

Los primeros trabajos de Mecánica Cuántica en Argentina

Cecilia von Reichenbach

Museo de Física, Departamento de Física
Facultad de Ciencias Exactas. UNLP.
CCT-La Plata, IFLP, CONICET.
cecilia@fisica.unlp.edu.ar

Resumen

En este trabajo se presentan las contribuciones a la Mecánica Cuántica realizadas desde el Instituto de Física de la Universidad Nacional de La Plata por Richard Gans, pionero de la ciencia Argentina. Aún en condiciones de aislamiento científico y geográfico, realizó aportes aún no merecidamente destacados, entre los años 1911 y 1918, trabajando con la máxima precisión en los cálculos y los experimentos. Su posterior abandono de estos temas lo llevó a omitirlos en su lista de publicaciones, pues se consideró siempre un físico clásico. Sin embargo, se trata de los primeros trabajos de Mecánica Cuántica realizados en Latinoamérica.

Introducción

La historia de la Mecánica Cuántica (MC) da cuenta de un largo período de gestación, durante el cual muchos investigadores contribuyeron con ideas y sugerencias, pero sobre todo con objeciones, que lejos de invalidarla fueron aportando innovaciones y desarrollos que finalmente convergieron en una nueva teoría. Esta original y revolucionaria manera de ver la física produjo vigorosas reacciones en la comunidad científica, y muchos físicos se lanzaron a discutir y buscar pruebas de que una idea tan poco cercana a la intuición fuera correcta. Entre los mismos impulsores de las primeras nociones de cuantización se encontraban sus más conspicuos detractores: el propio Planck hizo varias tentativas para disminuir la importancia de los “quantos”, todas ellas inútiles -y actualmente olvidadas-, como las de muchos de sus colegas. Con el paso del tiempo la MC dejó de ser una herramienta matemática útil para convertirse en una teoría con numerosas posibilidades prácticas, y muchos físicos se volcaron a ella. Otros, sin embargo, prefirieron seguir su trabajo en Física Clásica. Tal es el caso de Richard Gans, quien realizó algunas contribuciones a las discusiones preliminares de la nueva teoría, para abandonarla posteriormente.

¿Cuál fue el aporte de Richard Gans a la MC? Tal vez exiguo, pues su nombre rara vez aparece en la nómina de los creadores de esta teoría (Kittl, 2001), como el de muchos otros cuyos aportes no han sido registrados en la historia. Pero Gans tuvo el siguiente mérito: el de haber contribuido desde Sudamérica a una discusión científica que se daba principalmente en Alemania y Francia, en una época en la que la investigación en Física en América recién comenzaba.

En efecto, entre 1911 y 1918, este joven físico alemán que por entonces dirigía el Instituto de Física de la Universidad Nacional de La Plata, en Argentina, realizó los primeros aportes

latinoamericanos a la MC¹. Posteriormente a estas publicaciones Gans no volvió a realizar publicaciones en el tema². Ni siquiera los nombró en ocasión de publicar una revisión de sus trabajos científicos (Gaviola, 1950), al cumplir 70 años de edad.

En este trabajo rescato las siete contribuciones de Richard Gans relacionadas a la Mecánica Cuántica, destacando la validez de su aporte, que aún en condiciones de aislamiento y dificultades de comunicación con los centros de investigación, fue realizado con la máxima precisión en los cálculos y los experimentos. A continuación, luego de una breve presentación personal de Richard Gans, se comentan sus trabajos sobre Mecánica Cuántica.

