

LA INVESTIGACIÓN: UNA HISTORIA DE NUNCA ACABAR

Palabras clave: Magnetismo a Bajas Temperaturas, Electrones Altamente Correlacionados, Criticalidad Cuántica, Frustración Magnética.
Key words: Low Temperature Magnetism, Strongly Correlated Electrons, Quantum Criticality, Magnetic Frustration.

■ Julián G. Sereni

Centro Atómico Bariloche - CONICET - Instituto Balseiro

jsereni@cab.cnea.gov.ar

Profesión-curiosidad-vocación, son tres aspectos que pueden describir el perfil de un físico o de cualquier investigador. El primero se alcanza a través de estudios que culminan en un diploma como premio a la constancia. El segundo distingue a los curiosos e imaginativos de los que son más afectos a utilizar procedimientos ya probados, pero el tercero implica la identificación personal con una actividad que llega a moldear el propio un estilo de vida. A quién se le ocurre preguntarle a un científico ¿Cuál es tu horario de trabajo?.

Fue probablemente esa curiosidad por saber cómo se comporta el mundo que nos rodea lo que me llevó a corregir la dirección inicial de mis estudios de Perito Mercantil a Bachiller y posteriormente de Ingeniería a Física. Ya en el tercer año de ingeniería notaba que no me satisfacía verificar que el resultado de nuestras prácticas fueran acordes a ciertas 'Tablas' impresas, sino que más bien me atraía la curiosidad por saber en base a qué conocimientos se llegaba a escribir esas Tablas. La decisión sobre éste último cambio, por el que ingresé al Instituto de Física de Bariloche (IFB, más tarde Ins-

tituto Balseiro IB), se dio dentro de una coyuntura que pareciera superar la probabilidad de las coincidencias. Justo el día (y es estrictamente cierto) que nos íbamos a reunir entre algunos compañeros para comentar nuestro grado de satisfacción por la carrera que habíamos elegido, el profesor de física comentó que en un par de días más se cerraba la inscripción para presentarse a las becas del IFB. Así, 'a poncho', me presenté al examen de ingreso alentado por los contundentes calificativos de mis compañeros sobre lo que sería yo si no lo intentara. Pasé el examen escrito 'volando al ras' y en la entrevista sostuve una discusión con el Dr. Gaviola, ante la llamativa expresión de V.H. Ponce que atinó a preguntarme si yo sabía con quién estaba discutiendo. Al responder que 'no tenía el gusto' también pensé que ahí se terminaba mi chance de ingreso. Pero el Dr. Gaviola no era un funcionario sino un científico nato y parece haber valorado justamente el convencimiento con el cual yo argumentaba erradamente. Años después heredé (por gentileza de O. Bressan) el libro "Lehrbuch der Praktischen Physik" que Gaviola dató en Septiembre de 1932.

■ 1. BUSCANDO EL FUTURO EN BARILOCHE Y SU INSTITUTO DE FÍSICA

Así fue que en un par de meses cumplía con dos de mis anhelos juveniles: estudiar física y vivir en Bariloche. Si, era un '50/50' como le respondí a mi padre cuando me preguntó a cuál de los dos anhelos apuntaba. Él bien sabía de mi afecto por las montañas después de siete continuados años de campamentos y aventuras. En realidad, más tarde me dí cuenta de que la atracción por la naturaleza y la física responden a una misma pasión puesto que, no solo 'física' significa 'naturaleza' en griego, sino que ambas difieren simplemente en la escala y la forma con la que uno se relaciona con ellas.

En Agosto de 1967 el IFB salía de una de sus tantas coyunturas difíciles de su historia. La mayor había sido la desaparición de su mentor, el Dr. José Balseiro, quien a pesar de su prematura partida (en 1962) ya había contagiado su impulso a sus colegas y a las primeras promociones del Instituto. En el semestre previo a nuestra llegada se produjo una diáspora de estudiantes hacia la recientemente creada Facultad de Física de la

Universidad de Rosario, por lo que nos adjudicaron un tutor a cada uno de los recién ingresados. Casualidad o no, a mi me tocó un paisano mío (hablábamos el mismo dialecto de la 'Regione Veneta' de Italia), era el doctorando Conrado Varotto que no necesita presentación alguna. Vale acotar que la mentada descripción del IFB como una "gran familia" es bastante acertada, siempre que uno sea consciente de todo lo que puede ocurrir dentro de cualquier familia real. Dentro de 'La Planta' (la PEAT = Planta Experimental de Altas Temperaturas), como todavía se llamaba en Bariloche al Centro Atómico, transcurría toda la jornada donde tanto los afectos como los conflictos se amplificaban como en cualquier espacio aislado. Llevado por mi "50% Física-50% Bariloche" en dos semanas había extendido mis vínculos a varias familias de aquel 'pueblo' de unos 35.000 habitantes a través de la actividad coral y reemplazado las reuniones posteriores a la cena donde se debatía sobre las

"Lectures on Physics" de Feynman por la actividad musical y social.

La meta de la mayoría, que cuando jóvenes nos sentimos atraídos por la física, es probablemente llegar a entender la Teoría de la Relatividad y de paso la Cuántica. Pero una de las cualidades/defectos que tiene el IFB-IB es que los profesores de las materias teóricas son tan buenos que todo resulta ser obvio cuando ellos lo enseñan. El problema aparece cuando uno quiere (o debe) expresar lo que aprendió, porque ahí choca con la cruda realidad de que tan obvio no resultaba ser. Dentro de esa dicotomía entre el encanto por lo que me enseñaban y la dificultad de expresarlo fui dándome cuenta que lo mío estaba en la física experimental. Es decir, preguntando a través de las mediciones de laboratorio cómo son las cosas, y no deducirlo a partir de primeros principios.

Pero nobleza obliga y debo hacer explícito mi agradecimiento a

muchos de mis profesores, citando solo algunos por razones de espacio. En el primer semestre tuve como adjunto a Víctor Ponce, quien al ver mi esfuerzo en remontar la brecha entre pensar como ingeniero a hacerlo como físico, me preparaba ejercicios personalizados para facilitar ese tránsito. En el segundo semestre varios sufrimos la decisión, a mi criterio errada, de dictarnos Mecánica Estadística en lugar de Termodinámica. Ahí otra didacta nata, Verónica Grunfeld, nos ayudó en la coyuntura. Pero el 'bautismo de fuego' como físicos nos lo dio Blas Alascio (Alascio 2014), que en sus clases/debate parecía un sicólogo conciente del choque conceptual al que nos sometía mientras nos iniciaba en las dualidades de la Cuántica.

Fue recién al comenzar mi tesina de licenciatura (o 'Trabajo Especial', equivalente a la actual Maestría) en el Laboratorio de Bajas Temperaturas (LBT) que encontré el carril que me motivaría de ahí en más. Ese



Figura 1: *Nevada en el Centro Atómico Bariloche en los años '60.*

grupo había quedado reducido a dos tesis (Oscar Bressan y Carlos Luengo) después de la partida de sus primeros doctorandos/fundadores, los "Pacos" (María Elena Porta y Francisco De la Cruz) por un lado y Ana Celia Mota, Raúl Rap y José Cotignola por otro. Una descripción más autorizada de la historia inicial de BT se encuentra en De la Cruz (2013). Guiado por Luengo entré en el mundo de la calorimetría del cual nunca salí, ni pienso hacerlo (Sereni 2016). Pero en el LBT equipos como un calorímetro había que diseñarlos, construirlos y calibrarlos. A mi ingreso ya funcionaba un calorímetro diseñado y construido con la ayuda de un cooperante francés, Daniel Thoulouze (en BT entre 1967 y mediados de 1969), con una sólida formación en técnicas criogénicas y un futuro profesional destacado. Para la parte técnica contábamos con la habilidad de Heriberto Tutzauer y para lo demás había que recurrir a la creatividad, la paciencia y el aprendizaje sobre los errores. El crióstato estaba montado en una estructura más bien preparada para soportar un crióstato de dilución. Su operación tenía varias complicaciones operativas que con la experiencia adquirida en el mismo pudieron ser eliminadas en un nuevo equipo diseñado y construido unos años más tarde.

La termometría del calorímetro fue el tema de mi "Tesis de Licenciatura", bajo el título: "Calibración de termómetros para un calorímetro operable en el rango de 0.4 a 4 K". La tesina consistió en la calibración de termómetros resistivos de Carbón (Speer y Allan Bradley) con funciones polinómicas logarítmicas, cuyos coeficientes debían ser calculadas con la única ayuda de una recién llegada calculadora capaz de evaluar raíces cuadradas. Cabe comentar que en esos (como en todos los tiempos) los cambios eran vertiginosos, pues

todo el trabajo de cálculo de un semestre fue luego hecho rápidamente en la computadora 'Clementina' de la UBA y al siguiente año en la Bull de la Fundación Bariloche (a 10 Km del calorímetro). Estas calibraciones se hacían en forma absoluta en el rango de 4 a 1.4K tomando la presión de vapor del Helio en equilibrio con su líquido como referencia. Por debajo de esa temperatura se recurría a un "Termómetro Magnético" utilizando una sal de Cerio-Nitrato-Magnesio (CMN) que muestra un comportamiento tipo Curie-Weiss hasta aproximadamente 6mK. Una vez calibrado en 'el rango de He-4', la inversa de su susceptibilidad se extrapolaba hasta los 0.4K. No escapa a ningún experimental que este

procedimiento implica un enorme cuidado de la estabilidad térmica y la buena termalización de todos los elementos ya que el calor específico depende de un salto porcentual en la temperatura. La adquisición de datos era obviamente a mano, utilizando para la lectura del termómetro resistivo un Puente Wheatston conectado con tres cables. Un puente de inductancias permitía medir la señal de la sal paramagnética. Ambos equipos, fabricados en Bariloche, eran a válvula y alimentados desde una red de 6 voltios. La medición del calor específico de una muestra 'patrón' de Cu fue la certificación de que el trabajo realizado era correcto.



Figura 2: Paco y María Elena De la Cruz; Blas Alascio y Arturo López Dávalos.

