

De la Espectroscopía Óptica a la Nuclear. Dos Mujeres de la Física Preocupadas por La Salud

A.G. BIBILONI

*Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata,
Calles 49 y 115, 1900 La Plata, Argentina * y TENAES, CONICET*

RESUMEN. Desde la Física se han hecho numerosas contribuciones a la prevención de las enfermedades y a la salud humanas. Con técnicas de avanzada científicos europeos y estadounidenses nos sorprenden día a día con los resultados de sus investigaciones. Mucho menos conocidas son las incursiones de los físicos argentinos en este campo. El propósito de estas líneas es rescatar dos de estos estudios, realizados en La Plata, comentando el destino que siguió la difusión de los mismos. Se procurará mostrar que los problemas encarados en esas investigaciones poseen plena vigencia y finalmente se evaluarán las posibilidades de que sus investigaciones tengan continuación en el futuro mediato.

SUMMARY. "From Optical to Nuclear Spectroscopy. Two physicist women worried about Health". Physics has made many contributions to health care and illness prevention. With the help of advanced technology european and american investigators surprise us every day with the results of their research. Contributions made by argentinian physicists to this field of knowledge are, however, much less known. The aim of the present article is to rescue two of them, made in La Plata University. In the opinion of the author, problems solved by both investigations are still present and the continuity of this sort of work should be encouraged.

Margrete Heiberg-Bose. La espectroscopía óptica al servicio del control de calidad

A fines del siglo pasado los físicos encontraron que haciendo pasar una descarga eléctrica a través de una ampolla de vidrio en la que se encontraba gas a baja presión, éste emitía luz. Si se analizaban los componentes de esa luz con un prisma transparente o una red de difracción se encontraban patrones luminosos, llamados espectros, característicos de la substancia gaseosa estudiada. Registrando sobre placas fotográficas las imágenes de una rendija situada entre la fuente luminosa y la red de difracción se encontraron series de líneas de diferentes colores. En el marco de la teoría ondulatoria de la luz, cada uno de estos colores está asociado a una longitud de onda o a una frecuencia de vibración (a mayor longitud de onda, menor frecuencia). La

aparición de modelos atómicos como el de Bohr a principios de este siglo ⁽¹⁾ dio gran estímulo a estas investigaciones, ya que desde entonces fue posible correlacionar dichas líneas luminosas o sus frecuencias correspondientes con niveles electrónicos atómicos o moleculares. En el caso de los líquidos incandescentes se observa un espectro continuo en lugar de un espectro de líneas, esto es, una banda continua coloreada con intensidad luminosa variable a lo largo del rango de frecuencias que cubre o abarca la banda. Este espectro también es característico de la sustancia que lo produce. La técnica que permite obtener estos espectros se conoce hoy como Espectroscopía Óptica y junto a otras técnicas de desarrollo más reciente como las Espectroscopías Raman y Ultravioleta, sigue siendo una herramienta fundamental para el es-

(1) Nos referimos al modelo atómico presentado en 1913 por el físico danés Niels Bohr. En dicho trabajo se introducen por primera vez las ideas cuánticas en la física atómica. Bohr recibió el Premio Nobel en 1922, principalmente por esta contribución.

PALABRAS CLAVE: Física, Salud, Espectroscopía

KEY WORDS: Physics, Health, Spectroscopy

* Correspondencia. E-mail: bibiloni@venus.fisica.unlp.edu.ar

tudio e identificación de los compuestos químicos y de las sustancias que los contienen.