Contexto histórico

Desde 1906 existe en Argentina la Universidad Nacional de La Plata, y en ella un Instituto para la investigación y la enseñanza superior en Física. En las primeras décadas del siglo XX este Instituto llegó a alcanzar un nivel de excelencia, con instalaciones comparables a la de los mejores centros de la Europa Occidental y el prestigio académico que le dieran sus primeros docentes investigadores: los alemanes Emil Bose, Jacob Laub, Paul Frank y Konrad Simons y la danesa Margrete Heiberg. En 1912 se eligió como Director al joven Richard Gans, cuya formación en Alemania y sus capacidades lo habían convertido en uno de los últimos “físicos universales”, por sus importantes contribuciones tanto en física teórica como experimental (Swinne, 1992). Gans, que resultó ser además un docente excepcional y un organizador muy eficiente, está considerado como uno de los cincuenta científicos emigrantes más importantes (Cardona y Marx, 2005). Publicó más de 200 trabajos sobre muy diversos temas, aparecidos mayormente en “Annalen der Physik”, “Physikalische Zeitschrift” y en “Contribución al estudio de las ciencias Físicas y Matemáticas”. Realizó aportes valiosos en dos grandes temas: el magnetismo y la estructura de las moléculas. En concordancia con las necesidades de su época, relativos al desarrollo de la electrotécnica, fue el primero en definir y medir en cada punto del plano B-H la permeabilidad reversible como constante característica de las sustancias ferromagnéticas. En colaboración con colegas y discípulos estudió el mecanismo de producción de calor durante el proceso de magnetización, la sistematización y “normalización” de las mediciones ópticas y magnéticas relacionadas con el efecto Zeeman, el diamagnetismo, y el comportamiento de monocristales ferromagnéticos. Encontró cómo obtener información acerca de la forma de las moléculas estudiando la despolarización de la luz difundida (efecto Tyndall), tanto en gases como en líquidos (Galles, 2001). Abordó además la teoría de las antenas, la ferroelectricidad, la inducción nuclear, el problema de las ecuaciones diferenciales no-lineales aplicadas al estudio de núcleos ferromagnéticos, las inestabilidades de las órbitas de las partículas en los aceleradores y circuitos eléctricos no lineales, entre otros temas. Sus trabajos son reconocidos y aún citados actualmente en diversas ramas de la Física, en particular en óptica aplicada³.

¹ Sobre los comienzos de la MC en LA se puede consultar en: M. P. Ramos Lara, “La mecánica cuántica en México”, Siglo XXI editores, México DF, 2003; R. Martínez-Chavanz, “La recepción de la física moderna en Colombia”, Actas del Simposio “Evolución de las ideas en Física en LA a través de las instituciones y sus protagonistas”, Buenos Aires, marzo 2004. Saber y Tiempo, revista de Historia de la Ciencia Vol. 5 N° 18.

² Dado que al archivo personal de Gans fue destruido en la II Guerra Mundial, cabe la posibilidad de que haya continuado su trabajo en MC pero sin publicarlo.

³ En un trabajo de P. Kittl y G. Díaz (2004), por ejemplo, se incluye una lista de 21 citas de trabajos de Gans en libros de autores como Pauli, Born, Langevin, Levi Civita, von Laue, entre otros.

En la recopilación de sus trabajos de investigación, su omisión a lo que él llamó las “contribuciones a la Teoría de los cuantos” parece indicar que él mismo no suponía significativo su aporte a la incipiente teoría. Gans se consideró siempre a sí mismo como un físico clásico y nunca quiso ser considerado un “Quantunmechanicker”⁴. Posteriormente a los trabajos reseñados en esta comunicación no volvió a investigar sobre el tema. En el Instituto de Física de La Plata, aunque la hipótesis de los “cuanta” fue desarrollada en un curso especial dictado en 1920, recién fue incluida en el curriculum como parte de una bolilla de la materia “Física especial” en 1924. En los hechos, fue alrededor del año 1940 que comenzó a enseñarse la MC con profundidad en los cursos del Doctorado en Física⁵.

Gans y la Mecánica Cuántica

La primera contribución de Gans al tema data de 1911, y se refiere a la cuantificación del momento magnético molecular (Bibiloni, 2002). Hacia 1907 P. E. Weiss intentaba determinar el origen del magnetismo en sólidos ferromagnéticos postulando la existencia de dominios magnéticos "cuantificados a la moda de Planck". Weiss postuló de manera ad-hoc la unidad de magnetismo, llamándola magnetón. Entre los asistentes a la conferencia que dio en Karlsruhe en 1911 se encontraba Gans, quien propuso determinar dicha unidad calculando el momento dipolar magnético generado por el movimiento de una carga elemental en un circuito de dimensiones "moleculares". La relación que encontró entre el momento dipolar magnético y el momento angular de tal configuración puede ser considerada como el primer intento de cuantificación del momento dipolar magnético a través de la cuantificación del momento angular⁶. Dado que tal desarrollo precedió en varios años al descubrimiento del spin, el resultado obtenido no es el correcto. No obstante, indica el valor del trabajo de Gans, que abrió el camino a las investigaciones de Gerlach y de Bohr⁷. Este aporte de Gans no pasó desapercibido, a pesar de tratarse de una contribución inspirada en una noción cuasi-clásica. Sus contribuciones al magnetismo fueron reconocidas por Einstein⁸ (quien además participó de un experimento, junto con de Haas, para determinar el valor del magnetismo “molecular” (Einstein y de Haas, 1915)).