■ 2. LA TESIS DOCTORAL

Además del equipamiento, para hacer una tesis doctoral a principio de los 70' había que buscar un tema, un asesor y producir o conseguir las muestras. Con su empuje natural, Luengo ya había tomado contacto con colegas de Santiago de Chile, Miguel Kiwi y Miguel Roth entre otros, abocados a estudiar la física de impurezas magnéticas en metales. Comparado con nuestras dificultades en desarrollar una actividad experimental, en Chile resultaba poco menos que heroico en esos años de estrechez económica hasta que todo sucumbió en septiembre de 1973. Yo tenía prevista una visita a Santiago de Chile para fines de esos meses que obviamente quedo en la nada. A través de ellos, el contacto de Luengo llegó hasta Brian Maple (La Jolla, UCSD-California) tras una de sus visitas a esa ciudad. Maple ya era uno de los investigadores emergentes en el tema del "Efecto Kondo" que había sido modelado por ese teórico japonés algunos años antes. La decisión de Luengo de desarrollar su tesis en La Jolla bajo la dirección de Maple fue fundamental para nuestro futuro en cuanto a la temática y el desarrollo experimental.

La línea de investigación se refería al '*Efecto de impurezas magnéticas en superconductores*', a la cual me acoplé al poco tiempo desde Bariloche. El proyecto general incluía la construcción de un calorímetro de pulso más versátil del que funcionaba en el LBT para el laboratorio norteamericano. El nuevo diseño, realizado por Luengo, se basaba en nuestra experiencia previa y en algunas ideas tomadas de la literatura. Con muy buen tino Luengo me propuso construir uno gemelo para nuestro laboratorio. La simpleza de manejo del nuevo equipo hizo que a más de 40 años ambos calorímetros estén en pleno funcionamiento con

leves modificaciones y obviamente contando en el presente con tecnología actualizada en cuanto a la adquisición de los datos.

En cuanto a la temática, ya resultaba claro que la 'eficiencia' con que los momentos magnéticos de las impurezas inducen la ruptura de pares superconductores de la matriz ('pair breaking' de espines opuestos) era un reflejo directo del carácter magnético del estado fundamental de dichos momentos. El importante desarrollo teórico de esos años era complementado por el avance experimental, liderado por B. Maple, D. Wohlleben, Z. Fisk, J. Thompson y otros miembros de la escuela de Bernd Matthias en UCSD y Los Alamos.

'Pair breaking'

La ruptura de pares superconductores (pares de Cooper) está ligada a la dispersión ('scattering') de uno de los espines de dicho par con el momento magnético de una impureza magnética. Su eficacia depende de la robustez del momento y de la intensidad de dicha interacción local. El Gd es la impureza eficiente para el primer mecanismo, mientras que el Ce lo es para el segundo. Esto se debe a que los electrones que forman los pares de Cooper también están involucrados en el apantallado del momento (del Ce) a través del efecto Kondo. Para ciertos valores de esa 'hibridación' entre los estados involucrados el efecto de 'pair breaking' puede llegar a ser más efectivo que un momento robusto, ya que ese apantallamiento involucra la función de onda de los electrones de conducción. Un extenso 'review' sobre el tema se puede encontrar en Maple 1976.

Entre los años 1971 y 1973 ocurrieron numerosos cambios en el LBT. Luengo partió a La Jolla dejándome la oferta de dirigir mi te-

sis doctoral y proveerme algunas muestras fabricadas en aquel laboratorio por un miembro de ese grupo, John Huber. Paco y Maria Elena regresaron al país a fines de 1971 y con ellos el perfil del laboratorio cambió totalmente. También regresó Raúl Rapp con toda su experiencia en la física experimental de muy bajas temperaturas. A mediados de 1973 hacía mi última medición en el 'viejo' calorímetro que se transformaría en el primer crióstato de dilución construido en Latinoamérica por R. Rapp. El 'nuevo' calorímetro de He3 fue construido por el técnico Tutzauer a partir de mediados de 1972 y calibrado al año siguiente, datando las primeras mediciones de principios de 1974. Este año fue de grandes cambios personales porque, además de ingresar en la CNEA como investigador, di el paso más importante al unir mi camino con el de Regina marcando el comienzo de una maravillosa vida compartida.

El plan de mi tesis doctoral, "*Tópicos Calorimétricos en metales superconductores dopados con impurezas de Tierras Raras*", involucraba varios fenómenos físicos intensamente investigados en esos años. Además del ya mencionado efecto de 'pair breaking' sobre la superconductividad incluía otros más genéricos pero intrínsecos al comportamiento de las tierras raras y sus interacciones magnéticas. El primero corresponde a los efectos del campo eléctrico cristalino (ECC) producido por los átomos vecinos al ión magnético, que reduce su simetría local con la consiguiente reducción de la degeneración del estado fundamental dado por las reglas de Hund. El segundo se refiere a las interacciones entre iones magnéticos diluidos en una matriz metálica (no magnética) que resulta en un comportamiento conocido como de Vidrio de Espín (o '*Spin Glass*'), donde todos los iones magnéticos producen un

campo magnético efectivo (o 'molecular') sobre el momento estudiado. Como mencioné, las muestras relacionadas al tema de las impurezas magnéticas en superconductores (aleaciones de ThSc y ThY dopadas con impurezas de Ce) vinieron de La Jolla, mientras que las de ThCd (con comportamiento de Vidrio de Espín) y las referidas al estudio del ECC ($\text{La-Al}_2\text{Er}$) fueron producidas en nuestro horno de arco fabricado *ad hoc* con el asesoramiento de J. Huber.

Era un proyecto muy bien planificado pero con un inconveniente, mi director estaba a más de 10.000 km y el tiempo medio del correo superaba las dos semanas. Sintíendome en varios sentidos como una especie de 'impureza' en un medio superconductor (tema conductor en el LBT después del regreso de los 'Pacos') dependía de la ayuda de quien se prestara a ofrecérmela. Rapp respondía a todas mis consultas de corte experimental, Paco me ayudó a leer e interpretar la tesis Doctoral de Luengo (obviamente en un horario bien temprano) y mis referentes para la interpretación de los resultados desde el punto de vista teórico, Alascio y López-Dávalos (López 2014), me ayudaron a entender la física del Cerio a partir de sus modelos sobre la transición α - γ del Ce puro (Alascio y col. 1974). Para la lectura de los resultados obtenidos en el tema del ECC contaba con la experiencia de Mario Passeggi en el tema. Con los Vidrios de Espín me las arreglé como pude.

Cuando con la ayuda de Paco De la Cruz conseguí una beca de la Fundación Fulbright para discutir los resultados del trabajo de tesis con mi director en La Jolla por dos meses, él ya se había trasladado a la Universidad de Campinas en Brasil, por lo que la discusión fue con Maple y sus colaboradores. En esos años la situación económica del país estaba des-

controlada, el dólar no oficial subía al 1% diario y la brecha había llegado al 1000%. Al declarar cuánto era mi ingreso mensual en el formulario del pedido de beca la cifra en dólares hubiera sido de unos 500U\$ al cambio oficial y de 50U\$ al no oficial, opté por evitar la ambigüedad escribiendo 500.000 pesos. Esta primera experiencia en el exterior fue muy formativa en lo profesional, viendo como se trabajaba en una Universidad de primera línea, sino también en lo personal conociendo algo de una sociedad tan compleja como la norteamericana.

Además de lo económico, no escapa a quien tiene conciencia histórica que esos años estuvieron entre los más violentos y traumáticos de nuestro país. Para bien o para mal, la distancia geográfica a los peores acontecimientos y el paraguas institucional nos ponían dentro de una "campana de cristal" en la que las noticias llegaban con retraso y 'filtradas' en algún grado. Lo que me costaba entender en las discusiones entre colegas era el magro uso del sentido común para 'leer' la realidad cuando en nuestra profesión deberíamos estar entrenados en ese ejercicio para poder avanzar en la investigación. De todas formas algo ya resultaba claro: había violencia y 'la violencia engendra más violencia'. Al regreso de La Jolla (Abril de 1976) el país había cambiado totalmente. El desorden se había transformado en una calma superficial impuesta que ocultaba lo que estaba ocurriendo en la sociedad.

La defensa de la tesis presentada en el IB fue mi auto-regalo de los 30 años (en Agosto de 1976) y esta dedicada a Regina, quien me acompañó sin cuestionamientos en todas las decisiones importantes que marcaron nuestras vidas. El epígrafe de la tesis reza "El tiempo que has dedicado a tu rosa, es lo que ha he-

cho tu rosa tan importante.... tú eres responsable para siempre de lo que has domesticado." y el *post scriptum* "No se si lo entendí o si me acostumbré". Para ese entonces tenía mi primera publicación (Sereni y col. 1975) basada en los resultados obtenidos en mi nuevo calorímetro. La misma contenía un primer concepto original que me sirvió para entender el comportamiento del Ce en su entorno, es el del 'Volumen atómico disponible' tomado del concepto de la celda de Wigner-Seitz

■ 3. EL POSDOCTORADO

La elección sobre dónde hacer el post-doctorado tuvo una fuerte componente personal. Era mi primera oportunidad de conocer mi tierra de origen y el resto de mi familia cercana después de haber partido de Trieste (Italia) a la edad de 2 años. El Prof. Carlo Rizzuto, del "Istituto di Fisica" de la Universidad de Génova acababa de publicar un trabajo de 'review' (Rizzuto y col. 1974) sobre el comportamiento de impurezas magnéticas en metales. Otra vez el '50%/50%' dado por la física y el lugar donde desarrollarla. Habiendo obtenido una beca del Istituto Italo-Latinoamericano, quedé a la espera de que me aprobaran el viaje al exterior. Pero ese retraso tuvo una componente positiva pues la visita a Bariloche de Wohlleben, ya radicado en Colonia (Alemania) y gran amigo de Alascio, impulsaba el tema de las impurezas en metales en su Instituto. Después de una interesante charla me ofreció continuar mi post-doctorado en su grupo después de la estadía en Génova.

Puesto que la beca para Italia caducaba con el año (1976), partimos el día de Navidad a costa de la venta de nuestro auto sin imaginar que por esa acción podría haber sido exonerado de mi cargo en la CNEA. Hoy no me cabe duda que estoy en

deuda con alguna autoridad de esa Institución cuyo nombre solo puedo sospechar pero cuya nobleza le llevaba a jugarse por los demás. De todas formas sufrimos la carencia de sueldo por ocho meses. Solo contábamos con la magra beca del Instituto Latinoamericano, la paciencia de quien nos alquilaba la vivienda y algunos préstamos personales para amortiguar el abandono financiero a que nos sometían las circunstancias. Reclamar por nuestra situación implicaba dos meses en espera de alguna respuesta.