Casi simultáneamente con el impulso recibido por la espectroscopía óptica, arribaron a nuestro país para desempeñarse como Profesores de Física y Química en la joven Universidad nacional de La Plata ⁽²⁾ contratados por el Dr. Joaquín V. González los Dres. Emilio y Margarita Bose. Emil (Emilio) Hermann Bose acumulaba junto a una extensa lista de contribuciones al conocimiento científico el mérito de haber sido el primer tesista de Walter Nernst, haber dirigido el Instituto de Tecnología de Dantzig y ser el editor del *Physikalisches Zeitschrift*, revista de gran prestigio. Se puede afirmar que con Bose comienza la investigación científica en temas de Física en la Argentina. Bose falleció tempranamente, pero su esposa Margrete (Margarita) Heiberg-Bose permaneció en La Plata, donde se desempeñó como Profesora en la Escuela Superior de Ciencias Físicas ⁽³⁾ y como Directora del Laboratorio de Fisiología de la Sección Pedagógica ⁽⁴⁾.

Margrete Heiberg-Bose, de origen danés, se convirtió en 1901 en la primera mujer en obtener el título de Doctora en Química en Dinamarca. Como investigadora se dedicó a la espectroscopía óptica, incursionando en diferentes temas. Uno de sus trabajos, realizado en 1928 junto al Dr. Loyarte, es particularmente interesante y está vinculado a la detección de adulteraciones tanto en la elaboración como en la preparación de la yerba mate.

El objetivo de sus investigaciones fue establecer patrones que permitieran revelar en forma indubitable la presencia de caona, canelón y yerba de anta junto a la yerba mate. El patrón buscado serviría también para determinar si la yerba pura había sido mal preparada ¹. Para ello eligieron una yerba mate que por su pureza y preparación pudiese ser considerada como estándar ⁽⁵⁾. Fabricaron soluciones de ésta y de los posibles adulterantes en agua, alcohol etílico, alcohol metílico, alcohol amílico, eter sulfúrico, acetona, cloroformo, tetracloruro de carbono, benzol, monoclorobenzol, éter de petróleo y xilol. Estudiaron yerbas preparadas para el consu-

mo en diversos lugares del país, de diferentes cosechas, hojas secadas a 100 °C, maduras y verdes y bajo diferentes condiciones y tratamientos de laboratorio. Todas estas soluciones fueron estudiadas cuidadosamente. En la región visible del espectro se utilizó un espectroscopio de Bunsen y un espectrofotómetro de König-Martens. La región entre el ultravioleta y el rojo (longitudes de onda entre 200 y 700 nm) fue estudiada con un espectrógrafo de Hilger ⁽⁶⁾. En muchos casos se analizó también el espectro de absorción, encontrando que las soluciones acuosas y alcohólicas presentaban diferencias cualitativas.

Las figuras, tomadas del trabajo citado ¹, muestran la curva de intensidad luminosa relativa en función de la longitud de onda para una solución de yerba pura en alcohol frío y su comparación con la correspondiente de caona. La Figura 2 compara mediante un gráfico similar las curvas de soluciones acuosas de yerba pura en comparación con las curvas de las tres yer-

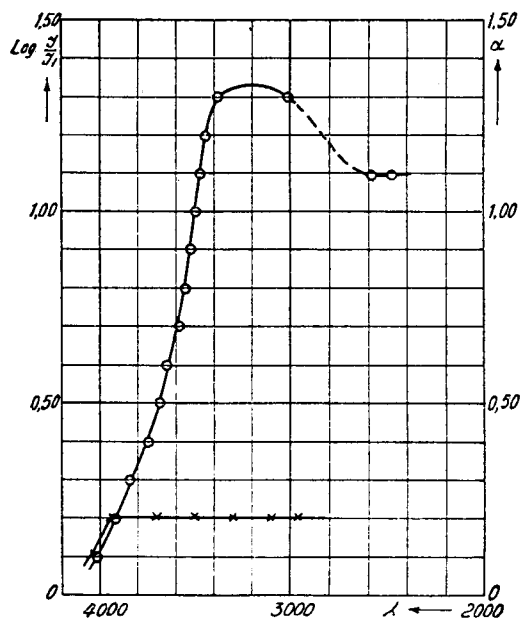


Figura 1. Intensidad luminosa relativa en función de la longitud de onda para una solución de yerba pura en alcohol frío (círculos abiertos) y una de caona con la misma concentración (cruces).