Gans no volvió sobre el asunto hasta 1914, en que inició una serie de trabajos destinados a constatar experimentalmente las hipótesis de Planck. Es posible que despertara su interés en el tema la visita a La Plata de Walter Nernst, Director del Instituto de Físico-química de Berlín, entre marzo y mayo de 1914⁹. De hecho, en su curso avanzado de termodinámica, Nernst se ocupó especialmente de la teoría

⁴ Damián Canals Frau, comunicación personal 2005.

⁵ “Creo que Teófilo Isnardi había dedicado una clase o dos a este tema que, en la Argentina de los años 40, todavía era una novedad prácticamente ignorada”. Damián Canals-Frau, Revista de Enseñanza de la Física, Vol. 14 N° 1, p.67, 2001.

⁶ La contribución de Gans está citada en P. Weiss, *Physikalische Zeitschrift*, XII, 1911, p. 952.

⁷ “Podría considerarse una de las raíces de la teoría atómica de Bohr”, en Ulrico Hoyer: *Die Geschichte der Bohrschen Atomtheorie*, Weinheim/Bergstr. 1974, pp. 44,45.

⁸ “Gans was one of the most prominent and multiplytalented physicist. Under difficult circumstances and in completely unlearned surroundings he has worked theoretically and experimentally, mainly in the field of magnetism” citado en Lewis Pyenson, “Cultural Imperialism and Exact Sciences, German Expansion Overseas 1900-1930”, ed. Peter Lang, New York, 1985, p. 231.

⁹ Gans deseaba mostrar los logros en el Instituto, y solicitó al embajador alemán en Bs. As. que gestione la visita de un físico destacado para dar algún curso. Tanto Braun como Wien (ambos ya premios Nobel, el primero director de Gans) desistieron de la invitación, pero en cambio aceptó Walther Nernst. Fue

del calor específico y de los cuerpos sólidos, “cuestiones estrechamente vinculadas a la teoría de los “quanta””. Los textos de las conferencias, traducidos al castellano en agosto de 1914, fueron publicados en la revista de la Facultad “Contribución al estudio de las ciencias fisicomatemáticas” (Nernst, 1915). Fue importante para Gans volver a hablar de física con un colega (Pyenson, 1985:183), sobre todo cuando se trataba de temas en pleno desarrollo, como la mecánica cuántica. Según palabras de Gans, “aún cuando esta hipótesis está en absoluta contradicción con la mecánica clásica, han extrañado a los físicos los éxitos derivados de las consecuencias de la misma”. Entre ellos el calor específico de los cristales en función de la temperatura, de acuerdo a la fórmula deducida por Einstein, “cuya validez fuera comprobada por las exactas medidas de Nernst y sus colaboradores”. “A pesar de los éxitos de la teoría, quedan dudas de carácter teórico sobre su exactitud”, y aún el mismo Planck se rehúsa a aceptar la cuantificación de la absorción y la emisión de energía: propone entonces que la absorción se produce continuamente, mientras que la emisión está cuantizada. Gans intentó entonces determinar si un oscilador, excitado por una fuerza exterior, vibra aun en el caso en que la energía del mismo sea menor que un “quantum (elemento de energía)” (Gans y Pereyra Míguez, 1914).

En colaboración con Adrián Pereyra Míguez construyeron un dispositivo para estudiar experimentalmente la propagación de luz de muy baja intensidad en una lente, analizando la refrangibilidad de la misma para luz extremadamente débil. Las dificultades propias del rango de energías que debían discriminar los obligaron a realizar un trabajo de una extrema minuciosidad experimental. A estas dificultades se sumaron las producidas por la falta de insumos debidas a la guerra. El dispositivo experimental contenía lámparas y filtros, espectrógrafos de las marcas Zeiss, Schmidt y Haensk y un espectroscopio Adam Hilger adaptado con una cámara construida en el Instituto. A partir de los resultados se determinó que las lentes tienen la misma refractabilidad para luz intensa como para luz sumamente débil. Para abordar el problema teóricamente consideraron un sistema de osciladores de un grado de libertad, calcularon la energía del sistema, y la compararon con la obtenida para el sistema cuántico, llegando a la conclusión “la hipótesis de los quanta es aplicable únicamente a sistemas ordenados (es decir, a las vibraciones térmicas del cristal)”. Concluyeron erróneamente que un oscilador puede absorber cantidades mucho menores que un quantum, pues suponían que todos los osciladores absorben simultáneamente la misma cantidad de energía, cosa que hoy sabemos incorrecta. Este trabajo, citado por Niels Bohr en 1924 (Bohr, 1924), figura en las retrospectivas históricas como la única contribución latinoamericana al desarrollo de la Mecánica Cuántica (Kittl, 2001).