La llegada al Instituto de Física en Génova no fue en el mejor momento ya que hubo una 'migración' de la gente joven hacia temas de investigación aplicada por falta de becas en las de ciencias básicas. Después de algunos intentos de poner en marcha un magnetómetro me di cuenta que apostar mi postdoctorado a algo con resultado incierto no tenía sentido. En la búsqueda de alternativas entré en contacto con investigadores de "Istituto di Fisico-Chimica" quienes no solo proveían de muestras a los físicos, sino que estaban adelantados en años en la investigación de compuestos binarios de tierras raras. Aunque el Cerio ya figuraba en mi currículum, no podía imaginar lo decisiva que fue para mi futuro la elección de trabajar con el Prof. Giorgio Olcese pues, como uno de los mayores expertos del momento en ese elemento, me inició en sus innumerables 'intimidades'. Era difícil imaginar un compuesto binario de Ce que Olcese no hubiera ya sintetizado, identificada su estructura cristalina y reconocido parcialmente sus propiedades magnéticas. No es casualidad que el primer compuesto donde el Ce muestra el 'colapso' de su volumen atómico, el CeN, fuera descubierto en ese Instituto en el año 1937 (Iandelli y Botti 1937) y corroborado por el mismo Olcese en 1969 con el diagrama de

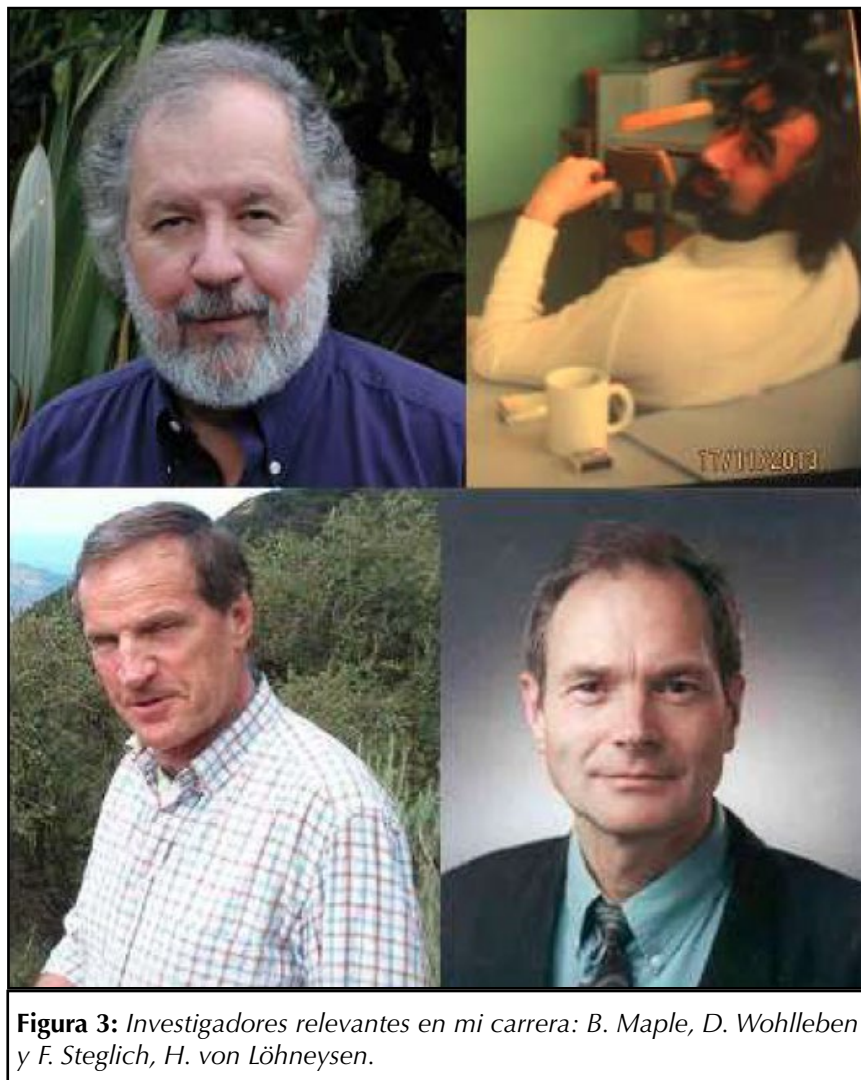


Figura 3: Investigadores relevantes en mi carrera: B. Maple, D. Wohlleben y F. Steglich, H. von Löhneysen.

fase del Ce puro bajo presión (Olcese 1969).

La propuesta de interpretar los resultados sobre la susceptibilidad magnética de nuevos compuestos de Ce utilizando el modelo de las "Fluctuaciones Inter-configuracionales" (ICF, por su sigla en Inglés) propuesto por Wohlleben le daba continuidad y proyección a mi renovado proyecto de post-doc. La tradición de la vieja escuela de químicos hacía que los resultados del grupo de Olcese quedaran guardados en biblioratos con solo excepcionales publicaciones en Boletines científicos italianos informando sobre su existencia y estructura cristalina. "Si quieren saber que hacemos, que aprendan Italiano" respondió un día

un joven colega a mi pregunta sobre la falta de difusión de sus resultados.

Obviamente que esa no era mi visión sobre cómo actuar en el mundo de la ciencia y, obrando en consecuencia, el 25 de Mayo de 1977 daba mi primer seminario en inglés en Alemania, invitado por Wohlleben. El objetivo del viaje era exponer sobre los resultados que había conseguido aplicando su modelo fenomenológico ICF a los compuestos binarios de Ce que había estudiado en Génova. Dicho modelo postula que la "Inestabilidad de Valencia" (IV) se origina en la fluctuación cuántica entre dos configuraciones electrónicas (las 3^+ y 4^+ del Ce o las 3^+ y 2^+ para el Sm, Eu, Tm e Yb). Este modelo fue exitoso para descri-

bir el comportamiento magnético de compuestos de Eu Tm e Yb 'sintonizados' entre la configuraciones 2^+ y 3^+ (Sales y col. 1975), pero para los compuestos del Ce los resultados no siempre eran satisfactorios porque asociar su comportamiento al de las otras tierras raras (TR) solo es completamente válido para sus propiedades químicas. En realidad, entender la diferencia intrínseca entre el comportamiento magnético de éstas TR y el del Ce llevó casi una década e implicó fuertes discusiones (algunas no muy académicas). Ese fue, al menos para mí, un ejercicio fundamental donde aprendí a valorar lo que los resultados experimentales indicaban aunque las predicciones teóricas no se ajustaran como uno esperaba a esos resultados. En esas discrepancias puede estar lo nuevo que la naturaleza nos esta enseñando, es decir que uno podría estar en el umbral de un 'pas avant' en el conocimiento. Ciertamente que muchas 'discrepancias' pueden deberse simplemente a que los sistemas estudiados experimentalmente acarrear todo un abanico de propiedades que exceden los fenómenos a los que apunta el modelaje. El 'conflicto' incrementó con la aplicación de técnicas espectroscópicas al estudio de varios compuestos de Ce, que frente a los de las propiedades termodinámicas eran definitivamente contradictorios. La posibilidad de entender porqué teníamos resultados tan distintos sobre los mismos sistemas debía respetar la premisa de que la física es una sola aunque las interpretaciones razonable sean variadas. Pero el final de esta historia corresponde a la siguiente década.

En ésta etapa, mi contribución al estudio de los compuestos binarios de Ce fue presentada en la Conferencia LT15 de Grenoble junto con un estudio sobre el CeSn_3 (ver Sereni 1991). Lo anecdótico ocurrió con la publicación de mis resultados sobre

el '*Spin Glass*' ThGd , cuyo calor específico (C_m) no resultaba ser proporcional a la temperatura como lo predecía la teoría y por eso no fue aceptado en la revista *Solid State Communications*. Después de ver la presentación de un resultado equivalente en la aleación CuMn por N. Phillips (uno de los referentes en mediciones calorimétricas) bastó agregar esa referencia para que el trabajo fuera aceptado rápidamente. Típica subordinación de lo observado ante lo predicho por los modelos corrientes, cuya transgresión solo se acepta cuando la propone algún 'pez gordo' y sin chance para un 'periférico'.

Concluido mi post-doctorado en Génova nos trasladamos a Köln (Colonia), ahora con nuestra primogénita Andrea. Si algo aprendimos viviendo en diferentes ciudades, es que uno se lleva de ellas tanto cuanto esta decidido a entregarse a ellas. La mejor respuesta de la gente se consigue cuando uno esta decidido a vivir una ciudad queriéndola como uno más de sus habitantes. Con esa actitud, Génova, Colonia, Estrasburgo, Nancy, Viena, Dresden y otras ciudades pasaron a enriquecer nuestro acervo por haber dejado parte de nuestro afecto en cada una de ellas.

Debo admitir que en Alemania me encontré con una forma de trabajar más afín a la mía. Producir muestras, caracterizar su estructura, estudiar sus propiedades básicas y, tal vez lo más motivante, utilizar nuevas técnicas experimentales. En los dos primeros aspectos fui 'designado' responsable de proponer los compuestos de Ce que merecía ser estudiados en ese grupo, en los otros participaba en la ejecución las mediciones programadas. En realidad, lo más fructífero a largo plazo fue involucrarme en las propiedades espectroscópicas a través de medi-

ciones de la absorción L_{III} de rayos-X (XAS) y de todo lo que esa técnica implica: uso de la luz de sincrotrón, transiciones electrónicas involucradas, detectores, interpretación de los resultados, etc). Fue a las 03hs. de una madrugada cuando me golpeó una realidad experimental no prevista, que se resume en la expresión: "el Ce no se comporta como debiera, no vale la pena medirlo", hecha por la responsable local de la línea de medición de los XAS. "Es por eso que debemos medirlo" le repliqué tratando de que no se perdiera todo el trabajo de preparación previa mientras trataba de 'digerir' esos resultados no esperados que estaban apareciendo. Concretamente, los resultados de XAS indicaban que el CeSn_3 no tenía IV sino que era de valencia estable (tipo Ce^{3+}), como el CeIn_3 que se ordena magnéticamente. Si bien "lo que no mata ennoblesce", cuando la realidad es tan distinta a lo que esperamos lleva un tiempo reubicarse en el problema. Pero la revancha con los XAS - L_{III} la tuve, aunque fue recién diez años más tarde con el CeN.

