

Leg 23 moderno / 1752-1ep. 23

RADIO. RADIOACTIVIDAD. RADIOTERAPIA.

---

## DISCURSO

LEÍDO EN LA

SOLEMNE APERTURA DEL CURSO ACADÉMICO

DE 1906 Á 1907

EN LA

# UNIVERSIDAD LITERARIA DE GRANADA

POR EL

Dr. D. Gregorio F. Fernández Osuna

CATEDRÁTICO DE LA FACULTAD DE MEDICINA



GRANADA

TIP. DE INDALECIO VENTURA LÓPEZ

1906







# DISCURSO

LEÍDO EN LA

SOLEMNE APERTURA DEL CURSO ACADÉMICO

DE 1906 Á 1907

EN LA

UNIVERSIDAD LITERARIA

DE GRANADA

POR EL

Dr. D. Gregorio F. Fernández Osuna

CATEDRÁTICO DE LA FACULTAD DE MEDICINA



GRANADA

TIP. DE INDALECIO VENTURA LÓPEZ

1906

HTCA

U/Bc LEG 23-1 n°1752



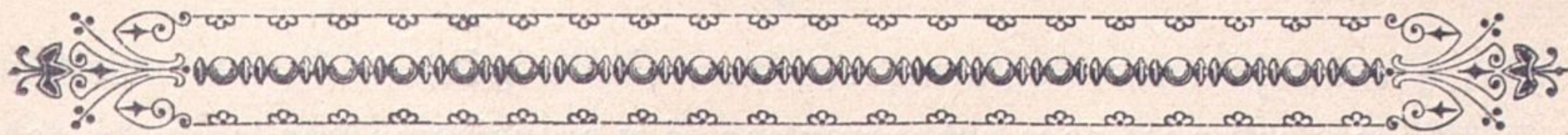
1>0 0 0 0 6 3 2 7 8 9

UVA. BHSC. LEG 23-1 n°1752









*Excmo. é Ilmo. Señor:*

SEÑORES:

**P**ARA dar cumplimiento al honroso encargo del Excmo. é Ilmo. señor Rector de la Universidad, he redactado el discurso de apertura del año académico que hoy comienza. Me será imposible llenar mi cometido de modo satisfactorio. Nunca dediqué el tiempo á trabajos literarios; pues sin desconocer su importancia y trascendencia, no han sido de mi especial predilección. Pocas veces he hecho estudios de instrucción científica general, para los cuales no he podido disponer de tiempo ni de cualidades pertinentes. Las tendencias prácticas de mi espíritu me alejaron siempre de toda meditación y trabajo ajenos á la profesión de médico y á las aplicaciones prácticas del estudio de la Patología interna. Si en tales condiciones acepté comisión tan delicada y difícil, tuve por único móvil el cumplimiento, en la medida de mis fuerzas, de los deberes académicos. Juzgad mi trabajo como os plazca: no he sabido hacer más ni mejor.

Hay además de las apuntadas otras poderosas razones para emprender con el mayor desaliento la redacción de este discurso. He de afirmar con el mayor respeto á cuantos me escuchan, sin suavizar el concepto con la frase rebuscada, con desnudez, sin hipocresía, que considero estas arcaicas y rutinarias solemnidades inútiles y aún perjudiciales, desprovistas de finalidad práctica, sin otra nota simpática que la adjudicación de pre-

*para fin!*



mios á estos jóvenes escolares, reconocimiento público de sus méritos científicos y estímulo para proseguir con fé y entusiasmo por la senda del trabajo y de la aplicación.

Ni la nobleza está siempre en el título nobiliario, ni la virtud se cubre exclusivamente con el hábito talar, ni la ciencia se oculta en toda ocasión bajo la toga doctoral. En su manifestación externa estas fiestas académicas sólo sirven para alucinar nuestros sentidos é imbuirnos falsas ideas de sabiduría. La blusa del trabajador manual ó intelectual me inspira gran respeto. Los colores vivos y abigarrados de nuestra toga doctoral me producen la impresión de disfraz caprichoso, de mal gusto estético, que simula, en esta exhibición de conjunto, especie de mascarada científica.

Sin vestir este atributo de ciencia descubrió Watt, simple obrero mecánico, la máquina de vapor; Stepheson, vulgar minero, la locomotora; Fulton, modesto tallador de diamantes, la navegación de vapor; el inmortal Guttenberg, adocenado industrial, la imprenta; Franklin, impresor, el pararrayo; Gramme, carpintero, la primera dinamo electro-industrial; Faraday, encuadernador, importantísimas leyes físicas; Ruhmkorff, obrero mecánico, la bobina de inducción; Breguet, relojero, el telégrafo eléctrico; Eddison, vendedor de periódicos, el fonógrafo; Montgolfier, fabricante de papel, la navegación aérea; Niepce, oficial de infantería, la fotografía; Després, auxiliar del ingeniero Combes, la trasmisión á distancia de la energía eléctrica; Sencfelder, cronista de teatros, la litografía; Colón, rudo marinero, el Nuevo mundo, y tantos otros que pudiera citar, gloria de la Humanidad y de la Ciencia. ¡Cuántos millares de doctores pudiera traer á cuento que no hemos descubierto nada! No os sorprendáis de este lenguaje y de este proceder. Ocultar los propios defectos, dar el valor de virtudes á los vicios es hipocresía, soberbia, osadía. Como miembro de la familia universitaria puedo ostentar mayor derecho á censurar los defectos de sus individuos.

¿Qué finalidad práctica perseguimos en estas aparatosas solemnidades? La exposición de trabajos técnicos originales de orden experimental ó especulativo, de verdadera importancia y trascendencia, son más propios de una Academia que de un Claustro universitario, de las grandes inteligencias que de los hombres vulgares; yo formo en la fila de los últimos. La discusión de problemas de enseñanza, de cuya resolución tan necesitados estamos, no despierta la atención de nuestros legisladores. Nuestros Di-



rectores de la Instrucción pública, si por excepción los afrontan, prescinden de nuestras reclamaciones y consejos, para atender preferentemente los de algún adlátere, con la seriedad aparente de un superhome y la realidad efectiva de un vulgar adulator. Muy preocupados de las exigencias de escuela, de partido, ó de personas, desconocedores de ordinario de las cuestiones de enseñanza, han llevado la universitaria al estado de perturbación, de caos, en que hoy se encuentra sumida.

Excitamos á los profesores y á los escolares á la aplicación y al trabajo, al cumplimiento de nuestros deberes académicos. ¿Atendemos nosotros aquellas excitaciones? Ni entiendo de convencionalismos, ni sé disfrazar mi pensamiento. Discutimos con ardor la mezquindad del sueldo; esperamos con ansia angustiosa el ascenso del escalafón, pero nos preocupamos poco de justificar con el trabajo asíduo, con el celo por la enseñanza una mayor remuneración, una más justificada posesión del ansiado ascenso. Y no sería difícil señalar casos de quienes descienden de esta tribuna, después de haber declamado en tonos patéticos acerca de las excelencias y satisfacciones del trabajo y de la aplicación, para comenzar al día siguiente faltando al más elemental de los deberes: la asistencia á cátedra.

¿Y qué hacen nuestros escolares? Alucinados y desorientados por estos perjudiciales convencionalismos, mal dirigidos, viciosamente educados, se abandonan á la holganza y á la desaplicación; pareciéndoles que el único fin de los estudios universitarios sea la consecución de un título académico, aunque no garantice la posesión de los conocimientos que para conseguirlo hubieran debido acreditar. No es este el camino de nuestra ansiada regeneración.

En vez de congregarnos aquí, al comenzar nuestras tareas, para formular programas, entonar cánticos al trabajo y exponer los más sanos propósitos, presentándonos como enamorados y víctimas de la Ciencia, debiéramos concurrir todos, alumnos y profesores, al finalizar el curso á dar estrecha cuenta de la inversión dada á tan precioso tiempo; del esfuerzo realizado en el cumplimiento del deber; de si fuímos tan solícitos en trabajar como en cobrar; de si respondimos con las obras á aquellas promesas y aquellos propósitos de la palabra. Los entusiasmos de la apertura no han servido para corregir nuestra habitual indolencia. Es posible que fuese remedio más eficaz la acusación de nuestra pereza y abandono. Puede esperarse la regeneración del que reconoce y confiesa sus vicios y



defectos. Jamás se enmendará quien erróneamente se cree poseedor de todas las virtudes.

Hay más aún Excmo. Sr.: La solemnidad de este acto, los colores vivos y el aspecto impresionante de nuestra indumentaria doctoral, los himnos entonados con excesiva frecuencia é indable exageración á la Ciencia y Cultura nacional, ofuscan y exaltan indudablemente nuestra inteligencia, alucinan nuestros sentidos y nos conducen en el terreno científico á iguales falsas ideas de que estábamos poseídos en el político y militar, cuando los últimos desastres coloniales nos hicieron ver la realidad: Teníamos un ejército y una marina que calificábamos con énfasis invencibles y fuimos ignominiosamente derrotados. Tenemos diez universidades, cientos de profesores, miles de escolares y la cultura nacional es deficientísima. Es necesario destruir de lo viejo lo arcáico, lo inútil, lo desacreditado, para construir con los nuevos materiales que nos ofrecen los pueblos directores del Progreso y del Saber: más trabajo y menos solemnidades.

---

El estudio de los cuerpos radioactivos apasiona actualmente á los sabios más eminentes de todos los países. Las maravillosas cualidades de los cuerpos radioactivos producen estupefacción. La radioactividad de la materia ha conmovido las más firmes creencias acerca de las fuerzas físicas, poniendo en discusión las verdades más fundamentales de la Ciencia. El átomo inerte, inmutable, de nuestras antiguas creencias, representación la más elemental y simple de la materia, caracter específico invariable de los cuerpos, último grado de división del análisis químico, aparece ahora ante nosotros como un elemento complejo y complicado, en constante transformación, encerrando tesoros de casi inagotable energía. Un cuerpo tan raro como el radio, del que sólo se han podido recolectar hasta ahora algunos gramos en todo el mundo: de tan exorbitante precio que alcanzaría á 400,000 francos el de una unidad de aquella preciosa sustancia; de tan enorme energía que se eleva á 750 millones de kilográmetros por gramo (Vernon Boys) de tan prolongada vida que necesitaría para extinguirse un período de muchos miles de años, de tan maravillosas cualidades que, modificando nuestras actuales concepciones de la materia y de la fuerza, descubre nuevos é inesperados horizontes á la Física, á la Química, á la Mecánica, á la Filosofía, á la Fisiología y á la Terapéutica, es digno de la



mayor atención y va á ser el objeto de este trabajo. Voy pues á ocuparme del Radio, de la Radioactividad y de la Radioterapia.

Bien se os alcanzará que no puedo desenvolver tan importantísimo tema en toda su extensión y profundidad. No tengo para ello los debidos conocimientos; no dispondría de espacio suficiente en los límites forzosamente reducidos de un discurso académico; no sería oportuno en esta ocasión. Mi propósito es sólo la vulgarización de algunos conocimientos de los cuerpos radioactivos, de la radioactividad, y especialmente de sus aplicaciones á la Fisiología y á la Terapéutica.

### **Cuerpos radioactivos.-Historia.-Radio**

Como el de otros grandes descubrimientos, el de los cuerpos radioactivos se debe á un hecho casual. En las discusiones que se suscitaron acerca de la naturaleza de los rayos X, H. Poincaré emitió la hipótesis de que nacían en las paredes del tubo de Crookes, hechas fosforescentes por el choque sobre las mismas de los rayos catódicos. Ch Henry, Niewenglowski y Troost, confirmaron al parecer esta suposición, obteniendo radiografías con el sulfuro de zinc, el de cálcio y con la blenda exagonal artificial, en los que habían provocado la fosforescencia por la insolación. Para comprobar estas experiencias H. Becquerel colocó sobre placas fotográficas envueltas en papel negro sales de urano, que son también fosforescentes, las expuso á la acción del sol, y obtuvo después de revelarlas, imágenes de los cristales de urano insolados. Dedujo con aparente fundamento que las sales de urano, fosforescentes por la insolación, emiten rayos X. Generalizando la hipótesis afirmó que todos los cuerpos fluorescentes ó fosforescentes emiten rayos de Roentgen. En este sentido hizo una comunicación á la Academia de Ciencias, confirmatoria de las de Henry, Niewenglowski y Troost.

Dos días después, el 26 de Febrero de 1896, quiso repetir las experiencias con interposición de una cruz de cobre de 0,1 mm. de espesor. La presencia de nubes no le permitió en algunos días insolar el urano. Encerró la preparación en el cajón de un armario; cansado de esperar se decidió á revelar las placas, viendo con gran sorpresa reproducidas en las mismas la imagen muy limpia de la cruz superpuesta. Repitió las experiencias con diversos cuerpos, en distintas condiciones, obteniendo siempre los mismos



resultados. No dudó entonces que las sales de urano emiten espontáneamente, sin influencia exterior, rayos luminosos especiales que, como los rayos X y los de la luz, impresionan la placa fotográfica; les dió el nombre de rayos uránicos. Persuadido de la gran importancia de su descubrimiento, continuó sus estudios y demostró que los rayos uránicos atraviesan los cuerpos opacos, aunque con menor energía que los de Roentgen, descargan los cuerpos electrizados, ionizan el aire, no se reflejan ni se refractan, ni se polarizan, no se agotan con el tiempo, ni disminuyen de un modo apreciable, y ofrecen en suma propiedades notabilísimas, en parte análogas á las de los rayos X. La facultad de emitir rayos especiales es inherente á los átomos del urano, le acompaña en sus disoluciones, desdoblamientos, combinaciones: aumenta ó disminuye en la proporción en que aumenta ó disminuye el urano en las mismas: es en suma una propiedad atómica.