En una breve publicación de mayo de 1916, Gans volvió a ocuparse de los momentos de inercia de los magnetones. En este caso se basó en su trabajo previo sobre “Teoría estadística del magnetismo” (Gans, 1916), en el que muestra que la relación entre la susceptibilidad específica de un material diamagnético es proporcional al momento de inercia del magnetón. A partir de los datos experimentales de la susceptibilidad específica medidos por K. Honda, y el peso atómico de las sustancias, Gans determina un valor medio para los momentos de inercia del magnetón, hallando que casi todos los valores son del mismo orden de magnitud.

Mientras tanto, Nernst, Einstein, Debye y otros desarrollaron la teoría de los quanta para un oscilador de tres grados de libertad, calculando su energía con la suposición de que éste era equivalente a

justamente Nernst quien había sugerido a Emil Bose la conveniencia de venir a establecer la física “a la alemana” en Argentina. Nernst –“el padre espiritual de las ciencias exactas en La Plata” (Pyenson, p. 182) dictó un curso avanzado de termodinámica, a un público más formado por profesores y compatriotas alemanes que estudiantes argentinos. Pero el supuesto objetivo final de Nernst, quien estuvo en La Plata de marzo a mayo de 1914, fue establecer una relación científica germano-argentina de intercambio, para contrarrestar las ofensivas francesa y norteamericana de ganar el mercado cultural sudamericano.

tres osciladores lineales. Poco más tarde, Planck mostró que era incorrecto sumar las energías correspondientes a cada grado de libertad. Gans se planteó entonces calcular la función característica y la energía libre de un oscilador de tres grados de libertad (Gans, 1914a), y comparar los resultados con los obtenidos suponiendo que este oscilador es equivalente a tres osciladores lineales. Encontró que ambos resultados no coinciden.

En una nueva aplicación del reciente trabajo de Planck para moléculas de más de un grado de libertad, Gans calculó algunas magnitudes como la energía libre, la energía interna y la ecuación de los gases para gases monoatómicos y biatómicos en función de la temperatura y la densidad (Gans, 1914b). Considerando un gas ideal, mostró que la teoría de Planck es equivalente a la termodinámica clásica a temperaturas altas y volúmenes grandes, mientras que a temperaturas bajas y densidades grandes se manifiestan considerables diferencias. Encontró una expresión para la presión finita del gas en el cero absoluto, resultado que había mencionado Nernst en una de sus conferencias en La Plata. Nernst había llegado a esa conclusión por razonamientos termodinámicos, “sin poder indicar una fórmula para dicha presión”. Se trata de un resultado correcto, que antecede en un par de años a los obtenidos a través de distribuciones como la de Fermi-Dirac o la de Bose-Einstein. Agregó que, sin embargo, esta teoría no explica el comportamiento del helio en función de la temperatura y la presión, ni las variaciones del calor específico del hidrógeno para algunas temperaturas.

Basándose en los nuevos resultados deducidos por Planck en 1916 sobre la estructura del espacio de fases (Planck, 1916), Gans corrigió los resultados que él mismo había obtenido anteriormente, y dedujo en forma teórica el teorema que afirma que un resonador con dos grados de libertad y frecuencia ν es energéticamente equivalente a dos resonadores lineales, cuyas frecuencias son ν y 2ν respectivamente (Gans, 1917a), fórmula comprobada empíricamente por Nernst y Lindemann (1916). Verificó también que un oscilador de tres grados de libertad y frecuencia ν es equivalente a tres osciladores, de los cuales uno tiene frecuencia 2ν , mientras que los otros dos tienen la frecuencia $2\nu/3$.

Dijo Gans:

La teoría de los “quanta” está en plena evolución. Las verdades de ayer ya no son las de hoy y las hipótesis de hoy serán tal vez refutadas mañana.