Durante mi estadía en Colonia pude presenciar otra 'confrontación' científica. El compuesto CeCu_2Si_2 descubierto en La Jolla (Sales 1974) era uno de los primeros casos reconocidos como Fermión Pesado (HF, por '*Heavy fermion*') donde el estado fundamental del Ce se comporta como un Fermión, pero con una masa electrónica efectiva (m_{eff}) renormalizada en más de tres órdenes de magnitud respecto a la de un metal noble. Los compuestos provenientes de UCSD o Los Alamos (Nuevo México) eran estudiados por el grupo de investigadores formados en la ya mencionada escuela de B. Matthias. En Colonia, Frank Steglich había instalado un crióstato de dilución que le permitió investigar el comportamiento del HF CeCu_2Si_2 por debajo del grado Kelvin, encon-

trando una transición que a primera vista podría haber sido tomada como magnética, pero la resistividad eléctrica indicó que era superconductor (SC). En esos casos no solo se repiten las mediciones sino que se reproducen las mismas sobre nuevas muestras, con la sorpresa de que algunas resultaban ser SC y otras no lo eran. La discusión sobre si era un fenómeno intrínseco o espurio duró casi dos años, pero finalmente el carácter SC como propiedad 'bulk' del CeCu_2Si_2 fue aceptado en un 'workshop' en Badhonnef, en Junio de 1978. El debate fue intenso, pero la evidencia de la existencia del primer HF-SC, donde los orbitales '4f' del Cerio están involucrados en la formación del estado SC, revelaron un mecanismo no convencional de SC (Steglich y col. 1979) que soportó las críticas de sus detractores.

■ 4. REGRESO AL PAÍS (1978)

De más está decir que reintegrarse al país después de dos años y me-

dio, intensamente vividos en otras sociedades y cargados de nuevas experiencias y motivaciones, lleva algún tiempo. A eso se agregaba lo que Argentina misma también había cambiado en esos años.

Por un lado la CNEA había encarado un plan nuclear que estaba dando resultados concretos, pero había temas sobre los cuales 'no se hablaba'. En Bariloche todavía se percibía la tensión provocada por el inminente conflicto armado con Chile y en cada cruce al país hermano aún pensamos en las devastadoras consecuencias que hubiera tenido. Paseando por el bosque a poco de cruzar la frontera aún pueden verse los restos de una trinchera chilena que inspiran un renovado agradecimiento al Papa y al Obispo Samoré.

En los primeros años posteriores a mi regreso, me dediqué a la construcción de un magnetómetro tipo Faraday, cuyo funcionamiento

conocía por haber usado uno en Colonia. El proyecto fue propuesto durante una segunda visita de Wohleben en Bariloche en el marco de una cooperación entre el Kernforschungszentrum Karlsruhe (Alemania) y el Centro Atómico Bariloche. Los alemanes compraban un imán Brucker, los argentinos la Balanza Micrométrica y el que escribe, junto con nuestro técnico Tutzauer, debíamos encargarnos de la construcción de un criostado de He3 para ser instalado en el laboratorio de Resonancias Magnéticas. En lo académico, a mi regreso comencé a desempeñarme como Jefe de Trabajos Prácticos en el IB dentro de las cátedras de Física Experimental.

Paralelamente, en esos años continué con el estudio de la fenomenología de los compuestos intermetálicos de Ce. Gracias a ello pude correlacionar algunas propiedades, desarrollando un conjunto de conceptos básicos que me siguen siendo útiles para tratar de enten-



Figura 4: Miembros y allegados al laboratorio de Bajas Temperaturas a fines de los '70.

der el comportamiento de nuevos compuestos. Aunque éstos fueran conceptos de carácter más bien empírico, y no estrictamente ligados a modelos, su generalización daba más fundamento para la interpretación de nuevos resultados ya que no estaban acotados por hipótesis previas. Entre los años 1979 y 1984, en paralelo a la actividad experimental, surgieron unos análisis sistemáticos que podrían mencionarse como '*Divertimenti*' en base al vocablo usado por Kubo en su libro de 'Termodinámica'. Ellos me permitieron: i) definir los radios metálicos del Ce^{3+} y el Ce^{4+} , ii) el uso del Ce como sonda para el reconocimiento de la celda de Wigner-Zeits en un metal, iii) la diferencia intrínseca entre la localización y la deslocalización de los electrones '4f' que explica las temperaturas de fusión anómalas y la razón por la que el modelo ICF no es aplicable al Ce pero sí al Eu y Tm, iv) el rol de las simetrías orbitales en el mecanismo de hibridización entre los estados '4f' y la banda de conducción. Para las referencias de las publicaciones de esta década ver: (Sereni 1991). Pero la 'perla' de esos años no es enumerable dentro de ese listado porque está dada por el nacimiento de nuestros mellizos Claudia y Matías.

Aunque ya tenía claro que el lenguaje científico queda bien definido recién cuando su formulación teórica describe correctamente cada uno de los conceptos involucrados, también tenía experiencia en las ambigüedades que podían aparecer ante una aplicación '*naïve*' de los mismos a los resultados experimentales. Uno de los casos que mejor recuerdo fue una discusión con el '*referee*' de una contribución a una conferencia internacional. Habíamos estudiado el mismo compuesto (el CeN_3), pero él usando técnicas de Resonancia Magnética Nuclear mientras que mis resultados provenían de mediciones

de magnetización y calor específico (otra vez la dicotomía: 'espectroscopía vs. termodinámica'). Ambos dedujimos una temperatura de Kondo y coincidíamos en lo que ella significaba, pero diferíamos en un orden de magnitud sobre los valores obtenidos a partir de aplicar los modelos correspondientes a las respectivas técnicas. Después de la respuesta al primer reporte, el referee tuvo la buena idea de presentarse personalmente para discutir cara a cara nuestras diferencias. Fue una discusión muy vivaz (incluso acústicamente) pero su final divergente implicaba el rechazo de mi contribución. El responsable de las publicaciones seguía con curiosidad nuestras discusiones y, ante ese final intransigente, me sugirió describir mis resultados desde un punto de vista netamente termodinámico. Nunca abandoné ese acertado criterio porque la termodinámica no depende de modelos específicos sino de principios más universales. Obviamente que la 'puesta en contexto' de las conclusiones resultantes debe ser hecho en los términos (o el lenguaje) definido por los correspondientes modelos. Es decir, que la '*temperatura característica*' evaluada a partir de criterios termodinámicos sea la '*temperatura de Kondo*' o la de '*Spin fluctuation*' es un problema de la aplicación de los modelos, pero no de los valores de energía observados experimentalmente (expresada en $k_B T$).

En este mismo contexto merecen ser mencionados los valiosos comentarios que me hizo Leo Falicov durante su visita con motivo del 'Bariloche 80' al festejarse los 25 años del IFB. Una de las tantas cualidades que tenía Falicov era la de prestar real atención al interlocutor, especialmente si era un estudiante o un joven investigador. Le pedí una cita para contarle los resultados de mi trabajo sobre 'Fases de Laves' en base Cerio y, ante mi sorpresa, me

demonstró conocer no solo sus características estructurales sino también sus parámetros de red. Dos de sus consejos me quedaron muy grabados, uno era que si lograba resumir mis conclusiones en un diagrama iba a ser más convincente que varias páginas de texto además de demostrar-me que estaban bien formuladas. El otro era sobre la conveniencia de separar claramente los resultados experimentales de su interpretación a la luz de los modelos disponibles. La frase fue contundente: "si te casas con un modelo corres el riesgo de que tus resultados terminen en el 'closet' de las propuestas inútiles". Visto en perspectiva, hoy diría que: "los resultados experimentales confiables son válidos para siempre, los modelos siempre están sujetos a la evolución posterior del conocimiento".

La década del '80 estuvo marcada por una estrecha y fructífera colaboración con un grupo de la Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo (Francia). Durante un viaje casi imprevisto en plena guerra de Malvinas entré en contacto con un colega, Jean Paul Kappler, cuya calidad como físico experimental solo era superada por su calidad humana. Dentro de la docena de compuestos de Ce que estudiamos, el $CePd_3B_{0.6}$ fue uno de los más destacados por ser el "*southern-most and heaviest fermion*" en ese momento ya que su C_m/T a 0.5K fue de 3.5J/mol K², es decir ~ 5000 veces la del Cu (Sereni y col. 1986). Esta familia se completaba con los $CePd_3X_x$; X = B, Be y Si, donde los átomos 'X' ocupan los sitios intersticiales de la red FCC del $CePd_3$. La notable productividad de éste período no hubiera sido posible sin la incorporación de Gladys Nieva como estudiante de doctorado entre 1984 y 1987. Otros quince compuestos binarios y tres ternarios fueron estudiados dentro de esta colaboración. En particular,

la familia de los Ce_3X_7 ($X = Ni, Pd, Rh, Ir, Pt$) fue el tema de la tesis doctoral de Octavio Trovarelli (1996). Con el CePd, descubrimos el llamado 'the lightest Ce fermion' (con un γ de Sommerfeld de 1.2 mJ/at K^2 , ver Sereni 1991), definiendo los límites del máximo rango de densidad de estados conocido para un único elemento, el Ce, que abarca más de tres órdenes de magnitud.

■ 5. LA ETAPA HUMBOLDTIANA 1986 - 1988

A principios de 1986 me postulé para una beca a la Fundación Alexander von Humboldt (AvH) de Alemania nuevamente bajo la dirección de D. Wohleben en la Universidad de Colonia. Llamativamente la aceptación llegó casi "a vuelta de correo" probablemente debido a una primera presentación en 1977 que no había prosperado por haber sido presentada desde el exterior. No cabe duda que hubo un seguimiento por parte de la Fundación AvH que ya en aquel año me invitó a volver a presentarme al regresar al país. El otorgamiento de esa beca transforma al candidato en "Humboldtiano", lo cual no es solo un eslogan sino que se concreta en la sensación de pertenencia a esa Fundación a través de sus encuentros integradores, subsidios para equipamiento y financiamiento de posteriores estancias en Alemania.