El descubrimiento de Becquerel despertó mucho interés y entusiasmo. Entre los muchos sabios que se dedicaron á estas investigaciones, fueron de los primeros Elster. Geitel y Smith, en Alemania; Kelvin, en Inglaterra; Rutherford, en el Canadá y Mad. Curie, en Francia. Esta última convencida de la importancia trascendental del descubrimiento se dedicó con entusiasmo y fortuna á su estudio, confirmando en todas sus partes las propiedades asignadas por Becquerel á las sales uránicas, descubriendo otras no menos notables, dando á conocer cuerpos nuevos dotados de las mismas cualidades, proponiendo el nombre de *radioactividad* para comprenderlas y expresarlas, y la actividad del urano como unidad de medida.

Para averiguar si la radioactividad es propiedad exclusiva del urano ó común á otros cuerpos, sometió á estudio gran número de éstos, de tierras y de minerales raros, determinando por un electrómetro de su invención la conductividad eléctrica adquirida por el aire, es decir, su energía radioactiva.

Sorprendió á Mad. Curie que la pechblenda de Johanngorgenstad (óxido de urano impuro), la de Johachinsthal y la chalcólita (fosfato de cobre y de urano) se mostrasen respectivamente cuatro, tres y dos veces más activas que el urano; que los residuos de la pechblenda conservasen la misma actividad después de la extracción de aquel cuerpo. Y pues la radioactividad es propiedad atómica, debían contener aquellos minerales



otro ú otros cuerpos dotados de mayor actividad. Auxiliada de su marido, continuó sus investigaciones en busca de nuevas sustancias radioactivas. Por operaciones químicas muy complejas, minuciosas y delicadas; por desdoblamientos, precipitaciones y cristalizaciones; buscando minerales hipotéticos contenidos en las pechblendas en proporciones de millonésimas partes; después de grandes trabajos consiguió el fin apetecido. El 12 de Abril de 1898 comunicó á la Academia de Ciencias el descubrimiento del torio, cuya actividad es superior á la del urano, metal raro empleado en la confección de los mecheros Aüer, estudiado al mismo tiempo por Smith en Alemania. Poco después dió á conocer el polonio, así denominado en recuerdo de su país, de 1.000,000 U. de actividad, no aislado químicamente. Y por último, en el mismo año dió á conocer el radio, el más importante de los cuerpos radioactivos conocidos.

La mayor parte de los cuerpos radioactivos están contenidos en la pechblenda en cantidades pequeñísimas, íntimamente unidos á otras sustancias en términos de hacer su separación difícil, costosísima y justificar por estas circunstancias el precio exorbitante de los mismos. Júzguese de estas dificultades al saber que, para obtener treinta centigramos de bromuro de radio puro, ha sido necesario operar sobre una tonelada de residuos de elaboración de la pechblenda, consumiendo cinco toneladas de productos químicos, cincuenta de agua y cuatro meses de trabajo.

La investigación de cuerpos radioactivos ha continuado. En 1899 Debierne aisló y estudió otro cuerpo, el actinio, muy análogo al torio, al cual se encuentra ordinariamente asociado. Giesel creyó haber descubierto otro que llamó primero *emanationkerper* y después emanio, contenido en la pechblenda, que probablemente es el actinio, del cual no difiere en nada esencial, según ha demostrado Miss Brooks. Hoffmann y Straus han extraído también de la pechblenda un sulfato de plomo radífero de actividad considerable. Por último W. Ramsay comunicó al Congreso radiológico de Lieja de 1905 el descubrimiento de otro cuerpo, el *radiotorio*. Este cuerpo, extraído de un mineral procedente de Ceylan, la thorianita, ofrece una actividad 500,000 veces mayor que el torio, produce emanaciones, provoca radioactividad inducida; es uno de los minerales radioactivos más importantes.

Como los cuerpos radioactivos tienen la propiedad de inducir su actividad en los que lo son próximos ó les están asociados, los cuales la conser-



van por tiempo variable, no se ha podido evitar el error de incluir entre los de radioactividad propia á los que sólo la tienen prestada. Esto parece haber sucedido con el torio, el polonio, el emanio, el sulfato de plomo radífero, el radiotorio y otros. Las investigaciones recientes y concordantes de Rutherford, Meyer y Schweidler demuestran al parecer, que los solos cuerpos que tienen radioactividad propia, individualidad bien definida sean el radio, el urano y el actinio. De éstos sólo voy á estudiar particularmente el radio, el más activo, completo é importante, el más usado en todas las aplicaciones á que se prestan los cuerpos radioactivos, el mejor conocido; limitándome á señalar de los otros dos sus caracteres diferenciales más salientes.

Estos cuerpos radioactivos y sus emanaciones ofrecen en la naturaleza gran diseminación. Se les encuentra en proporciones variables en la tierra vegetal, en las capas más profundas, en los yacimientos minerales, en las aguas potables y medicinales, en la lluvia, en la nieve, en la atmósfera, encontrando en todos ellos radioactividad propia ó inducida. En los petróleos del Cáucaso, en minas de 140 metros de profundidad, ha encontrado Burton un gas muy radioactivo, que puede provocar la radioactividad inducida, la cual se reduce á la mitad en 75 minutos.

Es lógico suponer en vista de esta diseminación, que la radioactividad existe en otros muchos cuerpos que ahora no la acusan, á causa de la imperfección é insuficiencia de los aparatos de que se dispone. No es aventurado afirmar por consiguiente que la radioactividad es una propiedad universal de la materia. Me ha parecido conveniente, antes de llegar al estudio del radio, hacer, á modo de complemento, una ligera indicación de la radioactividad de esos diversos cuerpos y de la materia en general.

---

**Minerales radioactivos.**— La radioactividad se consideró al principio vinculada en ciertos minerales, especialmente en los que contienen urano y torio. Mad. Curie examinó gran número de metales y metalóides conocidos, de cuerpos raros como el galium, germanium, rubidium, yttrium, de minerales y rocas diversas sin encontrarles radioactividad. Continuaron estas investigaciones motivadas por el elevado precio, las sorprendentes cualidades, el gran interés científico é industrial de los cuerpos radioactivos. En todas partes, en Bohemia, Suecia, Francia, Austra—



lia, en Rusia, en los Estados Unidos, en Méjico, en Italia y España se han descubierto yacimientos minerales que, conteniendo ó no el urano y el torio, acusan propiedades radioactivas.

La mayor parte de los cuerpos radioactivos están contenidos en las pechblendas. La de Joachimsthal, en Bohemia, una de las más ricas que se conocen, ha servido á Mad. Curie para sus investigaciones de los cuerpos radioactivos. Los residuos de elaboración de las pechblendas, que antes no tenían precio, se venden ahora á mil francos la tonelada (1). El elevado precio del radio justifica el afán con que se buscan minerales radioactivos, que permiten extraer mayores cantidades de aquel importantísimo cuerpo; cuya cantidad total producida no excederá hoy en todo el mundo de unos diez gramos. Las sustancias radioactivas se encuentran además en relativa abundancia en otras pechblendas, como la de Johanngeorgens-tadt, de Pzibran y de Cornwallis, y en gran número de minerales y cuerpos raros (2). El doctor Muñoz del Castillo ha publicado varios trabajos acerca de los minerales y de los manantiales radioactivos españoles. Entre los primeros pueden citarse las minas ó yacimientos de Colmenar-Viejo, Torrelodones, Valencia de Alcántara, El Espinar, Toledo y Motril (3).

---

**Radioactividad atmosférica.**—La radioactividad de la atmósfera es indudable; procede probablemente de las emanaciones de las sustancias radioactivas contenidas en la corteza de la tierra, aunque algunos le han asignado un origen solar. Las experiencias de Geitel, Wilson, Elster, Rutherford y Allan, han demostrado su existencia. Un conductor cargado de electricidad positiva ó negativa, expuesto al aire libre ó al de un espacio cerrado, pierde gradualmente su carga por la conductibilidad, es decir, por la radioactiva atmosférica. Un hilo metálico de dos metros ex-

---

(1) De la pechblenda de Joachimsthal se extraen desde 1853 sales de urano, que se utilizan para la producción de colores, y dan al cristal de Bohemia su celebridad. El gobierno Austriaco cedió á Mad. Curie una tonelada de dicha sustancia, con la cual hizo sus primeros estudios y le reserva la producción total de la misma al precio indicado; producción muy limitada porque se subordina á la de los colores de urano.

(2) De su abundancia dará idea la siguiente lista que sólo comprende los más conocidos: thorianita, godolinita, monazita, samarskita, cyrtolita, eschynita, euxenita, sipilita, orangita, euprouanita, microlita, pyromorfita, carnotita, vanadato de urano y de cobre, urano metálico, cleveita, chaciolita, autunita, thorita, fergusonita, nivenita, thoriogummita, thobernita godolinita. De la mayor parte de estos minerales, especialmente de los producidos en los Estados-Unidos, se han presentado notables ejemplares en la importante exposición de Radio y de sustancias radioactivas, celebrada en San Luis en 1904.

(3) Anales de la Sociedad española de Física y Química; Revista de la Real Academia de Ciencias exactas, físicas y naturales; Anales de la Sociedad española de Hidrología médica.



puesto á cierta altura bajo la influencia de un fuerte potencial negativo de una máquina de influencia, introducido luego en caja que contenga un electroscope lo descarga rápidamente. Pero si á imitación de Rutherford se aíslan convenientemente conductor é hilo por una lámina de plomo, la rapidez de descarga disminuye; porque en el primer caso se aísla el conductor del aire ambiente cargado de radiaciones que producen una ligera ionización de los gases, y en el segundo se aísla el electroscope de las radiaciones recogidas por el alambre en el aire ambiente.

En la radioactividad atmosférica intervienen solamente una parte de los rayos emitidos por los cuerpos radioactivos. Ofrece diferencias según las localidades: en las costas del Báltico se mostró cuatro veces más activa que en Wolfenbüttel, en el interior de Alemania. El aire de las montañas es más radioactivo que el de las planicies, porque aquél ofrece mayor superficie de contacto. La lluvia y la nieve recientes son también radioactivas, cuya propiedad adquieren probablemente de la atmósfera. Concentrando y evaporando hasta sequedad agua de lluvia reciente, ha conseguido Wilson descargar con gran rapidez un electroscope, aún interponiendo entre el residuo y el electroscope una delgada lámina de oro ó de aluminio. Wilson, Allan y Lennan han demostrado igualmente la radioactividad de la nieve recién caída. Righi observó que en un día de nevada se duplica la radioactividad de la atmósfera.

A. Goekel ha estudiado y probado también la radioactividad de la atmósfera con el aparato y método de Elster y Geitel. Un hilo metálico unido á un electroscope y á una caja que contenga radio permite esta operación. El aire adquiere conductibilidad en las inmediaciones del radio, el alambre toma del aire electricidad hasta llegar al equilibrio, y el electroscope acusa la cantidad de radiación existente en la atmósfera. De sus estudios, y de la comparación de los resultados obtenidos con los de otros investigadores, deduce que la radioactividad difiere según los sitios, aumentando del Mar del Norte á los Alpes en la proporción de 1 á 10. Ofrece un máximo á las nueve de la mañana y un mínimo á las cinco de la tarde, y aumenta con la presión atmosférica. En oposición á la mayor parte de los investigadores cree que la temperatura, la humedad, el viento y las nubes no ofrecen influencia, y que dicha propiedad no procede del suelo, porque un alambre no se activa más pronto en contacto de la tierra que á mayor distancia de la misma.



Las investigaciones experimentales de Elster y Geitel revelan que la radioactividad atmosférica es inducida. Un volumen de aire perfectamente aislado pierde su actividad después de cierto tiempo.

El origen de la radioactividad de la atmósfera es probablemente terrestre. El aire de las cuevas y grutas subterráneas, el obtenido por aspiración de ciertas profundidades del suelo es radioactivo, como lo son las aguas termales, sus gases, los de los volcanes, el petróleo bruto y otros productos del suelo. Por el contrario, el agua de mar y de río, el aire de mar, donde los escapes del suelo no tienen lugar, carecen de actividad. Es posible que la acción curativa del aire de las montañas y de ciertos lugares deba en parte su eficacia á las emanaciones radioactivas que contenga.

Aunque con las variaciones apuntadas, la riqueza del aire en emanaciones radioactivas es muy considerable. Por cálculos muy sujetos á error ha establecido S. Eve, que un kilómetro cúbico de aire de Montreal contiene la cantidad de emanación que producirían cuarenta y nueve centigramos de bromuro [de radio en equilibrio radioactivo; si dicha emanación procediese de la tierra, sería necesario que la corteza de la misma contuviese en el espesor de cinco metros ciento setenta toneladas de bromuro de radio.