(2) En los documentos de la época se escribe "nacional" con minúscula.

(3) Esta Escuela perteneciente a la Facultad de Ciencias Físicas, Matemáticas y Astronómicas constituye actualmente el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata.

(4) La Sección Pedagógica se convirtió luego en Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación de la Universidad Nacional de La Plata.

(5) Eligieron yerba mate preparada por la Estación experimental de Loreto (Dirección de enseñanza agrícola, Ministerio de Agricultura). Esta Estación proveyó también el canelón, la caona y la yerba de anta utilizadas en el estudio espectroscópico.

(6) Este espectrógrafo Adam Hilger Ltd., (Londres, Inglaterra) se encuentra aún en el Departamento de Física.

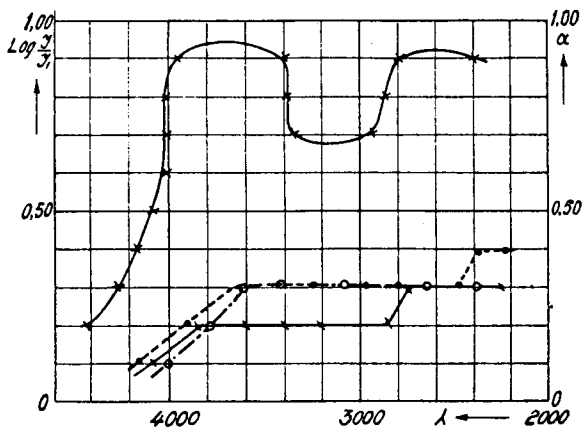


Figura 2. Intensidad luminosa relativa en función de la longitud de onda para una solución de yerba pura (trazo entre cruces) y para las tres yerbas utilizadas como falsificantes: anta, canelón y caona.

bas utilizadas como falsificantes: anta, canelón y caona (7). Quedó así demostrado que es posible distinguir la presencia de adulterantes mezclados con yerba pura utilizando la técnica de la espectroscopía óptica.

Patricia Massolo. Aporte de la espectroscopía nuclear al cuidado de la salud.

El segundo trabajo al que se hizo referencia tiene que ver con las contaminaciones radioactivas y la radioactividad natural. El avance de la ciencia y el desarrollo de la Física Nuclear permitió a mediados de nuestro siglo disponer de otra técnica para caracterizar a las sustancias. Así como los átomos de todos los elementos, cuando son excitados, emiten radiación electromagnética (luz) con energías o longitudes de onda que les son características y que permiten individualizarlos, los núcleos atómicos de estos mismos elementos, cuando son convenientemente excitados, emiten otro tipo de radiación electromagnética (rayos gamma) con energías e intensidades relativas que también les son propias y únicas. Esto permitió el desarrollo de otra espectroscopía, la espectroscopía nuclear, que analizando en energía e intensidad la radiación gamma emitida por los núcleos radioactivos, nos permite establecer la naturaleza del núcleo bajo estudio (8).

Junto a esta característica, ciertamente positiva, la radiación gamma tiene también propiedades no tan deseables. Es sabido que cuando esta radiación incide sobre un tejido vivo produce

daños de diferente magnitud, debido a que produce ionizaciones en sus moléculas a través de los efectos fotoeléctrico y Compton. Las diferentes organizaciones internacionales han establecido límites máximos para la radiación, y en consecuencia para las ionizaciones de origen radioactivo que un ser humano puede recibir al cabo del día. Esto es debidamente controlado en cada país por el ente regulador correspondiente.