Al poco tiempo de la llegada a Colonia, el anuncio del descubrimiento de superconductividad a más alta temperatura que los metales conocidos ('High T_c superconductors', HTc) me permitió vivir de cerca esa revolución en nuestro medio ya que los descubridores, Bednorz y Müller, recorrían Europa buscando afianzar su candidatura para el Premio Nobel. Todos fuimos arrastrados por esa "super-corriente" y a mi me tocó involucrarme en la

medición del calor específico a alta temperatura del conocido YBaCuO ($YBa_2Cu_3O_{6.5}$) con $T_s \sim 90K$. La transición aparecía claramente en las mediciones, pero para separar la contribución electrónica de la de los fonones (dominantes a 90K) había que restar esta última. El clásico método de medir una referencia que no sea superconductora, el $YBa_2Cu_3O_7$, por ejemplo, no era aplicable ya que su calor específico era claramente mayor que el que queríamos restar. En la búsqueda de cómo evaluar esa contribución en el compuesto que estudiábamos aprendimos que, desde el punto de vista de las oscilaciones térmicas de los átomos (los fonones) su comportamiento respondía a la suma de las oscilaciones de los respectivos óxidos, es decir: $1/2Y_2O_3 + 2BaO + 3CuO$, donde la ligadura covalente entre metales y el

Oxígeno los hace oscilar como una única molécula.

Durante esos años mis colegas de Estrasburgo se habían especializado en mediciones espectroscópicas, fundamentalmente los L_{III} -XAS. Con el empuje que caracterizaba a J.P. Kappler decidieron estudiar el sistema más 'tetravalente' del Cerio, el ya mencionado CeN, a fin de ahondar en la disputa entre las propiedades termodinámicas y espectroscópicas. Ese compuesto era muy difícil de sintetizar en su composición estequiométrica, por lo que me pidieron solicitarle una muestra a G. Olcese (Génova). Las mediciones se llevarían a cabo en el LURE (Paris) por los Estrasburgueses, mientras yo coordinaba mi parte desde Colonia. Si alguien cree que para los físicos las fronteras tienen algún significado



Figura 5: Los tesisistas: Gladys Nieva y Octavio Trovarelli; Mariano Gómez Berisso y Pablo Padrazzini.

es porque no sabe cual es nuestra visión del mundo. También en este caso los resultados no podrían haber sido más inesperados. El CeN era el arquetipo de máxima hibridación de los electrones "4f" con los de la banda de conducción, con un $\gamma \sim 8 \text{ mJ/molK}^2$, una débil susceptibilidad y resistividad eléctrica casi independientes de la temperatura (Olcese 1979). Todo esto estaba en consonancia con el 'colapso' del volumen atómico del Ce^{4+} observado por primera vez en Génova (Iandelli y Botti. 1937).

Para nuestra sorpresa, los resultados de L_{III} -XAS dieron una valencia de 3.00 (Ce^{3+}) (Kappler y col., 1991), como un "4f super localizado". La llave de la explicación fueron los "XA-Near Edges Structure" (XANES), que dentro de la misma medición

confirmaban el volumen colapsado del Ce^{4+} . La conclusión fue: si la valencia evaluada a partir de la absorción L_{III} -XAS depende de la promoción del electrón atómico '2p' a un estado '5d' (la regla es que $\Delta L = 1$), en los compuestos de Ce con ligantes tipo 'p' el fotoelectrón ocupa el orbital '5d' de Ce dando una señal equivalente al Ce^{3+} . Quedaba así dilucidado el origen de la dicotomía entre los resultados termodinámicos y espectroscópicos, explicando porque ya el CeSn_3 había dado esos resultados aparentemente contradictorios diez años atrás.

Al finalizar el período como 'Humboldt Stipendiat' fui invitado como Profesor visitante a la Universidad de Nancy II durante el primer semestre de 1988. Además de una experiencia docente en Francia, que

me permitió estar en contacto con jóvenes franceses, magrebianos y de África ecuatorial, tuve la posibilidad de participar de las mediciones de fotoemisión de rayos X (XPS) en compuestos de Ce. Ese era el tema central del grupo liderado por Gerard Krill en el 'Laboratoire de Physique des Matériaux'. Esto me dio la posibilidad de conocer las mediciones e interpretación de los resultados de esta técnica espectroscópica desde el punto de vista de los que también diferían de nuestros resultados termodinámicos. Gracias a esa experiencia pude entender que la diferencia entre nuestros resultados se debía básicamente a las respuestas intrínsecamente diferentes entre un estado final en equilibrio termodinámico (en el rango de los grados Kelvin) comparado con fuera de equilibrio resultante de la excitación



Figura 6: Colaboradores-amigos: Jean Paul Kappler (Fr.) y Peter Rogel (Au.) Ernst Bauer (Au.), Christoph Geibel (Al.), Mauro Giovannini (It.).

producida por un foto-electrón centenares de electronvolts (Ev).

■ 6. SEGUNDO REGRESO Y LA DÉCADA DEL '90

Este segundo regreso estuvo signado por las carencias que tenía la ciencia en esos años de hiperinflación. De todas formas, con la ayuda de los colegas del exterior (especialmente con muestras de alta calidad), de la Fundación AvH y la Fundación Antorchas (nuestro 'salvavidas' local) la tarea de investigación pudo seguir a ritmo sostenido. Los períodos de estrechez presupuestaria se pueden reconocer en los huecos de las revistas periódicas de la biblioteca (y en nuestros salarios) estando los años 1975, 1984 y 1989 entre los peores. Al reincorporarme encontré el LBT dedicado de lleno al estudio de los HTc, siempre liderado por Paco de la Cruz. Cuando estaba en plena duda sobre si continuar trabajando en sistemas magnéticos o dejarme llevar por la corriente de los HTc, me llegó la oferta de

escribir un capítulo sobre el calor específico del Ce a bajas temperaturas en el "Handbook of Chemistry and Physics of Rare Earths" (Sereni 1991). Aceptando ese desafío definí el resto de mi carrera, porque estaba convencido de que los temas de investigación pueden dejar de ser los "best sellers" del momento, pero la física (= naturaleza) se encarga de proveernos nuevos e inesperados fenómenos si es que nos dedicamos a 'escucharla' con espíritu receptivo. Un colega teórico me dijo en esos años: "en nuestro tema ya está todo dilucidado, solo nos quedan unos años para concluirlo", pero en los siguientes 25 años de esa afirmación aparecieron los "Non-Fermi-liquid", los "Puntos Críticos Cuánticos", la "Frustración Magnética" y las "Redes de Shastry-Sutherland", por mencionar los temas a los que me dediqué.

Respecto a lo académico tomé a mi cargo la cátedra de Física Experimental IV, materia que había dejado de ser obligatoria por no ser forma-

tiva a los ojos de los responsables académicos del momento. Como era de esperar, los alumnos fueron optando por la comodidad del escritorio en lugar de las incertezas del laboratorio. Había muchas explicaciones para justificar ese cambio en el programa de estudios, pero lo que faltaba era la opinión de los alumnos, así que opté por ir donde ellos solían reunirse para tener su versión de 'primera mano'. La conclusión fue bastante obvia, la falta de motivación de las prácticas propuestas, pero al consultarlos sobre la alternativa de realizar prácticas en temas concretos de investigación en los laboratorios la respuesta fue muy positiva. Eso implicaba que hubiera ofertas por parte de los laboratorios, cosa que tomó su tiempo pero con el correr de los años se fue incrementando al ver el creciente interés de los alumnos.

A principio de los 90' comenzaron nuevos y motivantes proyectos con colegas europeos, los más fructíferos y sostenidos en el tiempo



Figura 7: Grupo de la Universidad Técnica de Darmstadt.

fueron con Frank Steglich, ya Profesor en la Universidad Técnica de Darmstadt, y con los físicos vieneses. Peter Rogl y Ernst Bauer de la Universidad de Viena. Con F. Steglich establecimos un programa de cooperación que trajo 16 visitantes alemanes (entre tesis y doctores) a nuestro laboratorio y un número algo menor de argentinos que viajaron a Darmstadt financiados por la Fundación Antorchas. Esta intensa cooperación fue mayormente gestionada por Christoph Geibel, con quien compartíamos la misma visión de la física de los sistemas inter-metálicos. El nombramiento de Steglich como director del Max-Planck Institut facilitó aun más la colaboración. Entre los compuestos que estudiamos están los del tipo Ce-2-2 (que fueron tema de la tesis doctoral de Mariano Gómez Berisso - 2002), el Ce(In,Sn)₃ (tema de tesis doctoral de Pablo Pedrazzini - 2003) y el Ce(Pd,Rh) que resultó ser un arquetipo de un férromagneto (FM) llevado continuamente a un estado de inestabilidad de valencia a través de un Punto Crítico Cuántico. Cabe decir que, durante uno de mis viajes a Europa (en 2002), el 'tandem' Berisso - Pedrazzini produjo un avance significativo en nuestro calorímetro automatizando el sistema de adquisición de datos gracias a la incorporación de un Puente de Resistencias automático donado por la Fundación AvH el año anterior.

En cuanto a la cooperación con Viena, los resultados fueron y siguen siendo igualmente fructíferos ya que también con ellos se generó un equipo de trabajo que aún perdura por encima del limitado apoyo oficial. En la década de los '90 estudiamos cinco sistemas ternarios de Ce e Yb, y otros tantos fueron investigados en la siguiente. Los que nos ocupan actualmente serán citados más adelante. Pero debo mencionar que en lo personal, mi primer visita a Viena

estuvo marcada por haber podido encontrar la tumba de mi abuelo G. Wambrechtsamer († 28/06/28) el 17/09/91, después de 63 años de su fallecimiento. Toda una experiencia inolvidable en la neblina matinal del cementerio central de Viena donde, en mi paupérrimo alemán, logré convencer a los administrativos para que me indicaran la ubicación de la tumba que buscaba.