Sin embargo todos estos indecisos estudios, comparables en su incertidumbre con los ensayos sobre la teoría electromagnética en el tiempo pre-maxwell-hertziano, no son inútiles, pues cada resultado, aunque negativo, es un paso hacia delante, y la colaboración de la teoría y de los experimentos exige una carretera ancha de la cual se ramifican muchos senderos y empalmes, que conducirán en su total al mismo lugar, a la mecánica del microcosmo de los “quanta”, tan distinta de la mecánica clásica del macrocosmos¹⁰.

En el último trabajo sobre el tema amplió la teoría del paramagnetismo por él desarrollada a la región de bajas temperaturas, en las que es necesario introducir hipótesis cuánticas (Gans, 1917b). El objetivo fue obtener una prueba que permita discernir cuál de las dos hipótesis planteadas por Planck es correcta: si un oscilador puede absorber y emitir energía sólo en forma de cuantos, o sólo la emisión está cuantizada, mientras que puede absorber energía continuamente. Aunque ambas hipótesis son tan distintas, muchas de sus consecuencias son prácticamente idénticas, por lo que no es fácil encontrar experimentos decisivos. Gans calculó la susceptibilidad magnética de una sustancia paramagnética a bajas temperaturas, en la que los imanes elementales efectúan vibraciones alrededor de la posición de equilibrio, caracterizada por la coincidencia con el campo molecular, por lo que puede ser considerado

¹⁰ En Gans 1917a, p. 89. En la versión en alemán, publicada en Annalen der Physik, este párrafo fue omitido.

como un oscilador con dos grados de libertad. Calculó la expresión de la susceptibilidad magnética específica según ambas hipótesis. Para el primer caso aplicó los resultados de un trabajo anterior sobre osciladores en dos dimensiones, con lo que consiguió una expresión que depende de tres constantes. De acuerdo a la segunda hipótesis, calculó la misma función considerando que la energía puede ser absorbida en forma continua, y obtuvo una expresión análoga, con otras constantes. De comparar los resultados de las constantes con los valores medidos a temperaturas más altas concluyó que éstos sólo coinciden en el primer caso. Con lo cual obtuvo una prueba experimental de que, de acuerdo a la primera teoría de Planck, un oscilador sólo puede absorber un número entero de cuantos de energía, es decir que ambas, emisión y absorción, están cuantizadas. Agregó Gans una observación: el campo molecular que ha introducido sirve para explicar fenómenos del magnetismo por acción mutua entre los imanes moleculares, y no, como otros autores han expresado, por la falta de validez de la mecánica estadística en su forma clásica. Con lo cual pudo usar la teoría de equipartición en todos los casos en que era posible, rehusando usar las hipótesis de la Mecánica Cuántica mientras pudiera, aplicando aquellas solamente “si no había otro remedio, ante todo porque ella todavía no está perfectamente desarrollada, mientras que aquella reposa sobre los sólidos fundamentos creados por Boltzmann y Gibbs” (Gans, 1917b: 203).

Posteriormente Gans volvió a sus temas habituales, el magnetismo en medios materiales y la estructura molecular. Las causas de este alejamiento no están explicitadas, pero es sabido que el gusto personal de Gans se orientaba hacia temas de física clásica¹¹, en los que siguió trabajando desde La Plata, pese a las dificultades, hasta el año 1925, en que regresó a Alemania. Entre las causas de muy diversa índole que motivaron su retorno (Gaviola, 1954), ha tenido gran influencia el aislamiento científico producido por la guerra, que además de disminuir el número de publicaciones científicas (Cardona y Marx, 2005), hizo que la correspondencia enviada desde Argentina tuviera retrasos de tal magnitud que las contribuciones de Gans resultaban extemporáneas a las discusiones que se llevaban a cabo en Europa. Para ejemplificar esto basta notar que la versión en alemán del último trabajo aquí citado fue terminada el 15 de enero de 1917, recibida por la revista *Annalen der Physik* el 23 de agosto de 1919, y publicada en 1920.