---

**Radioactividad terrestre.**— Ha sido demostrado por Elster y Geitel y confirmada por Ebert y Ewers. El aire de las fosas y cuevas subterráneas y el extraído de ciertas profundidades es más radioactivo que el libre. La tierra recogida en sitios y profundidades diferentes posee también radioactividad. La de aquél es inducida, la de ésta es á veces propia; uno y otra ofrecen grandes diferencias según los sitios. Las tierras arcillosas y calcáreas de Wolfenbüttel acusan una actividad dieciseis veces superior á la media. Elster y Geitel han conseguido activar cuerpos introducidos en el suelo á treinta centímetros de profundidad, demostrando además que la radioactividad inducida de un cuerpo cualquiera no disminuye si se le sumerge á una profundidad de ochocientos metros, en una mina por ejemplo. Giesel ha demostrado además la actividad del limo y de la tierra cultivada de Capri, en cantidad que calcula la milésima parte de la pechblenda. Es de suponer que la tierra contiene cantidades de ra-



dio, cuyas emanaciones, arrastradas por las aguas y los gases, dan á unas y otros las propiedades radioactivas de que gozan.

El ácido carbónico desprendido de volcanes apagados y de terrenos volcánicos ofrece también radioactividad inducida. Trovato Castorina ha estudiado por el metodo de Elster y Geitel las tierras, los gases, las arenas, los fangos y las rocas de la región del Etna, encontrándoles valores de 1,25 á 3,60 de la radioactividad del aire de aquel lugar. Por igual procedimiento ha probado Th. Tomonasina la radioactividad de la lava del Vesubio.

Esta radioactividad terrestre sería causa según Papius de la supervivencia de nuestro planeta. La temperatura de la tierra, después de atravesar la capa superficial sujeta á variaciones de influencias exteriores, crece regularmente 1° por cada 30 metros. Por el enfriamiento gradual de la tierra calculan los Físicos que la superficie de la misma llegaría á ser inhabitable en diez millones de años. Los Geólogos y Biólogos conceden más larga duración á la habitabilidad del mundo. La enorme influencia calorífica de las sales de radio, y la cantidad de ellas contenida en nuestro planeta, permitirían llevar esta habitabilidad á cien mil millones de años.

---

**Radioactividad de las aguas.**— Thomson, Adams, Bumstead y Wheeler han demostrado directamente por el electroscopio la radioactividad de las aguas de ciertos pozos y fuentes potables, evaporándolas y sometiendo á ensayo el residuo de la evaporación. El aire que se hace pasar á través de las mismas aumenta en radioactividad. Por las cualidades de la emanación y por el tiempo que tardan en desactivarse parece que el agente productor es el radio. Bottwood ha probado también la radioactividad de algunos manantiales, atribuyéndola á emanaciones y á pequeñas cantidades de sales de radio arrastradas por las aguas á su paso por sitios donde existen cuerpos radioactivos. Dienert y Busquet han examinado diversas fuentes del Havre, comprobando la repetida propiedad. En la más activa, la de Breuiel, no prospera el bacillus coli, á causa de su energía radioactiva. Pero donde ésta propiedad se manifiesta más activa es en las aguas minerales.

La radioactividad de las aguas minerales, cuestión de gran actualidad é importancia terapéutica, ha suscitado gran número de trabajos de los



cuales debo citar más especialmente los de A. J. Kalmann (1), los de Wick (2) y los de H. Sieveking (3). S. Allen descubrió el primero en Agosto de 1903 la presencia de emanaciones radioactivas en las aguas termales, atribuyendo á esto sus propiedades curativas. Mad. Curie, Laborde y Mache, estudian después las de Gastein, las más activas que se conocen. Los dos primeros examinaron 19 manantiales franceses, de los cuales sólo tres dieron resultado negativo. Se han multiplicado estas investigaciones hasta el punto que pocas aguas minerales extranjeras han escapado al examen, y en muy pocas ha dejado de encontrarse radioactividad (4).

Entre los manantiales españoles se han encontrado radioactivos los de Toja, Buyer de Nava, Puente-Viesgo, Molinar de Carranza, Belascoain, Panticosa, Vichy catalán, La Garriga, Trillo, Santa Teresa, Alanje, Hervideros de Fuensanta, La Aliseda, Alhama de Aragón y Alhama de Granada.

Los análisis han demostrado pues la radioactividad en la inmensa mayoría de las aguas minerales estudiadas. Esta propiedad ofrece enormes diferencias, sin que hasta ahora se haya logrado descubrir la ley que regula su existencia y proporción. Puede afirmarse, sin embargo, que las termales son en general más activas, encontrándose la radioactividad en todos sus componentes, los gases, los fangos, las sustancias químicas; mostrándose unas veces invariable, fija, cual si tuviesen dichas aguas en disolución agentes radioactivos, ó fugaz transitoria como si dependiese de emanaciones, de activación secundaria; procediendo en todo caso unos y otras de minerales situados á distinta profundidad en el curso subterráneo de las aguas.

Algunos conceden acción dominante á determinados productos; Gockel y Moreau al helium que han encontrado en los gases de todas las fuentes examinadas por Curie y Laborde; Mache á una substancia que llama *Reissacherita* y se encuentra en el fango ó sedimento de las aguas de Gastein.

(1) Contribution á la action biologique des sources thermales radioactives.—Le Radium, aout, 1906.

(2) Über die Beziehungen der Radium-emanación in der Gasteiner Therme, zu deren Heilkraft.—Berliner Klinische Wochenschrift, núms. 15, 16, 1906.

(3) Die Radioaktivität der Mineralquellen. Berliner Klinische Wochenschrift, 4 Junii, 1906.

(4) Entre las extranjeras puedo citar las de Gastein, Wiesbaden, Bath, Eaux-Bonnes, Bathaglia, Pomblière, Bains les Bains, Luxeuil, Vichy, Neris, Bagnoles de l'Orne, Salins-Montiers, Caunterets, Lamalou, Mont-Dore, Royal, Chatel-Guyon, Alet, Baden, Fachingen, Nauheim, Wildbad, Karlsbad, Ocynhausen, Schoeningen, Kreuznach, Buxton, Aixles-Bain, Loneche, Tarasp, Marienbad, Dux. Franzensbad y Joachimsthal.



¿Qué influencia ejerce la radioactividad en la acción terapéutica de las aguas minerales? Las teorías acerca de la acción de las aguas minerales han variado al tenor de los tiempos. En los más antiguos se atribuía su eficacia á la protección de ninfas ó espíritus. Más tarde se hizo depender de la presencia de metales preciosos ó raros como el oro, el cesio ó el rubidio. Paracelso la fundó, en 1162, en los minerales disueltos que contienen. Eckel en 1738 admitió la mezcla y disolución de los jugos y substancias minerales irradiados por el Gran-Arqueo desde el interior de la tierra. Borisani, que hizo en 1778 el primer análisis químico de las mismas, la subordina á su composición mineral. Niederhuber, para quien no es suficiente la composición química y la temperatura, invoca algo esencial, misterioso, desconocido, como causa de su eficacia. Liebig, Baumgärtner, Roller y Scouteten la atribuyen á la electricidad, como si se hubiese demostrado en las aguas la electricidad libre. En 1860 se piensa en la electrolisis. Más tarde en la teoría de la disociación y atenuación de los componentes radicales. Se enuncia la teoría de los iones y se piensa que los iones nacientes en las soluciones salinas de las mismas, por su fuerte presión osmótica y su fuerza de percusión sobre los tejidos nos darían buena cuenta de sus efectos curativos. Apenas nacida y antes de llegar á su desenvolvimiento, es substituída esta teoría por la de la radioactividad. Y como ésta no explica bien todos los hechos, ni ha recibido confirmación experimental, cederá su puesto á la que surja de nuevos descubrimientos.

En todo tiempo ha despertado la atención de los médicos la discordancia entre la composición química y los efectos terapéuticos; la similitud de acción en aguas de composición diferente, y la semejanza de resultados en aguas de igual valor químico; la muy diferente eficacia entre las aguas naturales y artificiales; la que se observa según se las administre en el sitio de su nacimiento ó á distancia del mismo, sin encontrar en aquellas hipótesis explicación satisfactoria de estos indudables enigmáticos hechos.

Con alguna ligereza se ha afirmado que la radioactividad de las aguas minerales nos da explicación satisfactoria de sus efectos curativos. Es cierto que las substancias radioactivas ejercen sobre nuestro organismo acción fisiológica y terapéutica notables. Es igualmente cierto que algunas aguas minerales entorpecen ó anulan el desarrollo de los gérme-



nes micróbicos, como las de Breuil el del bacilus coli y las de Gastein sobre el del prodigiosus. La desactivación natural de las aguas explicaría la pérdida de sus propiedades curativas al administrarlas á distancia del manantial. Pero se olvidan en esta hipótesis las propiedades físico-químicas de las aguas, la influencia del clima, de la temperatura, de la altitud y de las condiciones mismas á que están sometidos en las aguas minerales los cuerpos radioactivos y sus emanaciones.

No es posible olvidar que la radioactividad de las aguas minerales hasta ahora examinadas, con excepción de las de Gastein, es tan débil que su acción sobre el organismo, si existe, es poco accesible á nuestros medios de investigación. No podemos afirmar que conocemos todos los cuerpos que pueden dar á las aguas minerales sus propiedades curativas. El trayecto más ó menos largo que recorren hasta llegar al punto de captación; los cambios de temperatura á que se les somete; el tiempo transcurrido hasta usarlas en bebida ó baño, la duración de éste, las pérdidas gaseosas, la sedimentación de sus componentes, las trasformaciones sucesivas en forma de emanaciones gaseosas muy ténues que experimenta el radio; la fácil absorción y poca penetrabilidad de la parte de rayos más numerosa y penetrante; la fugacidad é inestabilidad de la radioactividad inducida no nos permiten confiar mucho en la eficacia que pueden dar á las aguas minerales las emanaciones radioactivas.

Y si bien es cierto que el cuerpo llega á hacerse radioactivo por permanecer largo tiempo junto á minerales de esta naturaleza, en recintos cerrados, como sucedió á Giesel y Mad. Curie, ninguno experimentó efectos apreciables, ni se han encontrado diferencias cuanto á la cantidad de emanación contenida en la orina de personas bañadas en aguas termales radioactivas y en aguas indiferentes. Desconocemos además si la emanación experimenta en la superficie ó en el interior del cuerpo alguna trasformación desconocida, ni si ha de sufrir un largo período de latencia antes de manifestar sus efectos. No estamos, pues, en condiciones de precisar sin ulteriores experiencias el papel de la radioactividad de las aguas minerales.

---



**Radioactividad de la materia.**—La unidad de la materia exige la de sus cualidades físicas. No conocemos una de estas que en mayor ó en menor grado no posean todos los cuerpos; la electricidad, el magnetismo, asignados primero á determinado número de ellos, son atributos universales de la materia. La radioactividad, reservada primero á los cuerpos llamados radioactivos, urano, torio, radio, actinio, es condición tan universal de la materia ponderable como las energías calorífica, eléctrica ó luminosa. Si no se la ha demostrado en todos los cuerpos débese á la imperfección, á la poca sensibilidad de los aparatos y de los procedimientos empleados para descubrirla; el de Mad. Curie, uno de los más sensibles, sólo tiene capacidad para acusar una 0,01 del urano metálico. Lo difícil sería, según O. Lodge, encontrar cuerpos desprovistos de radioactividad. Mac Lennan, Burton y Strutt han probado la radioactividad de diversas sustancias como el cristal, la plata, el zinc, el plomo, el platino, el aluminio y el hierro. F. Thomson la ha confirmado en el plomo, estaño, hierro y zinc, afirmando que todo cuerpo puede provocar la conductibilidad eléctrica de un gas, aún á través de pantallas absolutamente impermeables á la materia sólida ó gaseosa. No se trataba en estas experiencias de radioactividad inducida desde el suelo ó la atmósfera, porque se tomaron todas las precauciones necesarias para ponerse á cubierto de semejante error. Las radiaciones de los metales aludidos son especiales, débiles, de diversa penetrabilidad: no parecen debidas al radio. G. Martín, Mac Clellan y Rutherford han repetido estas experiencias y han llegado á iguales conclusiones.

Norman y Campbell (1) han sometido á pruebas de radioactividad el plomo, cobre, aluminio, estaño, plata, oro, platino, zinc, hierro, algunos cuerpos no metálicos como el azufre, deduciendo de las experiencias conocidas que todos los elementos químicos son radioactivos. Esta actividad, directa ó inducida, intramolecular, subordinada á la desintegración del átomo, nada tiene que ver con la del radio. Los rayos  $\alpha$  emitidos por estos cuerpos, tienen una penetrabilidad de ocho centímetros, en vez de los seis centímetros que corresponde á los del radio; parecen pues de diverso origen. El método y las experiencias de Rutherford, Curie y Danne permiten distinguir con certeza, por la medida de la pérdida de actividad.

---

(1) La radioactivité comme propriété générale des éléments chimiques. Le Radium, Février, 1906.



en función de tiempo, si las emanaciones radioactivas proceden de los cuerpos especiales de este nombre ó de la materia en general.

La conductibilidad del aire y de los gases, la propiedad de descargar los cuerpos electrizados, puede ser producida por otros mecanismos. Los procesos locales de combustión, la absorción de los rayos ultravioleta por las altas capas de la atmósfera, la formación y destrucción del agua oxigenada y del ozono, producen también la ionización, pero indudablemente en tan escasa cantidad, que podemos considerar aquella propiedad casi exclusiva de las radiaciones.