6.1. NUEVOS 'DIVERTIMENTI' ENTRE 1994 Y 2001

En esa década no dejé de trabajar en nuevos '*Divertimenti*' que permitían seguir ordenando la experiencia que íbamos acumulando en el estudio de los compuestos, tanto de Ce como de Yb. Entre ellos están el que muestra la diferencia entre la variación del volumen (o presión estructural) y la variación del nivel de Fermi (o presión química), ambos como 'driving forces' que regulan la competencia entre las interacciones magnéticas y el apantallamiento tipo Kondo. Vale comentar que usualmente la diferencia intrínseca entre los efectos de estos dos parámetros de control no es tomada en cuenta en su debida forma, incluso ambos son comparados en forma *naïve* con la aplicación de campo magnético externo. Cabe aclarar que, mientras ambos tipos de 'presión' actúan sobre la intensidad de los momentos magnéticos, el campo magnético influye en su dinámica y en la interacción con sus vecinos pero no necesariamente sobre su intensidad. Por ejemplo, una interacción FM puede ser llevada a cero como consecuencia del debilitamiento de los momentos magnéticos mientras que el campo magnético solo podría fortalecerla.

El estudio sistemático de varias aleaciones en base Ce me permitió ejemplificar la evolución entre su estado magnético (Ce³⁺) y el de IV

(Sereni 1995) en forma continua. Unos años más tarde un colega hizo un estudio similar en base al efecto de la presión, pero nuevamente lo aportado desde nuestras latitudes no fue siquiera mencionado.

'Non-Fermi-liquids' (NFL).

En los sistemas de Kondo (principalmente en base Ce e Yb) la temperatura de orden magnético (Tord) puede ser llevada a $T = 0$ por aplicación de presión, variando su potencial químico o por aplicación de campo magnético si son AFM. Si bien en el límite no magnético (o de VI) el comportamiento es de tipo Fermi-liquid (FL), en el transito entre un extremo y otro aparece una región con un comportamiento carente de orden magnético pero diferente al de un FL, el cual fue dado en llamar de "Non-Fermi-liquid" (NFL). Este régimen corresponde a la región crítica donde la Tord tiende a cero y se reconoce por mostrar una dependencia logarítmica en el Calor Específico [$C_m / T \sim -\ln(T/T_0)$]. Con los colegas de Dresden propusimos un criterio de 'escaleo' entre los mismos que lleva a la conclusión de que todos responden a un mismo mecanismo porque pueden ser descritos por una única función cuando la temperatura es normalizada por la energía característica (kBT_0) del compuesto, siendo la temperatura reducida $t = T/T_0$. Con ello, la formula genérica resultó ser: $C_m / t = D \ln(t)$, donde $D = .5 \text{ J/molK}^2$ (Sereni y col. 1997).

Durante esta década también hice alguna incursión en dos temas de posible aplicación. A partir de la experiencia previa en los compuestos de Laves, estudiamos las temperaturas de orden FM en aleaciones pseudo-binarias Ce(Fe,Co)₂ y su dependencia con el contenido de hidrógeno. Aprovechando que la transición FM (a 220K en el CeFe₂) au-

menta en temperatura con el contenido de hidrógeno, la propuesta era utilizar esa variación para detectar el aumento de contenido de hidrógeno en las vainas de reactores nucleares a fin de prevenir su fragilización una vez implantado ese compuesto. Otra propuesta era aprovechar las propiedades superconductoras de algunas de las aleaciones tipo Zircaloy (con contenido de Zr y Nb) a fin de controlar su homogeneidad. Teniendo en cuenta que, en materiales superconductores inhomogéneos, parámetros como el calor específico, la susceptibilidad magnética y la resistividad eléctrica pueden detectar distribuciones masivas, superficiales o lineales respectivamente. La detección diferentes valores de la transición superconductor a través de cada uno de esos parámetros permitió evaluar el grado de homogeneización de la aleación en función de progresivos recocidos. Ambos proyectos no pasaron de un par de comunicaciones en congresos nacionales.

En ese período tuve un reconocimiento reconfortante a nivel nacional por parte de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales con el premio "Dr. Enrique Gaviola" del año 1997 en Física Experimental que, además de la satisfacción de recibirlo, me permitió publicar un compendio en nuestra lengua sobre la temática a la que estaba abocado (Sereni 1998). Las ideas allí plasmadas fueron la base de un compendio sobre los diagramas de fase magnéticos del Ce publicado por una revista japonesa en dos partes. La primera mostraba las evidencias respecto a que en las transiciones magnéticas no solo su T_{ord} tiende a cero, sino también los grados de libertad (GL) involucrados (es decir el salto de C_m a $T = T_{ord}$) siguiendo la ley de estados correspondientes de la termodinámica. En algunos casos incluso se observa que la transiciones de fase

pueden llagar a 'evanescer' a temperatura finita ($T_{ord} > 0$) porque son los GL de la fase ordenada quienes tienden a cero. Un análisis termodinámico más general fue publicado en la segunda parte (Sereni 2001).

Dentro de mis actividades, en esos años también se fueron sumando las obligaciones institucionales. Después de un breve período a cargo de la jefatura del LBT pasé a dirigir el Departamento de Investigación Básica del CAB, actual Gerencia de Física, por lo que solo después del horario oficial de trabajo podía dedicarme a la investigación. Afortunadamente el 'tandem' Berisso-Pedrazzini ya tenía vuelo propio y mi resuello diario consistía en enterarme de sus avances en las mediciones. Vale comentar que, al informar al Conicet sobre mi nueva responsabilidad en lugar de alentarme me llegó una carta pidiéndome que certificara que el cargo no afectaría mi horario de trabajo como investigador. Obviamente le respondí que no, quedándome con la sensación de que para algunos funcionarios los formalismos son lo más importante.

■ 7. EL NUEVO MILENIO

Después de haber desarrollado durante algunas décadas criterios más bien fenomenológicos (básicamente termodinámicos) para la interpretación de nuestros resultados experimentales, a principios de del nuevo milenio surgió la posibilidad de colaborar más estrechamente con los colegas teóricos locales. Dos físicos teóricos de primera línea, A.M. Llois y A. Aligia, me hicieron ver la ventaja de incorporar su forma de análisis respecto de los fenómenos que investigaban. En el caso de A.M. Llois, mi argumento sobre la diferencia entre nuestros respectivos lenguajes se derrumbó ante su decidida propuesta de conversar hasta llegar a encontrar un lenguaje en común,

mientras cada uno se enriquecía con la visión del otro. Con A. Aligia he ido acumulado con él una deuda a lo largo de los años por su paciencia en escuchar todas mis consultas y tratar de responderlas. Cito estos dos colegas como ejemplo de varios otros (entre ellos D. García) que también me dedicaron su tiempo con mucha paciencia. El resultado esta a la vista con las publicaciones conjuntas que tuvimos con los dos primeros entre 2003 y 2005.

Una tendencia que se acentuó en la última década fue la del cambio en los criterios para la adjudicación de subsidios a la investigación que fueron preferentemente dirigidos a proyectos de carácter más bien aplicado. Después de haber propuesto infructuosamente varios proyectos de financiamiento, todos ellos aprobados pero no financiados (incluso para sorpresa de un evaluador de los Estados Unidos) la opción fue seguir fortaleciendo los vínculos con el exterior. En esta etapa el apoyo llegó por parte de las cooperaciones internacionales financiadas por convenios entre el DFG (Alemania), el FWF (Austria) y el CNR (Italia) con el Conicet o el BMWF (Austria), el MAE (Italia) con el MINCyT. Nuevamente ésta resultó ser una decisión acertada en vista de los resultados que fuimos consiguiendo, pero con el sabor ingrato de no poder afianzar esta línea de investigación en nuestro medio y que en las publicaciones figuran cada vez menos autores argentinos. Por otro lado la respuesta desde el exterior era muy alentadora ya que, además de las cooperaciones citadas, llegaban pedidos de carácter consultivo para ayudar a poner en contexto más amplio algunos resultados difíciles de interpretar.

En lo académico, tras haber sido nombrado Profesor Titular se me pidió que dejara la cátedra de Física Experimental IV después de ejercer-

la por varios años. Con la jubilación del Prof. Manfred Ahlers quedaba sin dictado una materia que él dictaba sobre Técnicas Experimentales. Hubiera sido imposible reemplazar a un docente con tantos conocimientos como él, pero la materia cumplía el rol fundamental de complementar los cursos teóricos de la Maestría. La solución fue dictar, en colaboración con otro un colega, un curso sobre 'Fenomenología de la Materia Condensada' aprovechando la experiencia acumulada en varias décadas. Armar un curso sobre fenomenología sin contar con libros dedicados a ello fue una tarea considerable, pero el resultado valió el esfuerzo a la vista de la evaluación de los alumnos y por todo lo que se aprende preparando las clases sobre temas en los que uno mismo está interesado. El material didáctico utilizado puede ser visto en (Sereni 2012).

7.1. EL FENÓMENO DE LA "CRITICALIDAD CUÁNTICA"

Ya a fines del anterior milenio un nuevo fenómeno físico iba tomando protagonismo en nuestro campo, era el de la "Criticalidad Cuántica" (o 'Quantum Criticality', QC). Como era bien conocido, la intensidad del momento magnético efectivo (μ_{eff}) del Ce se podía controlar a través del incremento de su 'apantallamiento' por el efecto Kondo, permitiendo estudiar la evolución de las transiciones magnéticas hasta muy bajas temperaturas. El objetivo era llevarlas a una región de baja energía donde las fluctuaciones cuánticas (o 'Quantum Fluctuations', QF) comienzan a competir con las fluctuaciones térmicas clásicas. Analizando los diagramas de fase magnéticos de media docena de compuestos en base Ce, pudimos mostrar que entre 2 y 3K hay un cambio sistemático de

régimen de T_{ord} en función de los parámetros de control. Debajo de esa temperatura se ingresa en la zona de QC, dominada por las QF. Nuestro mejor aporte al tema, en colaboración con C. Geibel, fue el estudio de las aleaciones $\text{CePd}_{1-x}\text{Rh}_x$ y $\text{Ce}(\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x)_3$, ver (Sereni 2007) por referencias.

Puntos Críticos Cuánticos

Cuando la temperatura de transición de fase es llevada a $T=0$ en forma continua por la aplicación de una presión, campo magnético o a través de la variación del 'potencial químico' (por dopaje o aleación) el 'end point' resulta ser un **Punto Crítico Cuántico** (o 'Quantum Critical Point', QCP). A diferencia de las transiciones convencionales dominadas por fluctuaciones térmica, cuando las QF gobiernan el comportamiento del sistema (por debajo de $T \sim 2\text{K}$, Sereni 2007) la transición toma un carácter cuántico ('Quantum Phase Transition', QPT). Este comportamiento se reconoce por el aumento de la densidad de estados al disminuir la temperatura y se manifiesta en la dependencia logarítmica ya citada de los **NFL** o siguiendo una 'ley de potencias' $C_m/T \propto 1/T^Q$, que trataremos más adelante.

