszczak J.V., Mitzi D. B., Kapitulnik A. *Propiedades de superconductores monocristalinos de Alta Temperatura Crítica.*
- Steinmann. *Superconductores Granulares.*
- Tutzauer H., Decca R., Serafini D. *Desarrollo tecnología criogénica.*
- 1993-1998 BARILOCHE - BAJAS TEMPERATURAS (UBA) - BELL LABORATORIES - INTERNATIONAL CENTER (TRIESTE) - IMPERIAL COLLEGE - DTO. DE FISICA (CNEA) - STANFORD - ARGONNE NATIONAL LAB - CAMBRIDGE - IBM - UNIVER. AUTONOMA BARCELONA - UNIVERSITÄT REGENSBURG-KAMMERLING ONNES - DOCTORADO** (54 publicaciones)
- Bolle C.A., Waszczak J.V., Bishop D., Gammel P. *Decoración de estructuras de vórtices superconductores.*
- Decca R., Caneiro A., Serafini D. *Termogravimetría y resistencia eléctrica en cerámicos.*
- Fernández-Righi E., Nieva G., López D., Pardo F., Jagla E.A., Osquiguil E., Balseiro C., Morre E., Grigera S., Civale L., Goffman M., Herbsommer J. A., Pasquini G., Levy P., López D., Krusin-Elbaum L., Kwok K., Frenndrich, Crabtree, Paulius, Li, Kes P. *Correlaciones estructurales de vórtices en el eje-C.*
- Fernandez-Righi E., Yaron U., Gammel P., Huse D., Kleiman R.N., Oglesby C.S., Bucher E., Batlogg B., Bishop D., Mortensen K., Clausen K., Bolle C.A. *Estructura de red de vórtices a través de difracción de neutrones y decoraciones.*
- Grigera, Morre, Osquiguil, Nieva, Balseiro *Vidrio de Bose.*
- Guimpel, Puig, Pont, Huggard, Prettl, Muñoz, Valenzuela, Ferrari, Bekeris *Movimiento de flujo de vórtices en escalas de nanosegundo.*
- López D., Nieva G., Safar H., Rodríguez E., Fernández-Righi E., Bishop D., Schneemeyer L.F., Gammel P., Huse D., Majundar S.N., Cheong, Jensen, O'Kane. *Transformador de flujo "Giaever".*
- Pardo, Gammel, Oglesby, Bucher, Batlogg, Bishop *Efectos topológicos en redes de vórtices y correlaciones con corrientes críticas, barreras superficiales y defectos.*
- Pardo, Guimpel, Mackenzie *Efecto de la reversibilidad en la estructura de vórtices.*
- Pastoriza H., Goffman M., Arribere A. *Transición de primer orden en la red de vórtices.*
- 1999-2008 BARILOCHE - BELL LABORATORIES - WEIZMANN INSTITUTE - NEC - ECOLE POLYTECHNIQUE - UNIVERSITY OF TOKIO - UNIVERSITA DI ROMA TRE - DOCTORADO** (38 publicaciones)
- Bridoux G., Nieva G., Pedrazzini P. *Efecto Nernst en SAT.*
- Correa, Hebsommer, Kaul, Nieva. *Orden-Desorden en estructuras de vórtices.*
- Fasano, Herbsommer, Menghini, Nieva, Pardo, Gammel, Bucher, Bishop. *Inducción de anclaje superficial por decoración con Fe.*
- Fasano, Menghini, Pastoriza, De Seta, Tokunaga, Tamegai. *Visualización de estructuras no convencionales de vórtices.*
- Menghini, Fasano, Banerjee, Myasoedov, Soibel, Rappaport, Zeldov, van der Beck, Konczykowi, Tamegai. *Observación de estructuras en la fusión de materia de vórtices.*
- Menguini, Fasano, Banerjee, Paltiel, Myasoedov, Zeldov, Higgins, Bhattacharya. *Visualización de transiciones de fase orden-desorden en estructuras de vórtices.*
- Monton C., Guimpel J. *Magnetismo y superconductividad.*
- Pardo, Bolle, Aksyuk, Zeldov, Gammel, Bishop. *Estudio de la dinámica de vórtices.*

El 98 por ciento de los doctores formados por el CONICET tiene empleo

Según un informe dado a conocer por este organismo científico acerca de la inserción de doctores, sólo un 1 por ciento de estos ex-becarios no tiene trabajo o no poseen ocupación declarada y un 10 por ciento posee remuneraciones inferiores a un estipendio de una beca doctoral.