La disminución de la electricidad atmosférica, atribuída por Coulomb al estado higrométrico del aire, se debe á la presencia de los rayos de Becquerel; cuya forma de energía atribuída al principio á determinados cuerpos, viene á ser, según los estudios modernos, una propiedad común de la materia, ó una difusión tan universal de los cuerpos que la poseen que es difícil sustraerse por completo á su influencia.

### **Radio.-Caracteres físico-químicos.**

No se le ha podido aislar en estado de cuerpo simple. Lo conocemos en sus combinaciones con los ácidos en forma de cloruro, bromuro, nitrato, carbonato y sulfato. Las sales de radio recién preparadas son blancas, como las de bario; con el tiempo adquieren color amarillo, anaranjado y rosáceo, cuyo cambio de color es más lento en las sales puras que en las asociadas al bario. Se les devuelve el color primitivo disolviéndolas en agua y precipitándolas por evaporación. Estas sales son muy higrométricas y desprenden espontáneamente productos gaseosos; el cloruro de radio, sólido ó disuelto, da constantemente hidrógeno, según Geisel. Las sales de bario y de radio tienen propiedades comunes bajo el punto de vista químico; pero el cloruro y el bromuro de radio son menos solubles que los de bario, sirviendo esta propiedad para separarlas y obtener las primeras. El bromuro de radio da á la llama de una lámpara de Bunsen un hermoso color carmín, y un color verde si está asociado al bario; esta propiedad permite apreciar su grado de pureza.

El análisis espectral permite clasificar los cuerpos simples según su peso atómico, por la relación que existe entre este último y las rayas del espectro. Un rayo de luz solar se descompone á través del prisma en



rayos luminosos de color rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, índigo, violeta, además de los ultra-violeta y los infra-rojo, difiriendo por su longitud de onda y por su refrangibilidad. Todo cuerpo simple sometido á la corriente eléctrica en un tubo espectroscópico da por la incandescencia vapores luminosos; cuyos rayos al atravesar el prisma producen líneas espectroscópicas especiales en relación con su peso atómico; esta propiedad la conservan en sus mezclas y combinaciones, siendo así fácil descubrir su presencia, y siendo por esto el análisis espectral un procedimiento de análisis y diferenciación de los cuerpos simples. Demarçay fué el primero en estudiar el radio bajo el punto de vista espectroscópico, continuándolo después Giesel, Runge, Precht, Crookes, Dewar y M. Huggins. El aspecto general del espectro es el de los metales alcalino-térreos. La solución de cloruro de radio puro sometido á la descarga eléctrica dá un espectro en que todas las rayas son estrechas y limpias. Sobresalen tres más fuertes, de intensidad no inferior á las más características de los cuerpos actualmente conocidos; están situadas la una en el azul, de 468,30 millonésimas de milímetro de longitud de onda, la otra en el violeta de 434,06, y la tercera en el ultravioleta de 381,47. Se descubren además otras bandas nebulosas fuertes, una en el azul y otra que comienza en el índigo y decrece hacia el ultravioleta. El espectro de la llama de las sales de radio, examinado por Giesel, ofrece dos bandas rojas, una raya en el azul-verde y dos líneas débiles en el violeta.

La reacción espectral del radio es de gran sensibilidad. Pero el método eléctrico es mucho más eficaz, permitiendo descubrirlo en cuerpos cuya radioactividad sea una millonésima parte de la del urano.

Runge y Precht asignan al radio un peso atómico de 257,8. Mad. Curie lo fija en 225, cuya cifra es la generalmente aceptada.

Ordenando los cuerpos simples según su peso atómico, se obtiene un sistema periódico de elementos, en que las sustancias de propiedades análogas tienen colocación vecina en la escala; notándose lagunas ó vacíos que deben corresponder á cuerpos aún no conocidos. Precisamente no se conocían cuerpos del peso atómico del radio, del torio 232, y del urano 238, siendo además de notar la aproximación en peso de estos tres cuerpos de propiedades tan semejantes. En la tabla de Mendeléef se coloca el radio en el grupo de los alcalinotérreos, bario, estroncio, calcio, juntamente con el urano y el torio.



La importancia especial del radio se debe, no á sus caracteres físico-químicos, sino á sus propiedades radioactivas. La actividad del bromuro de radio puro, el cual ofrece en su grado máximo la energía radioactiva, es según Mad. Curie de 1.800,000 U.

### Energía radioactiva.

Los cuerpos radioactivos son origen casi inagotable de energía, la cual se exterioriza por la emisión de rayos especiales, de energía luminosa, química, calorífica, eléctrica mecánica y por emanaciones gaseosas. En el urano, torio y radio la emisión parece constante, inagotable; ha de sostenerse durante muchos siglos; en el polonio y actinio se ha de perder en algunos años.

Los cuerpos radioactivos tienen además el poder de transmitir su actividad á los que le son próximos.

La radioactividad de un cuerpo se mide por el método radiográfico, utilizando su acción sobre la placa fotográfica; por el fluoroscópico, en virtud del poder que tienen de provocar la fluorescencia y la fosforescencia de ciertos cuerpos; por el eléctrico, midiendo la conductibilidad adquirida por los gases bajo la influencia de la sustancia radioactiva, y determinando la corriente de saturación ó corriente límite del aire á la presión ordinaria; hacer el aire conductor es ionizarlo. Los dos primeros son los más sencillos y menos exactos; basta para ellos una cámara obscura y una placa fotográfica sobre la cual se ha de colocar el cuerpo supuesto radiactivo, ó una pantalla fluorescente. El método eléctrico es mucho más exacto. Mientras la Química no ha logrado medir con la balanza cantidades inferiores á una centésima de milígramo, y el análisis espectral á una millonésima de milígramo, el electroscope permite apreciar cantidades de sustancias radioactivas 150.000 veces menores que el último. La acción fotográfica nos permite descubrir con gran facilidad, aunque con menor precisión, los cuerpos radioactivos. Estos tres métodos no son concordantes porque absorben desigualmente la radioactividad. No entra en mi plan el estudio de estos procedimientos.



### Energía radiante.

Los rayos emitidos por las substancias radioactivas se propagan en línea recta, no se reflejan ni se refractan, ni se polarizan, atraviesan con desigual poder los cuerpos opacos, son disociados y desviados por un campo magnético ó eléctrico, de igual modo que un rayo de luz blanca es descompuesto y disociado por el prisma. Por su diversa naturaleza y composición, por su diverso grado de penetrabilidad, especialmente por los efectos del campo magnético han sido divididos por Giesel, Meyer y Schweidler desde 1899 en tres grupos desiguales, designados por Rutherford rayos  $\alpha$   $\beta$  y  $\gamma$ , nombres de las tres primeras letras del alfabeto griego.

Para disociarlos se coloca un fragmento de radio en la cavidad de un pequeño bloque de plomo entre los dos polos de un electro-imán. Los rayos  $\alpha$  se desvían hacia la izquierda con poca intensidad; su penetrabilidad es escasa. Los  $\beta$  obedecen mejor al campo magnético; se desvían hacia la derecha con mayor intensidad; su radio de curvatura es mucho menor aunque desigual; son mucho más penetrantes. Los  $\gamma$  no obedecen á la acción magnética; no se desvían; son los que atraviesan los cuerpos con mayor poder.

De esta simple enumeración se desprende la gran analogía de estas radiaciones con las emitidas por el tubo de Crookes, y la necesidad de admitir la hipótesis de este último autor sobre la naturaleza corpuscular de los rayos  $\alpha$   $\beta$  y  $\gamma$ . Su diverso grado de penetrabilidad, su absorción gradual y su detención por los cuerpos opacos, así como su desviación electro-magnética no se explican bien sin considerarlos como verdaderos proyectiles, animados de cierta velocidad, portadores de carga eléctrica positiva ó negativa. Según Mad. Curie la proporción de las diferentes clases de rayos en la radiación total del radio sería respectivamente de 60, 30 y 10 por 100 para los  $\alpha$   $\beta$  y  $\gamma$ .

La emisión de las tres clases de rayos corresponde exclusivamente al radio. El polonio emite solo rayos  $\alpha$ ; el urano y el torio  $\alpha$  y  $\beta$ ; el actinio  $\alpha$   $\beta$  y probablemente  $\gamma$ . En nuestro estudio nos referiremos siempre al radio, estudiando sus radiaciones bajo el punto de vista de su desviación por el campo magnético, de su masa, de su carga eléctrica, de su penetrabilidad y de su naturaleza.



**Rayos  $\alpha$ .**—Bajo la acción de campos eléctrico ó magnético muy poderosos se desvían ligeramente hacia la izquierda describiendo curvas de radio muy largo. Al principio se les consideró indiferentes á aquellas fuerzas de atracción; pero Rutherford logró probar y medir su grado de desviación. Recientemente O. Wigier (1) ha demostrado la existencia de rayos  $\alpha$  no desviables.

Para explicar la existencia de los rayos  $\alpha$  supone Soddy que representan partículas primitivamente neutras, que adquieren su carga positiva expulsando un electron negativo, al chocar con otros cuerpos. Generalmente se les considera formados de partículas muy pequeñas, de la magnitud de un átomo de hidrógeno, cargadas de electricidad positiva, con velocidad de 15.000 kilómetros por segundo. Son menos desviables que los  $\beta$  porque la masa es 2.000 veces menor en estos últimos; y siendo la carga igual resultan los  $\alpha$  con carga relativa 2.000 veces menor, por cuya causa obedecen menos á las fuerzas electro-magnéticas. La igualdad de carga eléctrica de todos los corpúsculos positivos ó negativos, comprobada por Thomson en los iones electrolíticos, en los catódicos, así como en los rayos de radio, cualquiera que sea la cantidad de masa de los mismos, es un hecho notable, que conduce á la admisión del átomo de electricidad ó electron. La emisión de partículas de tan escasa cantidad de masa por cuerpos de tan elevado peso atómico es una de las propiedades más sorprendentes de los cuerpos radioactivos.

Los rayos  $\alpha$  son homogéneos, igualmente desviables (si prescindimos de la afirmación de Wigier), de la misma naturaleza que los rayos anódicos, ó rayos canales de Goldstein, que se dirigen hacia el cátodo del tubo de Crookes, atravesándolo si está perforado, producidos por idéntico mecanismo. Los gases enrarecidos del tubo de Crookes se descomponen, se ionizan bajo la influencia de la corriente eléctrica, formándose iones con carga eléctrica negativa, electrones negativos, rayos catódicos; iones con carga eléctrica positiva, electrones positivos, rayos anódicos. Los cuerpos radioactivos, en su disgregación molecular, emiten partículas con carga positiva, electrones positivos, rayos  $\alpha$ , de origen y naturaleza igual á los rayos anódicos ó rayos canales de Goldstein y partículas con carga negativa.

---

(1) Caractéristique des rayons  $\alpha$  y  $\beta$  du radium.—Le Radium 15 Febrier 1906.



En la hipótesis balística de Crookes y J. Thomson los electrones positivos y negativos obran á la manera de los proyectiles, cuya penetrabilidad en los cuerpos, dependiendo de su volumen, carga y velocidad, es naturalmente menor en los rayos anódicos y en sus análogos los  $\alpha$ , que tienen masa grande, carga y velocidad relativamente pequeñas.

Considerando, pues, estos rayos como proyectiles cuya masa, carga y velocidad son del orden de magnitud de los átomos de hidrógeno en la electrolisis, se comprende bien su número, su energía y su grado de penetrabilidad. En las evaluaciones de Wien, Rutherford y Mac. Clung, el número de electrones negativos, ó de partículas constitutivas de rayos  $\alpha$  alcanza de 80.000 á 100.000, y su energía de 350.000 á 440.000 pequeñas calorías por segundo-gramo; cuyas cantidades son naturalmente menores en el urano y en el torio, de actividad muy inferior. El poder de penetración es pequeño á causa de su masa enorme relativa. Una capa de aire de 7 centímetros los absorbe totalmente. Una lámina de aluminio de 0.0034 mm. detiene el 48 por 100 de los mismos; aumentando su espesor hasta 0.0238 mm. se les llega á detener totalmente. La penetrabilidad de los rayos  $\alpha$  á través del aire y de otros cuerpos está en razón inversa de la densidad de éstos. El cristal los detiene.

La naturaleza corpuscular de los rayos  $\alpha$  recibe demostración objetiva en el aparato de Crookes llamado spintariscopio. Se compone de un tubo cilíndrico, cerrado en una de sus extremidades por una pantalla de sulfuro de zinc de Sidot, y en la otra por una lente poderosa. Por delante y á pequeñísima distancia de la pantalla, suspendido de un hilo metálico, se coloca un milígramo de sal de radio. Mirando á través de la lente, en plena obscuridad, se ve sobre la pantalla, después de cinco minutos, un centelleo de diminutos puntos luminosos, especie de estrellas brillantes que aparecen y desaparecen sin cesar, debidas al choque sobre la misma de esta especie de proyectiles, de estos electrones positivos que representan los rayos  $\alpha$ . Los puntos brillantes son como los impactos de los proyectiles sobre el blanco. El mismo fenómeno se produce sobre pantallas de platino-cianuro de bario, de sulfato de uranylo y de potasio. Una corriente de aire no ejerce acción sobre el fenómeno; pero la interposición de una lámina de cristal, aún muy delgada, lo impide. De ser cierta esta explicación, asistiríamos á manifestaciones individuales del átomo. En opinión de Becquerel el centelleo se debería á



la fractura (clivage) de los cristales de la sustancia fluorescente; porque frotando entre dos láminas de cristal partículas de platino-cianuro ó de otro cuerpo cristalino fluorescente se reproduce el fenómeno.