A partir de 2007 comienza un segundo periodo de interacción con Kappler y G. Schmerber de Estrasburgo (Francia) quienes habían conseguido sintetizar los compuestos de la familia del $\text{Ce}_2\text{Pd}_2\text{Sn}$. Como ocurrió dos décadas atrás me solicitaron colaborar con la medición del calor específico por debajo de 1K, pedido al que accedí con todo entusiasmo, incluyendo la interpretación de los resultados que distó de ser obvia.

7.2. LA FRUSTRACIÓN MAGNÉTICA

Frustración Magnética

El fenómeno de la Frustración magnética esta asociado a condiciones geométricas por las que interacciones magnéticas de distinta naturaleza no logra definir un único estado fundamental, impidiendo con ello el desarrollo de algún orden. El ejemplo más ilustrativo es el de las interacciones anti-ferromagnéticas entre momentos magnéticos situados en los vértices de un triángulo cuyas interacciones no pueden ser satisfechas simultáneamente por razones geométricas (que no cambian con la temperatura). Esto produce una competencia entre diversos estados fundamentales posibles que resulta ser conflictivo con la 3ra. Ley de la Termodinámica. Dada la condición de que la Entropía (S_m) deba tender a cero cuando $T \rightarrow 0$ impuesta por esta Ley, los sistemas buscan otros mínimos alternativos para su energía libre accediendo a fases exóticas que en los sistemas clásicos no pueden ser alcanzadas.

Dada la estructura cristalina del $\text{Ce}_2\text{Pd}_2\text{Sn}$, la red de átomos de Ce tiene una coordinación triangular entre sus primeros vecinos. En el caso de una interacción anti-ferromagnética (AFM) se produce una 'frustración magnética' (ver recuadro). Dado que eso impide condensar toda la entropía a medida que decrece la temperatura, la 3ra. Ley de la Termodinámica impone al sistema acceder a alguna fase alternativa cuyo estado fundamental sea de menor entropía. En el caso de éstos compuestos la alternativa es formar 'dímeros' magnéticos entre primeros vecinos que al interactuar entre sí forman unas redes cuadráticas simples quasi-bidimensionales llamadas de Shastry-

Sutherland" (Sereni 2009).

Ya había estado involucrado con esa familia de compuestos unos años antes cuando mis colegas de Viena, E. Bauer y H. Michor, me invitaron a participar del estudio del $\text{Yb}_2\text{Pd}_2(\text{In},\text{Sn})$ junto con M. Giovannini de Génova. Este último me propuso colaborar en la investigación de esos mismos compuestos pero en base Ce, que forman una solución sólida: $\text{Ce}_{2-x}\text{Pd}_{2+y}\text{In}_{1-z}$. Una coincidencia notable con la fórmula química de los compuestos con Sn, pero con un comportamiento diferente que resultaba complementario e ilustrativo en el momento de tratar de entender las propiedades físicas de ambos sistemas. Aprovechando que el $\text{Ce}_{2-x}\text{Pd}_{2+y}\text{In}_{1-z}$ presenta un comportamiento FM o AFM dependiendo de una sutil variación de la concentración relativa de sus componentes (Sereni 2011), se estudiaron las dos ramas magnéticas por medio del dopaje del Pd con Rh (i.e. agregando huecos) o con Ag

(i.e. agregando electrones). Esta última aleación nos dio la posibilidad de poder investigar la formación de un estado frustrado a partir de un FM bien ordenado en el compuesto $\text{Ce}_2(\text{Pd},\text{Ag})_2\text{In}$ (Sereni y col. 2016b).

Con el inicio de la presente década nos dimos cuenta de que habían pasado 40 años desde que obtuvimos nuestro diploma de Licenciados en Física.

La actual década comenzó con el renovado empuje de las colaboraciones internacionales mencionadas. La cooperación con el Max-Planck-Institut de Dresden (Alemania) entraba en su segunda década de desarrollo, que en éste período fue dedicada a compuestos fuertemente anisotrópicos del tipo Ce-1-1, casi comparables con los materiales preparados como multicapas. Los primeros resultados de la investigación sobre el $\text{Ce}(\text{Co},\text{Fe})\text{Si}$ vieron la luz en 2014 (Sereni 2014) y actualmente su estudio sigue adelante a

manos de V. Correa porque presenta una anomalía de naturaleza aun desconocida que se caracteriza por su alto coeficiente de expansión térmica que 'resiste' la aplicación de campos magnéticos intensos hasta los 10T. Algo similar ocurrió con la familia de los compuestos $\text{Ce}(\text{Ti},\text{T})\text{Ge}$ de estructura similar, donde $\text{T} = \text{Sc}, \text{Zr}, \text{Nb}$. Luego de una primera publicación (Sereni 2015a) estos compuestos siguen siendo estudiados por el elevado valor de su poder termoeléctrico a muy bajas temperaturas, siendo este tema parte de la tesis de doctorado de Sergio Encina dirigida por P. Pedrazzini.

En cuanto a la cooperación con Viena se concluyó un nuevo estudio del "Southernmost heaviest Fermion" $\text{CePd}_3\text{B}_{0.5}$, esta vez controlando específicamente la formación de una superestructura cristalina que se estabiliza por medio del dopado con Rh en la aleación $\text{CeRh}_{3-x}\text{Pd}_x\text{B}_{0.5}$ (Zeiringer 2014). Los proyectos aún en desarrollo con los investigado-



Figura 8: Julián Sereni, José Lolic, Héctor Otheguy, Manuel Tovar, 40 años después Derecha: tres logos del IFB (h : cte. de Planck) y el IB (b: reactor nuclear, i: Instituto) a lo largo de los años.

res vieneses se refieren a dos nuevos compuestos, el $CeCu_2Mg$ y el $Ce_3(Pd,Ni)_4Si_4$. El primero resultó ser un caso especial de HF frustrado pero coexistiendo con evidencias de FL. El segundo compuesto es más complejo porque el Ce se encuentra en dos sub-redes cristalinas diferentes, que no solo se comportan de manera diversa sino que además se condicionan mutuamente en sus propiedades físicas.

Mi vinculación con Génova se fue transformando en una ‘cabecera de puente’ con otros grupos europeos pues, por ese intermedio, comencé a ser consultado en forma cada vez más frecuente para la interpretación de resultados que no resultaban ser triviales a sus autores. De este modo entré en contacto con Marian Reiffers e Ivan Curlik de la Academia Eslovaca de Ciencias (SAS) a quienes Giovannini también proveía de muestras. Esto significó involucrarme en los compuestos $Ce(Ni,Ge)_5$ y el $YbCu_{5-x}Au_x$. El pri-

mero es un derivado de un viejo conocido (el $CeNi_5$), mientras que el segundo fue la clave para dos nuevos conceptos: el de los “fermiones muy pesados” (‘Very-HF’, VHF) y el consecuente “cuello de botella entrópico” (CBE) que permite entender su comportamiento.

7.3. LOS VHF Y LOS ‘CUELLOS DE BOTELLA ENTRÓPICOS’

A veces se piensa que un fenómeno físico se puede entender porque una simpática lamparita se enciende en algún lugar ‘oscuro’ de nuestra mente. Es cierto que algo se ‘enciende’, pero eso resulta fructífero cuando sirve para correlacionar dos hechos que antes no lo estaban. Esa especie de ‘clik’ (que no tiene nada de mágico) ocurrió mientras trataba de entender el comportamiento del $Ce_2(Pd,Ag)_2In$ (Sereni 2016b) y me llegó una consulta sobre cómo interpretar los resultados de $C_m(T)/T$ del $YbCu_{5-x}Au_x$ medidos por S. Gabani en Kosice (Eslovaquia). Ambos

compuestos muestran valores muy altos de $C_m(T)/T$ por debajo de 1K porque su $C_m(T \rightarrow 0)$ crece como una ley de potencias, por lo que pueden ser considerados VHF. Aunque tienen momentos magnéticos robustos no se ordenan magnéticamente, ni siquiera en el rango de los milikelvin. Este comportamiento choca contra el postulado de la 3ra Ley de la Termodinámica que exige reducir al mínimo la entropía al acercarse a $T=0$, pero ambos tienen estructuras cristalinas que les impiden desarrollar orden magnético a causa de la frustración magnética cuando las interacciones son de carácter AFM. Resultó ser que la clave para entender el comportamiento de ambos sistemas estaba en la 3ra Ley que provoca un CBE y no necesariamente en las interacciones magnéticas frustradas que impiden el desarrollo del orden de largo alcance. En los últimos años se descubrieron casi media docena de compuestos en base Yb cuyo $C_m|_{T \rightarrow 0}/T$ supera los $7J/molK^2$, valor que puede ser expli-



Figura 9: Algunos de mi actuales colaboradores: Federica Gastaldo (It), Ivan Curlic (Sl), Mauro Giovannini (It)

cado a partir de estos conceptos, y cuya discusión está en pleno desarrollo.

VHF ('Very heavy Fermions')

Los compuestos reconocidos como VHF son aquellos cuya densidad de estados a baja temperatura ($T \ll 1\text{K}$), medida como $C_m(T)/T$ supera los 5J/molK^2 (10.000 veces mayor que el de Cu metálico). Este valor se compara con el máximo observado entre los NFL que no superan los 3J/molK^2 (Sereni 2015b). Además de estos valores, se observa que en los VHF, la dependencia térmica sigue una ley de potencias ($C_m/T \sim 1/T^2$), mientras que en los NFL es logarítmica como ya fue mencionado. El origen de estas diferencias está en la naturaleza de ambos regímenes. Mientras los VHF son el resultado de un fuerte aumento en la concentración de excitaciones de baja energía derivado de la inhibición de acceder a un estado ordenado a causa de algún tipo de frustración magnética, los NFL están vinculados con el régimen de QC cuando $T_{\text{ord}} \rightarrow 0$. En otras palabras, en los VHF hay momentos magnéticos robustos cuyas interacciones no pueden ser satisfechas, en tanto que en los NFL los momentos debilitados por el efecto Kondo son gobernados por las QF.