Asimismo, proyecta que el 89 por ciento de los encuestados tiene una situación favorable en su actividad profesional, pero sobre todo asegura que más del 98 por ciento de los científicos salidos del CONICET consigue trabajo.

Los datos surgidos del estudio "Análisis de la inserción laboral de los ex-becarios Doctorales financiados por CONICET", realizado por la Gerencia de Recursos Humanos del organismo, involucró 934 casos sobre una población de 6.080 ex-becarios entre los años 1998 y el 2011.

Al respecto, en el mismo se considera que del número de ex-becarios consultados, el 52 por ciento (485 casos), continúa en el CONICET en la Carrera del Investigador Científico y Tecnológico.

De los que no ingresaron en el organismo pero trabajan en el país, sobre 341 casos, el 48 por ciento se encuentra empleado en universidades de gestión pública y un 5 por ciento en privadas; el 18 por ciento en empresas, un 6 por ciento en organismos de Ciencia y Técnica (CyT), un 12 por ciento en la gestión pública y el resto en instituciones y organismos del Estado.

En tanto, en el extranjero, sobre 94 casos, el 90 por ciento trabaja en universidades, el 7 por ciento en empresas y el 2 por ciento es autónomo.

El mismo informe traduce que la demanda del sector privado sobre la

incorporación de doctores no es aún la esperada, pero está creciendo. La inserción en el Estado, si se suma a las universidades nacionales y ministerios, se constituye en el mayor ámbito de actividad.

Frente a ello, a los fines de avanzar en la inserción en el ámbito publico-privado el CONICET realiza actividades políticas de articulación con otros organismos de CyT, es decir, universidades, empresas, a través de la Unión Industrial Argentina (UIA), y en particular con YPF que requiere personal altamente capacitado en diferentes áreas de investigación.

Desde el CONICET se espera que en la medida que la producción argentina requiera más innovación, crecerá la demanda de doctores. Para cuando llegue ese momento el país deberá tener los recursos humanos preparados para dar respuestas. Es por ello se piensa en doctores para el país y no solamente doctores para el CONICET.

Programa +VALOR.DOC

Sumar doctores al desarrollo del país

A través de esta iniciativa nacional, impulsada por el CONICET y organismos del Estado, se amplían las posibilidades de inserción laboral de profesionales con formación doctoral

El programa +VALOR.DOC bajo el lema "Sumando Doctores al Desarrollo de la Argentina", busca vincular los recursos humanos con las necesidades y oportunidades de desarrollo del país y fomentar la incorporación de doctores a la estructura productiva, educativa, administrativa y de servicios.

A partir de una base de datos y herramientas informáticas, se aportan recursos humanos altamente calificados a la industria, los servicios y la gestión pública. Mediante una página Web, los doctores cargan sus curriculum vitae para que puedan contactarlos por perfil de formación y, de esta manera, generarse los vínculos necesarios.

Con el apoyo del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, este programa tiene como objetivo reforzar las capacidades científico-tecnológicas de las empresas, potenciar la gestión y complementar las acciones de vinculación entre el sector que promueve el conocimiento y el productivo.

+VALOR.DOC es una propuesta interinstitucional que promueve y facilita la inserción laboral de doctores que por sus conocimientos impactan positivamente en la sociedad.

Para conocer más sobre el programa www.masVALORDoc.conicet.gov.ar.