---

**Rayos  $\beta$ .**—Como los rayos catódicos, de cuya naturaleza participan, se desvían fuertemente hacia la derecha por la acción de los imanes, conducen carga negativa y representan los electrones negativos del tubo de Crookes. Su grado de penetración y de desviación muy superior al de los rayos  $\alpha$ , es, sin embargo, variable. Las trayectorias son circulares, aunque de muy distinto radio. Así pueden impresionar placas fotográficas situadas por debajo y detrás del punto de emisión. Los más desviados son los menos penetrantes, aproximándose en este sentido á los  $\alpha$ , según demostró Becquerel; son detenidos por una lámina de aluminio de algunas centésimas de milímetro de espesor. Los de radio más largo atraviesan láminas de plomo de varios milímetros. En general los rayos  $\beta$  son mucho más penetrantes que sus análogos los catódicos.

Si se proyecta sobre una placa fotográfica un hacesillo de estos rayos, sometido á la acción del campo magnético, se obtiene un verdadero espectro de rayos  $\beta$ , de distinto grado de desviación.

El número de estas partículas ó electrones es de 25.000 por segundo-gramo, cuatro veces inferior al de los rayos  $\alpha$ . Su masa 2.000 veces inferior á la del átomo de hidrógeno. Su carga eléctrica es negativa, de igual magnitud que la de los rayos  $\alpha$ . Se componen, pues, como los corpúsculos catódicos, de partículas ó proyectiles extremadamente pequeños, de carga enorme, iones ó electrones negativos, animados de una velocidad comprendida entre 60.000 k. y 283.000 k. por segundo, según la clase de ellos, cuya velocidad y fuerza de penetración se explican por la enorme desproporción entre su masa y su carga eléctrica. Nacen según Rutherford de una especie de explosión de los corpúsculos del radio.

El radio emite, pues, electricidad positiva y negativa. Es el primer ejemplo de un cuerpo que se carga espontáneamente de electricidad. Encerrado desde algún tiempo en ampolla cerrada deja pasar, con los rayos  $\beta$ , la electricidad negativa, y retiene la positiva de los rayos  $\alpha$ , cargándose á tensión muy elevada. Si entonces, á ejemplo de Mad. Curie,



se adelgazan con una lima las paredes de la ampolla, se produce una descarga, y se rompe aquella por la considerable tensión eléctrica á que está sometida.

---

**Rayos  $\gamma$ .**—Fueron descubiertos por Villard, no se desvían por los campos eléctrico ni magnético, no conducen cargas eléctricas, ionizan muy ligeramente el aire, tienen tal poder de penetración que atraviesan láminas de hierro de 30 centímetros, ó de plomo de 6 centímetros. Como no se difunden, ni se desvían, y son muy penetrantes, impresionan la placa fotográfica con limpieza, pero sin intensidad, á causa de su escaso número.

Nada se sabe acerca de su naturaleza. No deben estar formados por partículas materiales en vista de su gran penetrabilidad á través de los cuerpos, y de su indiferencia á las acciones eléctrica y magnética. Es probable que nazcan del choque de los electrones negativos ó rayos  $\beta$  con la materia circundante, como los rayos de Roentgen nacen del choque de los catódicos en las paredes del tubo de Crookes; representando movimientos ondulatorios del éter, en forma de ondas electro-magnéticas aisladas y solitarias, esto es, series irregulares de ondas, en vez de las ondas regulares y sucesivas que representan la luz. Así se explica la producción de rayos X, de los cuales sólo difieren los  $\gamma$  en la fuerza y en el origen ó causa del impulso del éter.

En resumen, los rayos de radio son comparables á los que emergen del tubo de Crookes. Los  $\alpha$  á los anódicos ó rayos canales de Goldstein, con la diferencia de que estos últimos sólo recorren distancia de algunos centímetros en el vacío, y aquellos al aire libre y á la presión atmosférica. Los  $\beta$  á los catódicos, aunque éstos atraviesan con dificultad láminas de aluminio de 0.004 mm. y se extinguen rápidamente en el aire, mientras aquéllos atraviesan láminas del mismo metal de 0.1 mm. y son perceptibles en el aire á más de dos metros de su punto de emisión. Por último, los  $\gamma$  á los de Roentgen, si bien estos últimos son detenidos por hojas de plomo de 1 ó 2 mm. y aquéllos atraviesan cinco ó seis centímetros de la misma sustancia. La intensidad de las radiaciones  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  en lo que se refiere á su poder de penetración se reduce á la milad, según Rutherford, con pantallas de aluminio respectivamente de 0.003, de 0.5 y de 80 mm.



**Energía luminosa. Luminiscencia.**—Todos los compuestos de radio y bario radíferos son espontáneamente luminiscentes; los de bario son más activos que los de radio. La humedad hace perder á estos cuerpos energía luminosa; la desecación se la devuelve. La intensidad luminiscente es proporcional y está en relación con la energía radioactiva. Las soluciones radioactivas poseen también, aunque en menor grado, esta propiedad. La luminiscencia de los cuerpos radioactivos se descubre bien á media obscuridad, á la luz del gas, y especialmente en la obscuridad completa, en la cual permiten la lectura. En algunas sales de bario radífero el color y la intensidad de la luz varían con el tiempo, adquiriendo tinte violáceo y disminuyendo de energía. Disolviéndolas y desecándolas por evaporación ganan su intensidad y color primitivo. El bromuro de radio puro no es luminoso.

La luminiscencia es debida según Bary á la acción de los rayos de Becquerel sobre las sustancias extrañas fosforescentes de los compuestos de radio. Por eso es luminiscente el bromuro de bario radífero y carece de esta propiedad el de radio puro; los rayos emitidos por la parte de radio provocan la fosforescencia de la parte de bario. MM. Huggins atribuyen la luminiscencia, al menos en parte, á descargas eléctricas del radio sobre el aire circundante. La luminiscencia de las sales de radio difiere de la fosforescencia de ciertos cuerpos en que aquella emana de toda la masa y ésta sólo de la superficie de los mismos.

MM. Huggins han examinado al espectro esta luz encontrando bandas fuertes y débiles. Aquellas ofrecen los mismos caracteres que las producidas por la luz del ázoe sometido á descargas eléctricas; serían debidas á las aludidas descargas eléctricas de los cuerpos radioactivos. Las bandas débiles se explicarían según la hipótesis de Bary.

Los compuestos de radio son el primer ejemplo de cuerpos espontáneamente luminosos.

---

**Fluorescencia. Fosforescencia.** — En la fluorescencia el efecto luminoso cesa al separar el cuerpo que lo produce; en la fosforescencia persiste algún tiempo.

Todos los cuerpos radioactivos pueden provocar la fosforescencia y la fluorescencia. Mad. Curie descubrió primero la que ejerce el polonio y el radio sobre la pantalla de platino-cianuro de bario. El fenómeno es



más general, y todos los cuerpos sensibles á los rayos X lo son á los de Becquerel. Figuran en primer término los metales alcalinos y alcalino-térreos; el litio, sodio, potasio, rubidio, cesio, magnesio, cálcio y estroncio. También lo son el cuarzo, el cristal, la villemita (cristal de silicato de zinc natural) el sulfuro de zinc de Sidot y el diamante, y por último algunas sustancias orgánicas como el algodón y las sales de quinina. En algunos cuerpos el fenómeno es particularmente intenso, y da á los cuerpos impresionados color especial: en el platino-cianuro de bario es verde: en el de potasio azul: en la kunzita rojo-salmón. [En el orto-silicato de zinc la fosforescencia persiste durante 24 horas. Una sal de bario radífero de 300.000 U. impresionó esta sustancia á distancia de 100 pies (Kunz y Bakerswille). La fosforescencia provocada en el sulfuro de zinc es tan intensa, que se ha utilizado para la construcción del spintariscopio, y para la demostración de la hipótesis balística de Crookes. La intensidad del fenómeno depende además de la energía de la sustancia radioactiva: una sal de radio muy activa ilumina la pantalla de platino-cianuro de bario á dos metros de distancia, aún á través del cuerpo humano. En la producción de los fenómenos de fluorescencia y fosforescencia intervienen las tres clases de rayos. Algunos de ellos ejercen sobre determinada sustancia acción especial; tal sucede con los  $\beta$  en la villemita y platino-cianuro de bario, y con los  $\alpha$  en el sulfuro de zinc.

Los cuerpos fluorescentes y fosforescentes adquieren coloraciones especiales bajo la acción prolongada de las sales de radio, al mismo tiempo que pierden en parte aquellas propiedades. El cristal se colora en violeta, amarillo, gris; el cloruro de sodio en anaranjado; el de potasio y el platino-cianuro de bario en violeta; el sulfato doble de urano y de potasa en amarillo; las sales alcalinas en amarillo, violeta, verde ó azul; el cuarzo transparente en ahumado; el topacio incoloro en amarillo-anaranjado. Estas coloraciones desaparecen en el cristal bajo la acción de temperaturas de  $500^{\circ}$ , y en el platino-cianuro de bario bajo la influencia prolongada de la luz. La descoloración se acompaña de la emisión de luz. Este fenómeno llamado *termoluminiscencia*, es propiedad de algunos cuerpos como la fluorina, que la pierden gradualmente por calentamiento sucesivo, y la ganan de nuevo por descargas eléctricas, ó por la acción del radio. El fenómeno de que se trata es según Villar de orden químico; debería á la oxidación del manganeso, á la modificación de las sales de plomo y de sodio.



**Energía química. Acción fotográfica.**—Se sabe poco aún de la acción química de los cuerpos radioactivos. El radio transforma el oxígeno del aire en ozono con producción notable de energía; á la producción de ozono se debe también el color amarillento y la destrucción que experimenta el papel. El radio en sustancia ó en solución descompone el agua en sus elementos componentes, oxígeno é hidrógeno; un gramo de bromuro de radio, provoca desprendimiento de 10 cc. de oxígeno é hidrógeno en 24 horas. Las modificaciones de color que experimentan los cuerpos fluorescentes y fosforescentes son también manifestaciones de esta energía. Por último esta acción química se revela en la transformación del fósforo blanco en rojo; en la formación de calomelanos á espensas de la solución de ácido oxálico y de bicloruro de mercurio; en la reducción del cloruro mercúrico á mercurioso; en la descomposición de los cloruros, bromuros, y del ácido yodídrico dejando en libertad el cloro, el bromo y el yodo; en la del yodoformo con precipitación del yodo, y en la del ácido nítrico con desprendimiento de vapores nitrosos.

Entre las acciones químicas la más importante es la fotográfica ó radiográfica. Como la luz y los rayos X, los rayos de Becquerel impresionan la placa fotográfica, reduciendo las sales de plata de la placa. En el sitio de la misma correspondiente al cuerpo opaco interpuesto deja de reducirse la sal de plata, resultando reproducida la imagen de aquél. El procedimiento es más simple, pero menos brillante, de modo que sin nuevos perfeccionamientos, que son de esperar, el radio no puede sustituir á la ampolla de Roentgen, ni se le puede considerar como la *edición de bolsillo* de la última.

La distancia y el tiempo de exposición influyen en estas radiografías en diverso sentido. A corta distancia ó utilizando cuerpos que, como el polonio, sólo emiten rayos  $\alpha$  la exposición ha de ser breve, porque dichos rayos representan la mayor parte de la radiación; las imágenes son limpias, bien limitadas. A mediana distancia dejan de aprovecharse los  $\alpha$ ; los  $\beta$  y  $\gamma$  menos numerosos y más penetrantes exigen mayor tiempo de exposición; las imágenes son más desvanecidas, menos limpias por la gran difusión de los  $\beta$ . Desviándolos con un electro-imán, ó colocando la placa á distancia mayor de dos metros utilizamos sólo las  $\gamma$ ; la imagen es limpia y precisa, pero la exposición ha de prolongarse más de 24 horas, á causa de la gran penetrabilidad de estos rayos, capaces de atravesar



seis placas superpuestas. En todo caso la intensidad de la imagen aumenta con el tiempo de exposición. Para radiografiar un portamonedas necesitó Mad. Curie una hora con distancia de 20 centímetros, y 24 con distancia de un metro. Adicionando á la sal radífera sulfuro de zinc fosforescente, la imagen gana en intensidad aunque se abrevie la exposición. Los metales que, á excepción del aluminio, son muy opacos para los rayos de Becquerel se radiografían bien. Los huesos, que se dejan atravesar tan fácilmente como las partes blandas, no se distinguen bien en estas radiografías.

La plata, el zinc, el agua, el azufre, la parafina, el cuarzo, y el espató de Islandia ofrecen poca resistencia. En general la intensidad de la acción radiográfica aumenta con la energía de la sustancia radioactiva, con la duración de la exposición y con la aproximación de la placa.