En éste período fui invitado a escribir un capítulo en la Enciclopedia "Materials Science and Materials Engineering" (Sereni 2016a), donde pude volcar buena parte de la expe-

riencia acumulada en el estudio del calor específico de varias docenas de compuestos estudiados.

El mayor reconocimiento que recibí en mi carrera fue el "Homenaje a la Trayectoria" que me dedicaron en la Conferencia "Advanced Topics in Magnetism and Superconductivity 2014 - AToMS-2014" el 2 de Agosto en Bariloche, coincidente con mi 68º aniversario. No solo a los organizadores de la conferencia (G. Nieva, Y. Fasano y P. Pedrazzini) y a mi familia les debo este gran momento, sino también a todos los colegas-amigos que viajaron desde Europa, Estados Unidos y Sudáfrica para agasajarme junto a los que comparto mi actividad diaria. Sus nombres figuran repetidas veces en este racconto.

Una pregunta frecuente que recibo es sobre la razón por la que dediqué más de 4 décadas a 'trabajar en Cerio'. La respuesta es sencilla, por su peculiar estructura electrónica [$6s^2 5d^1 4f^1$], el Ce resultó ser la herramienta que me permitió explorar una gran cantidad de fenómenos relacionados con el magnetismo a bajas temperaturas, como los que fueron mencionados en este 'racconto'. En otras palabras, nuestra contribución en este campo de la física se realizó a través del uso de Cerio como 'sonda' experimental, refrendando lo publicado cuando daba mis primeros pasos en estas lides "... el Cerio es el miembro más fascinante de la Tabla Periódica" (Koskenmaki 1978).

■ EPILOGO

A punto casi de cumplir los 50 años de iniciarme como investigador en el LBT y con 45 como investigador de la CNEA, no puedo dejar de reconocer en esa Institución el soporte básico que me permitió una dedicación plena a lo que tanto me motivaba. No solo de un salario puntual se trata sino también de una infraestructura (el LBT) que con el correr de las décadas se transformó en una referencia regional por la tenacidad de sus fundadores. Pero sería injusto reducir el LBT a una simple 'infraestructura'. Despojado del término técnico (Laboratorio), Bajas Temperaturas identifica a un grupo de investigación con objetivos, principios y metodología compartidos, con aciertos y errores, pero con una clara vocación de hacer de la búsqueda del conocimiento un modo de vida.

Además de agradecer a los editores de estas 'Reseñas' por haberme motivado a repasar tantos gratos recuerdos, concluyo confirmando la validez del *post scriptum* en el epígrafe de mi tesis doctoral (que cumple 40 años mientras escribo estas líneas): "No se si lo entendí o si me acostumbré", pero seguro es "que mucho lo disfruté".

■ BIBLIOGRAFÍA

Alascio B., López A. and Olmedo C.F.E.(1974). *Theory of the Effect of Impurities on the α - γ Transi-*

Cuellos de botella entrópicos (CBE)

Los CBE (Sereni 2015b) ocurren en los VHF a causa de la condición impuesta por la 3ra. Ley de que $S_m \geq 0$. Esto implica que los grados de libertad disponibles (i.e. $S_m = R \ln 2$ para sistemas con estado fundamental doblete) no alcanzan a satisfacer el crecimiento divergente de $C_m/T \sim 1/T^2$. Por ello, la trayectoria de $S_m(T \rightarrow 0)$ es constreñida a cambiar para cumplir con $S_m \geq 0$ pues de lo contrario sería negativa. En los compuestos $\text{YbCu}_{5-x}\text{Au}_x$ e YbCu_4Ni el CEB ocurre en el rango de los miliKelvin mientras que en el $\text{Ce}_2\text{Pd}_{2-x}\text{Ag}_x\text{In}$ ocurre alrededor de 1K. Notablemente, no se producen CBE en los NFL que tienen una dependencia tipo $C_m/T \sim -\ln(T/T_0)$, aunque se puede deducir que en estos sistemas el CBE en realidad ocurre a $T=0$.

- tion in Cerium*, Phys. Rev. B **7**, 1274.
- Alascio B (2014) *Mi visión de la Física en Bariloche*, Ciencia e Investigación, Reseñas **2**, 6
- Dela Cruz F. (2013) *Visión personal de una historia compartida*, Ciencia e Investigación, Reseñas **1** (1), 41.
- Iandelli A., Botti E. (1937), Rend. Accad. Naz. Lincei **25**, 129.
- Kappler J.P., Baurepaire E., Krill G., Sereni J.G., Olcese G.L. (1991) *Anomalous behaviour of X-ray Absorption in the highly correlated CeN Compound*, J. de Physique I (Fr.), **1**, 1381.
- Koskenmaki D.C., Gschneidner K.A.Jr (1978) *Cerium*, en Handbook on Physics and Chemistry of RE", Eds: K.A. Gschneidner, L. Eyring, Vol. 1, ch. 4, North Holland Pub. Co.
- López Dávalos A. (2014) *Los primeros años de la Física de la Materia Condensada en Bariloche*, Ciencia e Investigación - Reseñas **2** (2), 12.
- Maple M.B. (1976) *Superconductivity*, Appl. Phys. **9**, 179-204.
- Olcese G.L. and E. Franceschi (1969) *New allotropic form of Cerium due to its transition under pressure to the Tetravalent State*; Phys. Rev. Letters **22**, 1299.
- Olcese G.L (1979) *Interconfiguration fluctuation of Cerium in CeN as a function of temperature and pressure*; J. Phys. F: Met. Phys. **9**, 569
- Rizzuto, C. (1974) *Formation of localized moments in metals*, Rep. Progr. Phys. **37**, 147.
- Sales B.C. (1974) *Valence Fluctuations in RareEarth Ions*, Tesis Doctoral, Universidad de California, San Diego, no publicada.
- Sales B.C. and Wohlleben D. K. (1975) *Susceptibility of Interconfiguration-Fluctuation Compounds*, Phys. Rev. Lett. **35**, 1240
- Sereni J.G., Huber J., Luengo C.A., Maple M.B. (1975) *Specific Heat of the Superconducting ThSc and ThY Alloys with Ce Impurities*, Solid State Comm. **17**, 1581.
- Sereni J.G., Nieva G, Kappler J.P., Besnus M., Meyer A. (1986) *Low Temperature Thermal Properties of the CePd₃B_x system*, J. Physics F (Metal Phys.) **16**, 435.
- Sereni J.G. (1991) *Low Temperature behaviour of Cerium Compounds: Specific Heat of Binary and Related Intermetallics*; en el " Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths", Eds: K.A. Gschneidner Jr., L. Eyring, 1991, Vol. 15, ch. 98, Elsevier Science Pub. y las referencias en él contenidas.
- Sereni J.G. (1995) *Characteristic concentrations in Ce ground state transformation induced by alloying*, Physica B **215**, 273.
- Sereni J.G., Geibel C., G-Berisso M., Hellmann P., Trovarelli O., Steglich F. (1997) *Scaling of thermal dependence of the Specific the logarithmic Heat in Ce systems* Physica B **230**, 580.
- Sereni J.G. (1998) *Inestabilidad de valencia, divergencias a T→0 y superconductividad en compuestos de Ce*, Anales de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales **50**,119.
- Sereni J.G. (2001) *Thermodynamical analysis of the magnetic phase diagrams of Ce systems*, J. Phys. Soc. Japan **70**, 2139 - 2150 y referencias en él contenidas.
- Sereni J.G. (2007) *Peculiar thermal features of Ce-systems around their critical points*, J. Low Temp. Phys. **147**, 179 - 197 y referencias en él contenidas.
- Sereni J.G., Gomez Berisso M., Braghta A., Schmerber G., Chevalier B, Kappler J.P. (2009) *Unstable Shastry-Sutherland phase in Ce₂Pd₂Sn*, Phys. Rev. B **80**, 0244283.
- Sereni J.G, Giovannini M, G-Berisso M., Saccone A (2011) *Electron concentration effects on the Shastry-Sutherland phase stability in Ce_{2-x}Pd_{2+y}In_{1-z}*; Phys.Rev.B **83**, 064419.
- Sereni J.G (2012) <http://fisica.cab.cnea.gov.ar/bt/index.php/Docencia_Sereni>
- Sereni J.G. (2013) *Thermodynamic analysis of the Quantum Critical behavior of Ce-lattice compounds*: Philosophical Magazine **93**, 409-433.
- Sereni J.G., G-Berisso M., Betancourth D., Correa V.F, C-Canales N., Geibel C. (2014) *Evidence for a dimensionality crossover at the disappearance of magnetism in the Kondo lattice alloy CeCo_{1-x}Fe_xSi*; Phys. Rev. B **89** , 035107.
- Sereni J.G., Pedrazzini P., Gómez-Berisso M., Chacoma A., Encina S., Gruner T., C-Canales N., Geibel C. (2015a) *Local character of the highest antiferromagnetic Ce-system CeTi_{1-x}Sc_xGe* ; Phys Rev. B **91**, 174408.
- Sereni J.G. (2015b) *Entropy Bottlenecks at T => 0 in Ce-lattice*

- and related compounds; J. Low Temp. Phys. **179** [1], 126-137.
- Sereni J.G. (2016a) *Magnetic Systems: Specific Heat*; in "Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. Ed. Saleem Hashmi, Oxford: Elsevier, pp. 1-13.
- Sereni J.G., Giovannini M., G. Berisso M., Gastaldo F (2016b) *Competition between Ferromagnetism and Frustrated Antiferromagnetism in quasi 2D $Ce_{2.15}(Pd_{1-x}Ag_x)_{1.95}In_{0.9}$* ; J. of Physics: Cond. Mat, aceptado 16/8/2016.
- Steglich F., Aarts J., Bredl C.D., Lieke W., Meschede D., Franz W., Schäfer H. (1979). *Superconductivity in the Presence of Strong Pauli Paramagnetism: $CeCu_2Si_2$* . Phys. Rev. Lett. **43**, 1892.
- Zeiringer I., Sereni J.G., G.-Berisso M., Yubuta K., Rogl P., Grytsiv A., Bauer E.(2014) *Crystal structure and Ce valence variation in the solid solution $CeRh_{3-x}Pd_xB_{0.5}$* ; Materials Research Express **1**, 016101.