En el mismo volumen de 1920 del *Annalen der Physik* aparecen publicados otros cuatro artículos de Gans (Gans, 1920a, b, c, d), fechados en noviembre de 1915, enero, marzo y noviembre de 1917. Evidentemente, los problemas que causaba la distancia se agravaron durante la guerra, y la participación activa en temas de actualidad fue sumamente dificultosa desde Argentina. Según documentó Edgar Swinne, a falta de contacto directo con otros científicos¹² Gans debía contar con la colaboración de amigos confiables en Alemania para discutir sus trabajos antes de enviarlos a los editores (Swinne, 1992: 27). En el archivo Gerlach, del *Deutsches Museum* de Munich, existen cartas donde Gans detalla cómo se valía de la ayuda de sus amigos para que revisen, corrijan y envíen sus trabajos a los editores, “puesto que de otro modo yo difícilmente hubiese estado en condiciones de publicar algo en revistas alemanas, y aquí nada llega al público”¹³. Mientras los trabajos de Gans tardaban entre dos y tres años en llegar al editor, los de sus colegas alemanes demoraban menos de una semana.

Conclusiones

¹¹ Damián Canals Frau, comunicación personal 2005.

¹² Los próximos profesores visitantes después de Nernst fueron Albert Einstein, en 1925, y Paul Langevin, en 1927, cuando Gans ya no se encontraba en La Plata.

¹³ Carta de Gans a Gerlach, 18/12/1921.

La significación de los aportes de Richard Gans al desarrollo de la Mecánica Cuántica no está suficientemente documentada, pero se trata en todo caso de investigaciones pioneras en el ámbito internacional, y sin duda las primeras en LA. En sus trabajos se manifiesta una actitud crítica respecto de las hipótesis cuánticas, lo que constituyó un aporte valioso a la construcción de la teoría, por cuanto proveyó pruebas teóricas y experimentales que contribuyeron a precisar los límites de validez y aplicabilidad de las nuevas ideas. Aunque escéptica, se trató de una contribución activa a la física de punta en el momento, y más aún viniendo de un ambiente con tan poca tradición en física como el sudamericano. El escaso éxito de los esfuerzos de Gans en su contribución a la MC, pese a su capacidad como científico y su reconocimiento por parte de los físicos contemporáneos, puede considerarse una prueba de las dificultades de contribuir al desarrollo de la física desde la periferia, considerando como tal un ámbito alejado geográficamente, cultural y materialmente de los centros de producción del conocimiento.

En cuanto al impacto en la comunidad científica local, puede decirse que fue escaso pero significativo: por un lado porque Gans abandonó la MC para dedicarse a los temas de su especialidad, y no dio suficiente difusión a estas contribuciones. Por otro lado, la incursión de Gans en el tema sirvió para mantener actualizada la enseñanza de la física en La Plata, pues en 1920 dictó “a un grupo de colegas un curso muy interesante, y que versó también en buena parte sobre mecánica estadística, teoría de los cuanta y de los fundamentos de la teoría de Bohr” (Loyarte, 1924: 78). De todos modos, la discontinuidad en la investigación en Mecánica Cuántica no fue una excepción en La Plata, pues a partir de 1925, en que Gans abandonó el Instituto de Física, comenzó una declinación que redujo casi totalmente la investigación en todos los temas, excepto tal vez en espectroscopía (Civitarese, 2001), y hubo que esperar varias décadas hasta que fuera revitalizada.

Bibliografía

Bibiloni, Aníbal, Civitarese, Osvaldo y von Reichenbach, Cecilia, 2002: Richard Gans y la cuantificación del momento dipolar magnético. *Anales de la Asociación Física Argentina* Vol. 14, pp. 11-14, Huerta Grande, Córdoba, Argentina.

Bohr, Niels, 1924: On the application of the quantum theory to atomic structure. Part I, The fundamental postulates”. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society (Supplement)*, p. 457.

Cardona, Manuel y Marx, Werner, 2005: The disaster of the Nazi-power in science as reflected by some leading journals and scientists in Physics, Scientometrics, *Publisher: Akadémiai Kiadó, co-published with Springer Science+Business Media B.V., Formerly Kluwer Academic Publishers B.V.* Volume 64, Number 3, pp. 313 – 324.

Civitarese, Osvaldo, 2001: Sobre la investigación en física en los primeros años del Instituto de Física de la Universidad Nacional de La Plata”, *Encontro de história da ciência: análises comparativas das relações científicas no Século XX entre os países do Mercosul no campo da física/* Antonio Augusto Passos Videira e Anibal G. Bibiloni (organizadores) – Rio de Janeiro, CBPF. Sección Ciencia, Sociedade e História.

Einsten, Albert y de Haas, W. J., 1915: Experimenteller Nachweis der AMperèschen Molekularströme, in *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* N°8, pp. 152-170. No citan a Gans.