Se obtienen radiografías eléctricas (V. Gabritschevski) colocando los objetos sobre la superficie de una lámina de ebonita electrizada, exponiéndolos por 10 ó 15 minutos á la acción del radio, y cubriendo luego la superficie con polvos de azufre y minio. Las imágenes son muy limpias, especialmente, si los objetos están en íntimo contacto con la superficie electrizada.

El método fotográfico representa el más sencillo y práctico para el descubrimiento de las sustancias radioactivas.

También se le ha propuesto para el examen de los combustibles minerales (Talberg) y para el reconocimiento de las piedras preciosas, mucho más transparentes para los rayos de Becquerel que las falsas. En Medicina es aún de poca utilidad y muy inferior en eficacia al de Roentgen.

---

**Energía calorífica.**—Toda partícula material en movimiento transforma éste, al ser detenida en su marcha, en vibraciones moleculares imperceptibles á nuestro nervio visual, pero apreciable por los nervios sensitivos en forma de calor. El calor que desprenden las sustancias radioactivas es por consiguiente simple transformación de la energía de movimiento en energía calorífica de las partículas materiales representativas de los rayos  $\alpha$  y  $\beta$ .

El desprendimiento espontáneo y continuo de calor, propiedad notabilísima de los cuerpos radioactivos, ha sido demostrado por Curie, Laborde y Dewar por diversos procedimientos.



Colocando dos termómetros de mercurio en dos termo-aisladores de Arsonval, uno de los cuales contiene 70 centígramos de radio y el otro un cuerpo inerte, el termómetro del primero acusó constantemente una temperatura superior de 3°. El calor desprendido del radio pone en ebullición un gas líquido, como el aire ó el hidrógeno; 70 centígramos de bromuro de radio provocan el desprendimiento de 73 c. c. de gas hidrógeno por minuto. Con el calorímetro de Bunsen y con el método eléctrico han apreciado Mad. Curie y Laborde la producción de 100 pequeñas calorías por hora y gramo de bromuro de radio. Siendo el peso atómico del radio 225, el átomo-gramo debe producir cada hora 22.500 pequeñas calorías, cantidad igual á la producida por la combustión del átomo-gramo de hidrógeno. El desprendimiento de calor es independiente de la temperatura; se produce de igual modo al rojo que á  $-253^{\circ}$ . Para explicar la emisión espontánea de calor es necesario admitir con Huggins transformaciones del átomo de radio en otros cuerpos y productos radioactivos, rayos, emanación, helium, causas de calor como todo cambio de materia. En la producción de calor ejercen principal, casi exclusivo papel los rayos  $\alpha$ ; pues si bien Rutherford y Barnes han hecho ver que la producción de calor corresponde á todas las manifestaciones de la radioactividad, aquellos rayos, por su abundancia y por el bombardeo molecular de la materia, ejercen acción dominante en la producción del fenómeno. Paschen afirmó por el contrario que la emisión de calor se debía casi exclusivamente á los rayos  $\gamma$ . Pero Rutherford y Barnes han demostrado que los fundamentos experimentales de esta afirmación son erróneos, como el mismo Paschen ha reconocido después.

De la enorme energía calorífica del radio se puede formar idea por los siguientes cálculos de G. Claude: Una bala de fusil con la mezquina velocidad de 500 metros por segundo se funde al chocar con un obstáculo, por la transformación de la velocidad en calor; los corpúsculos  $\alpha$  de masa relativamente grande caminan con velocidad de 15 á 20.000 k. por segundo, y el desprendimiento de calor crece en proporción del cuadrado de la velocidad. El bromuro de radio funde por hora su peso de hielo. Y como para fundir un kilógramo de hielo se necesitan 80 calorías, el radio desarrollaría por año 870.000 calorías; energía equivalente á la desarrollada en una hora por 1.400 caballos. La reacción química más enérgica que conocemos, la mezcla de dos partes de hidrógeno con una de oxí-



geno, el llamado gas fulminante, desarrolla dos calorías por c. c. La energía acumulada en un centímetro cúbico de radio, desprendida totalmente en un momento, igualaría á la de una tonelada de la más poderosa materia explosiva (Papius). Un kilogramo de radio pondría en libertad durante su existencia 20 trillones de kilográmetros de energía ó 750 millones de caballos-hora, sin perder de su peso más que una milésima cada cincuenta años, necesitando para su extinción total un período de 50.000 años. ¡Cuán sorprendentes aplicaciones podrán hacerse de esta colosal energía cuando las sustancias radioactivas representen un producto de abundancia y precio ordinarios!

---

**Energía eléctrica.**—Los cuerpos radioactivos son origen espontáneo y continuo de electricidad. Lo demuestra de modo sencillo y elegante el aparato de Strutt (1). Por la misma condición descargan los cuerpos electrizados: Un electroscope cargado se descarga rápidamente bajo la influencia del radio, porque éste ioniza el aire que envuelve al aparato, es decir, disminuye la resistencia que opone el aire al paso de la corriente. Si obra el radio sobre un espacio de aire de tal valor que dos potenciales no puedan igualar, salta la chispa bajo la influencia de aquél; el paso de la corriente es favorecido por los rayos de Becquerel, que ionizan el aire haciéndolo conductor. En la producción del fenómeno intervienen los rayos  $\alpha$  y  $\beta$ . La ionización del aire tiene lugar aunque se incluya el radio en una caja de plomo ó se desvíen los  $\alpha$  por un electro-imán. En igualdad de espacio de dos potenciales diferentes la chispa salta en aquel á que se aproxima el radio. La descarga del electroscope es más lenta ó no se realiza aislándolo convenientemente con buenos dieléctricos, láminas espesas de plomo, de platino, de parafina, vaselina, etc. En general la descarga de los cuerpos electrizados por las sustancias radioactivas se debe á la propiedad que tienen las mismas de hacer buenos conductores de la electricidad el aire y los gases, es decir, de ionizarlos. En los dieléctricos gaseosos, sometidos á la acción de los rayos de Becquerel, se produce una descomposición ó desdoblamiento molecular en particular llamadas iones, cargadas de electricidad

---

(1) A. Righi. *Theorie moderne des phenomenes physiques*. pág. 72, 1906.



de signos contrarios. La acción ionizante corresponde aunque en desigual proporción á todos y cada uno de los rayos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ .

El término ión y la teoría de la ionización la aplicó el primero Faraday en 1834 á la descomposición electrolítica de los líquidos, para señalar las partículas cargadas de electricidad de signos contrarios que se dirigen á cada uno de los electrodos. Olvidada por completo, se ha restablecido hoy, porque se ajusta exactamente al concepto moderno de los fenómenos eléctricos.

En la ionización del aire ó de los gases, las moléculas de los mismos se desdoblán en iones, electrones, que según su carga se llaman positivos ó negativos. Estos centros electrizados ó electrones vienen pues á ser una pequeñísima cantidad de materia cargada de electricidad, una especie de átomo eléctrico. La carga eléctrica de los electrones en la ionización de los gases es igual á la del ión de hidrógeno en la electrolisis de un líquido. Su valor es de  $3,4 + 10^{-10}$  unidades electro-estáticas. La masa, según hemos dicho antes, igual á la del átomo de hidrógeno en los iones ó electrones positivos, es dos mil veces menor para los negativos. La emisión de partículas electrizadas representa para los cuerpos radioactivos una pérdida indudable de masa, que el cálculo valora, aunque no haya podido demostrarse por el método de las pesadas.

El número de iones producidos en un gas, es decir, la conductibilidad eléctrica del mismo, está en relación con la energía del cuerpo ionizante. Por eso se ha aprovechado tal propiedad para medir la energía de los cuerpos radioactivos y la cantidad de electricidad que la atmósfera contiene.

Como la ionización del aire y de los gases produce la descarga de los cuerpos electrizados, es difícil mantener cargados los aparatos eléctricos en los gabinetes en que se conserva radio, sin rodearlos de cuerpos aisladores, de dieléctricos. De igual modo los juegos eléctricos llamados danza de bolos, repique de campanas, dejan de realizarse en las inmediaciones del radio porque la ionización, es decir, la conductibilidad eléctrica que adquiere el aire los hace imposibles.

Ningún cuerpo es absolutamente radio-aislador. El aluminio, las sustancias orgánicas se dejan atravesar facilmente por las radiaciones; son buenos conductores. El plomo, el platino son buenos aisladores; absorben más facilmente los rayos. Otras sustancias como el sulfuro de carbono, el



aire, el éter de petróleo, el aceite de vaselina, el amileno, la bencina, la parafina que son muy resistentes, pueden adquirir conductibilidad, pueden ionizarse, bajo la influencia de cuerpos radioactivos de gran energía. Así lo ha demostrado Mad. Curie en estas sustancias. Aún los dieléctricos sólidos, el selenio entre ellos, no son en absoluto aisladores, pudiendo adquirir conductibilidad en las mismas circunstancias.

---

**Energía mecánica.**—La energía mecánica ó de movimiento producida por los rayos  $\alpha$ , y especialmente por los  $\beta$  á causa de su pequeña masa y de su enorme carga eléctrica, se demuestra muy bien en el pequeño aparato de Strutt, de movimiento continuo. También se prueba con un pequeño aparato compuesto de dos rails de cristal, sobre los que se coloca una rueda dentada de mica. Proyectando sobre las paletas de la rueda rayos catódicos ó de Becquerel gira en movimiento circular. El bombardeo molecular de las paletas de la rueda pone en acción la energía mecánica del radio. La rotura del tubo cerrado que contiene radio, al adelgazar sus paderes, es otro efecto mecánico debido á la fuerte tensión, que se produce en el mismo, por la retención de las partículas constitutivas de los rayos  $\alpha$ , cargados como se sabe de electricidad positiva; los cuales no pueden atravesar las paredes del tubo y quedan retenidas convirtiéndose en motivo de energía mecánica de tensión.

---

**Emanación.**—Supuso Rutherford, para explicar la radioactividad inducida, que los cuerpos radioactivos habían de emitir constantemente una sustancia muy ténue, especie de gas, á que dió el nombre de emanación. Mad Curie había notado en el comienzo de sus trabajos, que calentando en el vacío la pechblenda daba pequeñas cantidades de productos de sublimación, muy activos, en forma de gas; los cuales, encerrados en tubos de cristal, producían como los cuerpos radioactivos, pero de un modo transitorio, impresión de las placas fotográficas é ionización del aire. Esta especie de gas acusa al análisis espectral las rayas del óxido de carbono. Encontraron además en los productos de sublimación de la pechblenda el helio y el argón. MM. Huggins demostraron posteriormente que el radio produce por disgregación atómica el helio, gas que el sol contiene en gran abundancia, que es más escaso en la tierra, donde en unión del argón.



se le encuentra especialmente en las aguas minerales. De las doce rayas del espectro del radio encontraron cinco comunes al helio. Hoy se admite sin discusión que el torio, el radio, el actinio y el radio-torio, producen constantemente emanaciones cuyo término final, cuya última transformación, es el helio; los productos de transformación, conservando en todo ó en parte radioactividad, representan cuerpos de composición físico-química diferente de aquellos de que proceden, ofreciéndonos nuevas sorprendentes propiedades de los cuerpos radioactivos.

La emanación posee las propiedades de los cuerpos de que procede. Se difunde y se dilata como los gases siguiendo la ley de Gay-Lussac; pasa de uno á otro reservorio á través de tubos capilares; se condensa á temperaturas de  $-150^{\circ}$  y se vaporiza de nuevo á la temperatura ordinaria. Rutherford y Soddy han demostrado en efecto que, sumergiendo en aire líquido un tubo que encierre aire radioactivo, se condensa la emanación en el fondo del tubo y el aire pierde su actividad; esta reaparece de nuevo bajo la influencia de la temperatura ordinaria. La emanación ofrece pues muchas de las cualidades de los gases, representando un gas inestable, probablemente por su transformación en helio. Pero no se ha podido determinar directamente la presión, el espectro especial y el peso atómico, que demuestren el carácter material gaseoso de la emanación. Además, ésta atraviesa con rapidez y facilidad extraordinarias, mayores que los gases, las fisuras y poros de los cuerpos, y se agota espontáneamente: es inestable. En estas particularidades difiere de los gases.

Los rayos de Becquerel emitidos por la emanación son debidos á que, al destruirse aquella por transformación en helio, deja en libertad rayos, especialmente los  $\alpha$ .

La transformación de la emanación en helio parece indudable. Ramsay y Soddy han demostrado en efecto, que en los gases de una ampolla cerrada que contenga radio, se encuentra helio, según revela su espectro especial; cuya aparición tiene lugar al mismo tiempo que desaparece la emanación. El helio se encuentra en los minerales que contienen radio, torio y actinio, de los cuales se desprende por el calor, como si fuese un producto de transformación de los mismos. Himstedt y Meyer han dado la prueba experimental de esta transformación por dos métodos distintos. En el primero proyectan sobre el radio una corriente de hidrógeno para arrastrar la emanación. La investigación espectroscópica revela al princi-



pio el espectro del hidrógeno; de los dos á los cinco meses comienza á aparecer el espectro del helio, al mismo tiempo que desaparece la fluorescencia producida por la emanación. En el segundo se calienta el radio; la emanación, expulsada por la elevación de temperatura, comienza á transformarse en helio á las dos ó tres semanas, según revela el examen espectroscópico. En los dos métodos se demuestra que la presencia del helio es posterior, sucesiva, y subordinada á la desaparición de la emanación.