Pero además de la irradiación debida a los isótopos radioactivos producidos por el hombre existe un fondo natural de radiación al que estamos sometidos por el solo hecho de vivir en la Tierra y que debe sumarse a las irradiaciones artificiales. Este fondo se debe tanto a los isótopos radioactivos que se producen constantemente en la atmósfera por acción de los rayos cósmicos como por la existencia de isótopos radioactivos de diferentes elementos. Podemos mencionar a este respecto a los componentes de las cuatro series radioactivas naturales, al isótopo del potasio de número másico 40 y al del carbono con número másico 14. En lo que sigue utilizaremos la notación ^AZ donde ^A es el número másico y Z denota el elemento; así, para referirse a los isótopos mencionados se utiliza la notación ⁴⁰K y ¹⁴C.

El 50% del fondo natural se debe al gas radón, producto de las series radioactivas naturales ya mencionadas, que está presente en rocas y tierras y que se filtra en nuestras viviendas a través del suelo o disuelto en el agua. Los edificios tienen en su constitución otros isótopos radioactivos que contribuyen con un 14% al fondo natural. Pero resulta de interés aquí analizar el 11,5% del fondo natural que es el proveniente de los alimentos y las bebidas. Ya dijimos que el agua contiene radón y puede tener, además, minerales radioactivos. En este sentido se destacan las aguas de la isla de Mallorca, aguas mineralizadas que tienen un alto contenido radioactivo.

La necesidad de controlar la radioactividad de los alimentos está vinculada al hecho de que cuando los organismos vivos incorporan un elemento, no distinguen un isótopo de otro. Por lo tanto si un vegetal contiene naturalmente potasio, tendrá potasio radioactivo y no radioactivo en proporciones que dependerán de la abundancia relativa de estos isótopos en la zona

(7) *Ilex cuyabensis* Reisseck ("yerba de Anta"), *Rapanea laetevirens* Mez ("canelón"), *Ilex affinis* Gardner, *I. amara* (Vell. Conc.) Loes., *I. glazoviana* Loes. ("caona").

(8) Esta radioactividad puede haber sido generada por activación de la sustancia o encontrarse presente en ella de forma natural.

donde él se nutre. Si se trata de carnes o leche, su contenido de potasio radioactivo dependerá de la concentración de este isótopo en los pastos de que se alimenta el animal que las produce. Este contenido, pues, tiene variaciones que dependen de la procedencia de estos alimentos y bebidas. Por eso los códigos alimentarios tienen establecidos límites para la radioactividad que puede estar presente en cada alimento, normas que se aplican a la importación de alimentos.

Para terminar este punto debe agregarse que si bien existe y debe respetarse la cota máxima de radiación recibida (dosis radioactiva) que establece la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), esto no basta como medida de protección. En efecto, dado que se desconocen aún todas las consecuencias de la radiación sobre el ser humano y su descendencia, la regla que debe observarse es la de no irradiarse, a menos que exista una razón que lo justifique plenamente: tal el caso de las intervenciones decididas por los profesionales de la salud (radiografías, radioterapias, etc.).

Siendo entonces tan importante para la salud del ser humano asegurar que no esté expuesto innecesariamente a la radioactividad, se han desarrollado técnicas que permiten determinar la presencia de fluctuaciones en la radioactividad natural o pequeñas contaminaciones de los alimentos y bebidas con material radioactivo. Una de ellas es la espectroscopía nuclear de alta resolución para bajas cantidades de radioactividad. Esta técnica utiliza detectores semiconductores hiperpuros, aprovechando su alta resolución en energías para identificar los isótopos radioactivos presentes.

Casi sesenta años después del trabajo de Margarita Bose al que se ha hecho referencia en la primera parte de esta nota, una noticia conmovió a la humanidad: la tragedia de Chernobyl, ocurrida el 26 de abril de 1986 pero negada durante semanas. La explosión de esta central nuclear costó la vida de alrededor de 15.000 personas por el síndrome radioactivo a lo largo de los cinco años posteriores a la explosión⁽⁹⁾. Algunas de estas personas recibieron altas dosis radioactivas en forma directa; otros fueron afectados por efectos retardados y residuales.