- Galles, Carlos, 2001: Semblanza de Ricardo Gans”, *Encontro de História da Ciência*, Comp. A. A. P. Videira- A. G. Bibiloni, CT, Rio de Janeiro, CBPF.
- Gans, Richard, 1914a: Osciladores de tres grados de libertad - contribución a la teoría de los “quanta”, primera parte, *Contribución al estudio de las ciencias fisicomatemáticas*, Universidad Nacional de La Plata I, 1914, 385.
- Gans, Richard, 1914b: Los gases ideales - contribución a la teoría de los “quanta”, segunda parte, *Contribución al estudio de las ciencias fisicomatemáticas*, Universidad Nacional de La Plata I, 432.
- Gans, Richard, 1917a: Nuevo estudio de osciladores de dos y tres grados de libertad. Contribución a la teoría de los “quanta”, tercera parte. *Contribución al estudio de las ciencias fisicomatemáticas*, Universidad Nacional de La Plata II, p. 89; 1920: Oszillatoren von zwei und drei freiheitsgraden. Ein Beitrag zur Quantentheorie, *Annalen der Physik*, 61, 400.
- Gans, Richard, 1917b: Teoría de los quanta y magnetismo. *Contribución al estudio de las ciencias fisicomatemáticas*, Universidad Nacional de La Plata II, p. 193.
- Gans, Richard, 1920a: Die reversible Permeabilität auf der idealen Magnetisierungskurve, *Annalen der Physik*, 61, 379.
- Gans, Richard, 1920b: Die Trägheitsmoment der Magnetonen, *Annalen der Physik*, 61, 396.
- Gans, Richard, 1920c: Bemerkungen zur Fortpflanzung des Lichtes durch ein inhomogenes Medium, *Annalen der Physik*, 61, 398.
- Gans, Richard, 1920d: Das Verhalten Hertz’schen Gitter, *Annalen der Physik*, 61, 447.
- Gans, Richard, 1916: Refrangibilidad de luz de poca intensidad – contribución a la teoría de los “quanta”, *Contribución al estudio de las ciencias fisicomatemáticas*, Universidad Nacional de La Plata, I, p. 275-300.
- Gans y Pereyra Míguez, 1914: Refrangibilidad de luz de poca intensidad. Contribución a la teoría de los “quanta”. *Contribución al estudio de las ciencias fisicomatemáticas*, Universidad Nacional de La Plata, I, 355.
- Gaviola, Enrique, 1950: Introducción, *Revista de la Unión Matemática Argentina*, Vol. XIV, N° 3, pp. 101-108.
- Gaviola, Enrque, 1954: Richard Gans, 1880 – 1954, Necrología, *Ciencia e Investigación*, tomo 10, N°8, pp. 382-383.
- Kittl, Pablo, 2001: *Cien años de mecánica cuántica* [en línea]
http://cabierta.uchile.cl/revista/13/articulos/13_2/index.html [Consulta 28 de septiembre de 2009].

Kittl, Pablo y Díaz, Gerardo, 2004: *La universidad, lugar ineludible de creación, y por lo tanto de investigación y crítica*, [en línea] <http://cabierta.uchile.cl/revista/25/articulos/pdf/edu7.pdf> [Consulta 28 de septiembre de 2009].

Loyarte, Ramón, 1924: La evolución de la Física, en *Evolución de las Ciencias en la República Argentina*, Edit. Coni, Buenos Aires, p. 78.

Nernst, Walther, 1915: Evolución de la termodinámica, especialmente en su aplicación a los cuerpos sólidos y a las transformaciones químicas, *Contribución al estudio de las ciencias fisicomatemáticas*, Universidad Nacional de La Plata, 1, p.148.

Nernst, Walther und Lindemann, F.A., 1911: *Zeitschrift für Elektrochemie* 17, p. 817.

Planck, Max, 1916: *Annalen der Physik* (4), 50, p. 385.

Pyenson, Lewis, 1985: *Cultural Imperialism and Exact Sciences, German Expansion Overseas 1900-1930*, New York, ed. Peter Lang, p. 183.

Swinne, Edgar, 1992: *Richard Gans, Hochschullehrer in Deutschland und Argentinien*, ERS- Verlag – Berlin.

Weiss, Paul, 1911: *Physikalische Zeitschrift*, XII, p. 952.