Para que esta mudanza tenga lugar es necesario admitir la transformación de cuerpos simples, de los átomos del radio, torio, actinio y radiotorio en emanación, y los de esta en helio; pues estos cuerpos difieren en sus condiciones físico-químicas, en su peso atómico y en su reacción espectral.

Esta transformación atómica, hecho sorprendente hasta ahora desconocido, pues vemos á los cuerpos simples cambiar de composición molecular ó atómica, no quebranta sin embargo el principio de la unidad de la materia, que pareció en grave compromiso en las primeras incompletas investigaciones de los cuerpos radioactivos, si admitimos que el átomo es transformable; que sus transformaciones pueden cambiar radicalmente sus propiedades; que los átomos de los cuerpos simples no difieren por la naturaleza de la sustancia de que se componen, sino por la disposición interna de la misma, por su estructura interior; que el átomo es complejo, una asociación de materia, la materia simple; y esta materia única, común á todos los cuerpos, no será tal vez más que el éter universal.

---

**Radioactividad inducida.**—Con ser tan notables las propiedades de los cuerpos radioactivos hasta ahora examinadas no producen tanta sorpresa, como la muy extraña que poseen de transmitir, de prestar, de inducir su actividad á los cuerpos gaseosos, líquidos ó sólidos con los que se ponen en contacto mediato ó inmediato. Tal propiedad, llamada *radioactividad inducida*, fué descubierta por Mad. Curie. La poseen el torio, el radio, el actinio y el radiotorio, y la transmiten según hemos visto antes á la atmósfera, á las aguas, á los gases desprendidos del suelo y en general á todos los cuerpos.

Todos los cuerpos pueden activarse, con tal que se interponga entre los mismos y el cuerpo activante un gas, el aire por ejemplo. Con la activa-



ción adquieren todas las propiedades de los cuerpos radioactivos; emisión de rayos de Becquerel, de luz, de calor, de electricidad, cuya energía radioactiva puede llegar á 10.000 U. La intensidad de la activación depende de la energía del cuerpo activante y de la extensión de superficie del cuerpo activado. Una corriente de aire la disminuye ó la suprime. Por el contrario llevando el cuerpo activado á un fuerte potencial negativa aumenta considerablemente (Rutherford).

La activación aumenta gradualmente hasta un cierto límite, hasta que el cuerpo activado adquiere una especie de saturación, según leyes fijas, en tiempo que varía según las condiciones de los dos elementos que entran en su producción; cuerpo activante y activado. Comienza á decrecer con la sustracción del cuerpo activante, y desaparece en 28 minutos en los cuerpos activados con el radio, en 36 en los activados con el actinio. Ciertos cuerpos activados repetidas veces, la celuloide, la parafina, el caucho, pierden muy lentamente su actividad, como si hubiesen sufrido una especie de impregnación, pudiendo conservarla 15 ó 20 días. La naturaleza del cuerpo activado no influye en la rapidez, intensidad, ni duración del fenómeno; lo mismo se impresionan las láminas de zinc, de latón, de aluminio, de plomo, que el cristal, el papel, el bismuto, si ofrecen igual extensión de superficie y se someten á la acción del mismo agente activante.

En recinto cerrado, por ejemplo en cajas de plomo ó de zinc, la activación es más activa y más regular por el estado de reposo del aire. La naturaleza y presión del gas contenido en la caja, la posición de los objetos no influyen en la intensidad de la activación; la cual está en razón inversa de la distancia entre los objetos y el cuerpo activante y directa de la energía del último.

Los cuerpos radioactivos en disolución obran con mayor intensidad, porque la división favorece el desprendimiento de la emanación.

La radioactividad inducida se transmite por intermedio del aire, de capa en capa, aún á través de tubos capilares. Deja de producirse el fenómeno si el cuerpo radioactivo está encerrado en tubo de cristal cerrado á la lámpara, ó si se envuelve el uno ó el otro en cuerpos aisladores. Los cuerpos fluorescentes y fosforescentes adquieren luminosidad si se les encierra en cajas de activación. El fenómeno de que se trata no se modifica por influencias físicas, químicas, ni mecánicas.



La radioactividad inducida alcanza al aire de los gabinetes, á los instrumentos y objetos, á las personas, creando entorpecimientos y dificultades para el manejo de los instrumentos de física, especialmente de los eléctricos, que sufren los mismos efectos que si estuviesen bajo la influencia de los cuerpos radioactivos, y se descargan.

La radioactividad inducida depende de la emanación, sin que intervenga en su producción los rayos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ . Por eso no se produce á través de un tubo de cristal cerrado á la lámpara, que deja pasar los rayos reteniendo la emanación; ni actuando con una corriente de aire que arrastra la emanación, sin desviar los rayos; ni interponiendo una delgada lámina metálica que corta el paso á aquélla y no á éstos. En cambio la activación se realiza envolviendo el cuerpo activante en varias hojas de papel que interceptan el paso á los rayos  $\alpha$  y dejan libre el paso á la emanación. Por consiguiente la radioactividad inducida depende de algo material que, procediendo de los cuerpos radioactivos, impregna el aire y se transmite por su mediación á los cuerpos activados. Ese algo no es otra cosa que la emanación.

---

**Inducción al contacto.**—Los cuerpos radioactivos nos ofrecen aún otro orden de misteriosas transformaciones. Si se mezclan soluciones de cuerpos radioactivos con las de otros cuerpos inertes, bismuto, bario, amoniaco, y después de cierto tiempo se disocian ó separan, adquieren los últimos una parte de la actividad de los primeros, que conservan un tiempo variable, y pierden después, al mismo tiempo y en igual proporción que la ganan los primeros, hasta llegar al equilibrio radioactivo. Esto es, que los unos pierden lo que los otros ganan y á la inversa: de modo que en cualquier momento la suma de la actividad de los dos es igual á la del cuerpo de radioactividad propia en estado de equilibrio.

A estos productos radioactivos especiales se les ha denominado con el término general de productos X; así se les llama torio, radio, actinio X. Pero antes de llegar al término final de la transformación ofrecen productos intermedios, variables en número para cada cuerpo, que se llaman por ejemplo actinio, A, B, C, D. Estos productos ofrecen caracteres espectroscópicos diferentes de los cuerpos originarios, y desprenden una especie de emanación, que llaman también emanación X y ofrece cierto caracter material. Proyectándola sobre un hilo de platino se la puede se-



parar en parte por frotación con un lienzo, y en totalidad con arena ó papel de lija. Si el expresado hilo de platino, de tal modo activado, se somete á la acción de soluciones de ácido clorhídrico, sulfúrico ó fluorídrico, más del 80 por 100 de la actividad pasa á la solución; evaporando ésta se obtiene un producto radioactivo concentrado. Aquel depósito superficial y este residuo, ofrecen pues las condiciones de una sustancia sólida. Dichos productos no son la emanación ordinaria porque esta es gaseosa é insoluble en los ácidos citados.

La emanación X difiere en sus caracteres según que proceda del torio, radio ó del actinio, y como éstos puede producir la inducción al contacto.

En esta forma de inducción al contacto el cuerpo activante deposita sobre el activado una sustancia material, de propiedades radioactivas especiales, que cada uno de los cuerpos, según su naturaleza, recibe y conserva en cantidad y por tiempo variable. Estas sustancias son los productos X.

Se vé que los cuerpos radioactivos experimentan transformaciones múltiples y notables. En el radiotorio ha observado Ramsay la siguiente evolución: 1.º Torio inactivo. 2.º Radiotorio. 3.º Torio X. 4.º Emanación del torio. 5.º Torio A. 6.º Torio B. 7.º ¿ ? 8.º Hélio.

---

**Teoría de la radioactividad.** — Entre las muchas teorías que se ha propuesto para explicar la radioactividad, merecen particular atención las dos siguientes.

Según la primera, los cuerpos radioactivos por su elevado peso atómico tendría la facultad de absorber, fijar y transformar en energía, (de igual modo que el cristal transforma en rayos X los rayos catódicos) ciertas radiaciones desconocidas, inaccesibles á nuestros sentidos, que nos envía el sol, como nos envía constantemente radiaciones luminosas, caloríficas y químicas. Esta hipótesis no se apoya en ningún hecho demostrado, y es incompatible con los siguientes fenómenos: El calor espontáneo del radio disminuye por la emisión de emanación: La actividad del urano no decrece en el fondo de una mina de 850 metros (Elster y Geitel); ni ofrece diferencias del día la noche, aunque las radiaciones procedentes del sol deberían ser interceptadas por la tierra (Mad. Curie).

La segunda teoría es la moderna de los electrones. Según esta teoría los



átomos de todos los cuerpos están formados de pequeñísimas partículas cargadas de electricidad, electrones positivos y negativos. El peso atómico depende del número de electrones. Al hidrógeno, el menos pesado de todos, se le calculan 700 por átomo; al radio y al torio, los más pesados, 157.500 y 162.400 respectivamente. Los cuerpos radioactivos por su elevado peso atómico son inestables, son elementos en vías de evolución y de transformación. Sus átomos sufren disgregaciones y descomposiciones continuas, tienden á igualarse en el transcurso del tiempo con los cuerpos de menor peso atómico, perdiendo al mismo tiempo su individualidad y carácter específico. Estas transformaciones, que se realizan por la emisión y pérdida de los electrones respectivos, dan lugar á la formación de cuerpos nuevos, son causa como todo cambio de materia de producción de energía, y han de ocasionar necesariamente pérdida de masa.

La formación á espensas de los cuerpos radioactivos de emanación, de productos X y finalmente de helio, prueban la tendencia de los mismos á convertirse en formas más elementales y definitivas, como habrá sucedido probablemente en los otros cuerpos simples que conocemos. Esta transformación es muy lenta, se realiza en el transcurso de miles de años, y permite á los cuerpos radioactivos una larguísima vida; de 1885 años para el radio, y de 2.000.000.000 para el torio (1). En cada una de esas fases intermedias se aproximan los cuerpos radioactivos, por su peso atómico, á otros cuerpos conocidos: la emanación del radio, de peso atómico 221 (Soddy) al xenón, el radium F. de peso atómico 205 al plomo y al bismuto; siendo probable que el plomo y otros metales comunes posean propiedades radioactivas que no estamos en condiciones de evidenciar.

Estas transformaciones son origen de energía casi inagotable; la emisión de rayos especiales, de calor, luz, electricidad de los cuerpos radioactivos y de los productos de sus transformaciones, es un hecho indudable. El número casi infinito de electrones de los átomos radioactivos hace comprender la enorme cantidad de energía almacenada en los mismos y su emisión casi inagotable.

A esta producción de energía debe corresponder una pérdida de masa, en relación á la emisión de partículas materiales y con la transformación de materia en fuerza. Heydweiler cree haber demostrado experimentalmente una pérdida de peso en el radio de 0,02 miligramos en 24 horas,

(1) J. Soddy. Etat actuel de la radioactivité. Conference faite á la Röntgen Society. Le Radium, juillet 1906.



y explica la actividad de los cuerpos radioactivos por transformación de energía potencial de gravitación en energía de radiación. J. Thomson ha llegado por el cálculo á la apreciación de pérdidas insignificantes de peso en millones de años. Y si Mad. Curie no ha apreciado en cinco años, con balanzas de gran precisión, pérdida de peso en estos cuerpos, débese á que dichas pérdidas son inferiores á las que puede descubrir la balanza.

La radioactividad es por consiguiente la energía liberada en los cuerpos radioactivos por las transformaciones y cambios que en el interior de sus átomos se realizan.

Para aceptar esta teoría y comprender bien los fenómenos de la radioactividad, precisa modificar los conceptos clásicos fundamentales de la fuerza y de la materia.

Esta modificación comenzó en el siglo anterior. Davy dice que si las partículas de gas fuesen puestas en movimiento en el espacio con una velocidad infinitamente grande, se convertirían en materia radiante, capaz de producir las diferentes clases de rayos y las diversas formas de energía. Faraday (1816) expresó la misma idea en distintos términos. Si llevamos, dice, la materia á un estado que diste de la vaporización como esta de la fluidez, con las modificaciones graduales que ha de ofrecer en su densidad, dureza, transparencia, color, elasticidad y forma, al pasar del estado sólido al líquido y de este al gaseoso, podremos pensar en una cuarta forma ó estado de agregación: *la materia radiante*. Al descubrir Crookes, en nuestros días los rayos catódicos, producidos en los gases enrarecidos por el paso de la corriente eléctrica, recordó y empleó la denominación de Faraday, *materia radiante*, para expresar los hechos observados. El descubrimiento del radio ha dado realidad y demostración á la concepción de Faraday.

De la materia radiante, estado ultra-gaseoso, cuarto estado de la materia, se pasó á la existencia de pequeñas partículas ó átomos cargados de electricidad, separados de los cuerpos para ser lanzados en el espacio con una velocidad enorme. Las teorías y los trabajos de Maxwell, Rowland, Herz y Lorentz, nos enseñan que la electricidad está unida á partículas más pequeñas que los átomos, de igual velocidad que la luz, cuya circulación á través de los cuerpos representa la corriente eléctrica, llamadas por Elster y Geitel electrones positivos y negativos, se-



gún la carga que conducen. Larmor y Lorentz conciben la materia formada de sistemas planetarios de electrones que se mueven en una órbita determinada. Si sus condiciones dependiesen exclusivamente de su carga eléctrica, podría aceptarse la hipótesis de la naturaleza eléctrica de la materia. Abraham y Kaufmann aplican más tarde esta hipótesis á la radioactividad, la cual no sería otra cosa que la disociación y descomposición de la materia de los átomos en átomos de electricidad.