La explosión llevó diminutas partículas radioactivas a la atmósfera que los vientos dispersaron, por lo que gran parte de Europa soportó durante meses lluvias radioactivas. Los diferentes gobiernos tomaron medidas de precaución, en particular respecto de la ingestión de alimentos contaminados con los productos de la explosión. Dos de estos productos son los isótopos del cesio ¹³⁷Cs y ¹³⁴Cs. El cesio es un componente natural y característico de las tierras, está presente en las pasturas, es ingerido por el ganado vacuno y se convierte, finalmente, en constituyente de la leche. Dado que el metabolismo de los vegetales no puede distinguir entre los isótopos del cesio que incorporan del suelo, cuando isótopos radioactivos de este elemento se depositaron sobre las tierras y pasturas como consecuencia de la lluvia radioactiva fueron ingeridos por el ganado y pasaron a la leche. Esta leche poseía una radioactividad mayor que la tolerada por los códigos alimentarios y cuando esto se detectó, la Comunidad Europea prohibió la comercialización de tal leche en territorio europeo. Sin embargo fue vendida a los países periféricos como la Argentina (al menos eso se sospechaba en aquellos días).

En marzo de 1992 la organización no gubernamental Fundación Green Peace (América Latina) contactó a la Dra. Patricia Massolo, Profesora del Departamento de Física, y le hizo llegar muestras de leche en polvo que se estaban comercializando en la Argentina y que se sospechaba que podrían estar contaminadas con desechos de la explosión de Chernobyl. La elección no fue casual, sino que estuvo vinculada a un estudio previo de Massolo y Desimoni, quienes identificaron las componentes radioactivas en residuos encontrados en una cantera cercana al Aeropuerto de La Plata⁽¹⁰⁾. Massolo preparó muestras de esta y otras leches en polvo características de la Argentina que podrían tomarse como estándar.

Utilizando un detector semiconductor para bajo conteo de germanio hiperpuro con una fuente de alta tensión adaptada por el Laboratorio de Electrónica del Departamento de Física, Massolo obtuvo espectros de radiación gamma de las diferentes muestras de leche con una resolución en energías de entre 1,7 y 2,5% dentro del rango estudiado. Del análisis de estos espec-

(9) Yuri Levin, director del programa de Endoecología de las víctimas de Chernobyl, miembro científico del Instituto de Inmunología de la República de Rusia, Clarín, viernes 6 de noviembre de 1992, pág. 45.

(10) C.P. Massolo y J. Desimoni, "Estudio sobre componentes radioactivas presentes en residuos encontrados en la cantera situada en 6bis y 622, Zona Aeropuerto, La Plata", Informe Final, 1989; ver también comentarios sobre este trabajo en C.O. Tomassi, *Ciencia Hoy* 1 (1990) 16.

tros pudo determinar que la concentración del isótopo ^{40}K en la leche sospechada no tenía los valores típicos de las leches argentinas analizadas para comparación, lo que podría estar indicando un origen diferente. Pero la clave la encontró en las abundancias relativas de los isótopos radioactivos de cesio. En las leches argentinas no se detectó la presencia de cesio radioactivo. En la leche sospechada en cambio no solo se detectó la presencia de cesio radioactivo (^{137}Cs y ^{134}Cs) sino que su abundancia relativa coincidía con la que debía esperarse si se hubieran producido en la Central de Chernobyl y en una fecha coincidente con la explosión. Para ello utilizó el coeficiente de abundancia relativa de estos isótopos en leche recogida en Holanda pocos días después del accidente de Chernobyl y aplicó un factor de corrección que tiene en cuenta que estos isótopos poseen diferentes períodos de semidesintegración ⁽¹¹⁾. Estos resultados ⁽¹²⁾ fueron confirmados poco después por laboratorios holandeses y franceses que, a su pedido, analizaron las mismas muestras.

Los dos trabajos comentados en esta nota corrieron diversa suerte. Mientras que el de Loyarte y Heiberg-Bose pasó a integrar lo que se conoce como "la ciencia perdida del tercer mundo", el de Massolo tuvo gran repercusión periodística en su momento. Pero ambos trabajos tienen algo en común: aportan a temas que aún hoy no están cerrados ni mucho menos. Debido a que el producto "yerba mate" habitualmente no reúne los parámetros para el control de calidad establecido por el Código Alimentario Argentino, farmacéuticos y botánicos continúan las investigaciones buscando métodos que permitan establecer la genuinidad de la droga, ya sea que la misma se halle fragmentada o pulverizada. En este sentido podemos mencionar un método basado en la obtención de valores numéricos por

micrografía analítica cuantitativa ²⁻⁴. Recientemente en la Facultad de Ciencias Exactas se ha presentado una tesis doctoral sobre la determinación de la genuinidad de la yerba mate ⁵.

En lo que respecta a la posibilidad de contaminación de alimentos con sustancias radioactivas esto es un peligro latente. Greenpeace propuso en 1992 que toda importación de alimentos sea sometida a controles por organismos independientes de la Comisión Nacional de Energía Atómica, tales como las Universidades Nacionales ⁽¹³⁾. Poco después se presentó en la Cámara de Senadores de la Provincia de Buenos Aires un proyecto para controles de contaminantes y sustancias radioactivas que incluye explícitamente a la Universidad Nacional de La Plata. Los equipos para la determinación del origen de pequeñas actividades radioactivas son costosos. Sin embargo con apoyo de la Facultad de Ciencias Exactas y de nuestra Universidad se ha adquirido moderno equipamiento que está en vías de ser completado con la adquisición de cámaras de plomo libre de contaminación.

La modesta contribución del autor de esta nota residió en rescatar del olvido al trabajo de Loyarte y Heiberg-Bose e interesar a miembros del Laboratorio de Referencia de Análisis Micrográficos de Plantas Medicinales, Alimenticias y Tóxicas (LABRAM), dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata, y del Centro de Investigaciones Ópticas (CIOP), dependiente de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, en una posible colaboración en este tema; por otra parte es uno de los miembros fundadores del Grupo de Investigación y Servicios en Determinación de Radiactividad en Medio Ambiente (GISDRAMA) del Departamento de Física.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Loyarte, R.G. & M. Heiberg de Bose (1928) Contribución al Estudio de las Ciencias, Físicas y Matemáticas, Serie Matematicofísicas, Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas **82**: 197-208
2. Nájera, M.T., E.D.Spegazzini, M.A.Rosella, G.B. de Pflirter & E.Mandrile (1985) *Acta Farm. Bonaerense* **4**: 19-28
3. Carpano, S.M., E.D. Spegazzini & M.T.Nájera (1990) *Acta Farm. Bonaerense* **9**: 101-7
4. Spegazzini, E.D., M.T.Castro, S.M. Carpano & M.T. Nájera (1996) VIII Simposio Latinoamericano de Farmacobotánica, Uruguay
5. Spegazzini, E.D. (1999) "Análisis foliar por micrografía analítica cuali-cuantitativa de los adulterantes cogenéricos argentinos de *Ilex paraguariensis* St. Hil. var. *paraguariensis* (Aquifoliaceae, nv. "yerba mate")". Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata

(11) Se denomina período de semidesintegración de un isótopo radioactivo al tiempo que debe transcurrir para que su actividad se reduzca a la mitad. Este tiempo que caracteriza a cada isótopo queda definido por la Ley de Decaimiento de Rutherford y se determina experimentalmente.

(12) "Estudio de espectroscopía gamma de muestras de leche en polvo", Patricia Massolo, Informe técnico para Green Peace, diciembre de 1992.

(13) Juan Schroeder, responsable en 1992 de la campaña antinuclear de Greenpeace y promotor de las investigaciones descriptas, *Página 12*, domingo 27 de diciembre de 1992, p. 3.