La transformación en imponderable de la materia ponderable no es nada nuevo como hipótesis. Ya Lavoissier denominaba fluídos imponderables la luz, la electricidad y el calor, que conceptuaba sustancias materiales aunque de aquella condición.

Para estas nuevas concepciones el átomo es demasiado grosero y complejo. En su interior se realizan disociaciones y combinaciones, orígenes de energía. No es el último límite de división de la materia, sino un agregado de partículas ultra-atómicas. No es eterno sino que, como dice Crookes, ofrece los caracteres de la decrepitud y de la muerte; pero las partículas de que se compone son indestructibles. Estas partículas pequeñísimas, con carga eléctrica enorme, nos llevan, según el último citado autor, á un punto en que la materia y la fuerza parecen confundirse, en que los límites de lo conocido tocan á lo desconocido, pudiendo llegar á la conclusión que la materia no es más que un modo de movimiento. Esta misma idea había sido expresada poco antes por Clifford (1875), al decir, que todo átomo material conduce una carga eléctrica ó no es más que esto último.

Vienen después los estudios de Crookes y J. J. Thomson sobre el paso de corrientes eléctricas á través de gases muy enrarecidos, es decir, sobre los rayos catódicos. Los corpúsculos gaseosos del tubo de Crookes se descomponen bajo la influencia de la corriente eléctrica en iones ó electrones positivos, partículas de masa iguales al átomo de hidrógeno, que conducen carga eléctrica positiva y se dirigen hacia el cátodo; y otros de igual carga eléctrica, aunque negativa, de masa dos mil veces menor, iones ó electrones negativos, de velocidad enorme igual á la de la luz, que se dirigen hacia las paredes del tubo á modo de proyectiles, y engendran al chocar rayos X. Tenemos el átomo disociado, descompuesto; sobre estas pequeñísimas partículas se deposita la electricidad, (como el vapor sobre los corpúsculos del aire para producir la niebla).



formando los electrones ó átomos eléctricos. Así llegó Thomson á la teoría electro-dinámica.

Privado el átomo de su simplicidad, reducido á la condición de agregado complejo de materia, ha sido necesario admitir, que toda sustancia está formada por la asociación ó mezcla distintamente ordenada de un elemento único, simple, último grado de división de aquella, límite entre lo ponderable y lo imponderable, denominado *protylo* ión ó electrón. Concepción prevista ha un siglo por Dawy y Faraday en 1809 y 1819, al suponer el primero la existencia de una sustancia común á todos los cuerpos, y presumir el segundo que las antiguas ideas de la Alquimia, de la reducción de toda materia á un elemento simple era el trabajo de la Química del porvenir.

El error de los alquimistas de la Edad Media, al intentar obtener el oro de los metales comunes, consistió, según Soddy, en querer fabricar el precioso metal con otros de inferior peso atómico. Aunque sus tentativas hubiesen llegado á coronarse del éxito, el gasto del carbón que hubiesen debido consumir para lograr la transmutación hubiese compensado con exceso la consecución de su propósito. Si fuese posible, por transformaciones radioactivas, formar oro á expensas de cuerpos de superior peso atómico, se pondría en libertad tal cantidad de energía, que esta representaría el principal beneficio, quedando la obtención del oro como un producto secundario.

La comunidad de origen de los cuerpos llamados simples, la posibilidad de sus transformaciones recíprocas recibe cierta confirmación en los cambios incesantes de algunos metales raros, del yttrium, cerium, lanthanum, samarium, didymium, neodmium y praseodymium. Muchos cuerpos de espectro complicado, el hierro por ejemplo, aparecen más simples si se les somete á fuertes descargas eléctricas; semejándose según Lockyer á los de la luz de ciertos astros en los que aparecen elementos nuevos por transformación de otros que les precedieron. El helio sería según el mismo autor un elemento de constitución de los astros que, como el hidrógeno, sobresale en las estrellas de temperatura elevada; mientras que en otras de temperatura menor, más apagadas, más viejas, el espectro revela materia más complicada.

Estas ideas justifican el concepto que del átomo ha formado J. Perrín. Los átomos serían sistemas solares en miniatura. En estos sistemas, cier-



los astros, de masa relativamente grande, cargados de electricidad positiva, iones ó electrones positivos, sirven de centros de rotación de otros astros de masa muy pequeña, de igual carga eléctrica aunque de signo contrario, iones ó electrones negativos, separados entre sí por espacios interplanetarios, cuyos electrones forman por su asociación sistemas eléctricamente neutros. Del número de corpúsculos de cada sistema, de su velocidad, carga y distancia del centro de rotación, resultan átomos pesados ó ligeros. En los más pesados las partículas más distantes del centro, menos adheridas, se convertirían al desprenderse en corpúsculos catódicos ó rayos  $\beta$ .

Esta hipótesis explica el elevado peso atómico de los cuerpos radioactivos, generaliza el principio de la gravitación universal á los últimos límites de división de la materia, afirma la creencia en la unidad de composición de todos los cuerpos, y respeta en su esencia, aunque modifica en la forma la actual concepción de los fenómenos físicos.

¿Cómo se forma, el átomo? ¿Cómo se produce la energía? Filipo Ré (1) nos da explicación satisfactoria. Las partículas constitutivas de los átomos, libres en un período anterior formando nebulosas, se han condensado para constituir soles infinitamente pequeños, que se han apagado, revistiendo formas estables en los cuerpos antes conocidos, que conservan su actividad por no haber llegado á su conformación definitiva en los cuerpos radioactivos, siendo su energía potencial, las transformaciones que han de experimentar antes de adquirir formas definitivas, la causa de su actividad y energía.

La evolución de las ideas científicas del último siglo nos permite, según se vé, explicar sin violencia el origen, la naturaleza, las propiedades y el destino de los cuerpos radioactivos.

### **Radioterapia.-Acción fisiológica.**

**Consideraciones generales.**—El estudio de los efectos de los rayos luminosos en sus diferentes modalidades sobre los tejidos y órganos de los seres vivos, sanos ó enfermos, que comenzó con la aplicación de la luz solar, y ha continuado en los diez últimos años con la de los rayos

---

(1) Les hypotheses sur la nature des corps radioactifs Académie des Sciences. 8. Juin 1903.



de Roentgen y de Becquerel ha adquirido importancia no inferior á la de los grandes agentes terapéuticos.

La doctrina de las radiaciones ejerce hoy, en la interpretación de todas las manifestaciones de la energía de la materia, un dominio universal. Las radiaciones luminosas y eléctricas, movimientos ondulatorios del éter universal, cuya identidad de naturaleza demostraron las célebres experiencias de Hertz; los estudios sobre los rayos catódicos, que han puesto fuera de duda su naturaleza corpuscular; el examen de los de Becquerel, que reproducen las diversas formas de los que nacen en el tubo de Crookes, demuestran que en todos ellos hay de común la producción de energía luminosa, calorífica, química y eléctrica. Pero los orígenes, al menos aparentes, de estas múltiples formas de la energía difieren entre sí tanto, que no se les puede asignar á todos ellos igual punto de partida en los movimientos ondulatorios del éter; cuya teoría, atribuyendo un origen común á estas manifestaciones de la actividad de la materia permite afirmar la unidad de las fuerzas físicas.

En la antigua concepción de Newton, *teoría de la emisión*, se explicaban las radiaciones luminosas por la emisión de corpúsculos proyectados en todas direcciones desde el foco de luz. Los estudios de Foucault y de Fresnel sobre las interferencias hicieron abandonar esta teoría, que ha resucitado en los últimos años, para explicar la producción de los rayos catódicos y de Becquerel.

En la teoría de las ondulaciones que sustituyó á la de Newton, dominando hasta ahora en la explicación de los fenómenos físicos, que es necesario respetar para la interpretación de cierto número de ellos, se considera la luz, el calor y la electricidad como simples movimientos ondulatorios del éter; materia imponderable que ha sido necesario aceptar para la explicación de los referidos fenómenos.

Todas estas ondulaciones se transmiten con igual velocidad: 300,000 kilómetros por segundo. Pero la frecuencia y longitud de las ondas difieren y determinan los distintos efectos luminosos, caloríficos, químicos y eléctricos. El espectro de la luz solar comprende desde los rayos infra-rojo hasta los ultravioleta. Los efectos luminosos comienzan con los rayos rojos de 480 trillones de ondas por segundo y termina en los rayos violetas de 790 trillones de onda por segundo. La longitud de onda de estos mismos rayos es inversa: de 620 millonésimas de milímetro para los rojos, y



de 380 millonésimas de milímetro, para los violetas. El color de la luz depende como se vé de la frecuencia y de la longitud de las ondas luminosas. El grado de desviación de la luz en el espectro depende de la longitud de las ondas: el rojo es el menos refrangible: el violeta el que sufre mayor refracción.

Pero la luz ordinaria contiene además de los luminosos los rayos químicos y caloríficos. Los primeros aumentan gradualmente desde el rojo al violeta, adquieren en el ultravioleta el máximo de intensidad y no desaparecen sino al final del espectro químico en los confines del ultravioleta. La frecuencia de las oscilaciones en estos rayos llega á un cuatrillón por segundo. Estos rayos ultravioleta tienen de común con los catódicos y de Becquerel que descargan los cuerpos electrizados, dan al aire conductabilidad eléctrica, y producen la fosforescencia de ciertos cuerpos, transformándose en los mismos de radiaciones invisibles, por lo rápidas, en visibles.

La acción colorífica del espectro comienza muy debilmente en los rayos violeta, alcanza su máximo en el infra-rojo y se extiende en este sentido á mayor distancia que los químicos en el infravioleta. Las longitudes de onda crecen y la frecuencia de las mismas disminuye en el mismo sentido que el calor. Las acciones química, luminosa y calorífica son pues cuestión de longitud y frecuencia de onda.

La electricidad es también movimiento ondulatorio del éter. Los maravillosos estudios del profesor Hertz, precedidos de los de Weber y Maxwell, seguidos de los de Blondlot y Trowige han demostrado la identidad de naturaleza de la luz y de la electricidad. En las ideas de Faraday, precisadas y puntualizadas por Maxwell, el asiento de los fenómenos eléctricos no está en los cuerpos electrizados, sinó en el éter que los atraviesa y recorre; cuyas deformaciones serían para el último la causa de los fenómenos á distancia.

Para la más fácil inteligencia de los fenómenos eléctricos ha sido necesario abandonar la acción á distancia del fluído eléctrico, y atribuir á la electricidad una estructura atómica. La concepción de una estructura atómica de la electricidad se debe á Weber (1871) aunque Helmholtz la amplió y desarrolló mejor. La hipótesis de los electrones ú átomos eléctricos conduce á un nuevo concepto de la materia ponderable, y á un origen común de todos los fenómenos del mundo físico. En las soluciones



electrolíticas, en los gases y en los sólidos la corriente eléctrica es el transporte de electricidad efectuado por los iones. La hipótesis atómica de la electricidad no obliga necesariamente á asignarle una existencia material; se puede suponer por el contrario que «un electrón es simplemente una condición especial y localizada del éter universal,» y las fuerzas recíprocas entre los electrones serían deformaciones elásticas especiales del éter, idénticas á las invocadas en la teoría de Maxwell para dar cuenta de las fuerzas eléctricas entre los conductores. Estas fuerzas eléctricas en los conductores son movimientos de electrones negativos. En la disociación eléctrica el ión negativo al depositarse sobre el ánodo le cede su electrón, esto es su carga eléctrica; el ión positivo al depositarse sobre el cátodo en vez de cederle su electrón positivo le toma uno negativo. La corriente eléctrica consiste pues en el movimiento en un sentido determinado de todos los electrones negativos. Sólo los electrones negativos son transportados, se unen ó separan de la materia ponderable, y vibran en las fuentes de luz.

Las ondas hertzianas son ondas eléctricas lanzadas en el espacio con velocidad de 300.000 kilómetros por segundo, frecuencia de varios centenares de millones por segundo en el aparato de Tesla, de 400 á 500 millones en el de Hertz, de mayor número 50.000.000.000 en aparatos más perfectos: la longitud es de 60 centímetros. La forma de propagación de las ondas eléctricas es igual á la de la luz; para impresionar nuestro aparato visual sería necesario aumentar la frecuencia de las mismas á cincuenta trillones. Como las luminosas, las ondas eléctricas se reflejan, se refractan, se polarizan y sufren interferencias. La teoría de Lorentz y el fenómeno de Zéemam demuestran la identidad de las ondas luminosas y electromagnéticas, y establecen sobre base firme la teoría electromagnética de la luz. Las ondas electromagnéticas de Hertz se convertirían, aumentando convenientemente el número de vibraciones, en ondas luminosas. Un rayo eléctrico es igual á un rayo luminoso. La luz, el calor y la electricidad son movimientos ondulatorios del éter universal y demostración de la unidad de las fuerzas físicas. Las ondas luminosas, caloríficas, químicas y eléctricas son como hermanas de una misma familia.

La extraordinaria frecuencia de las ondas hertzianas ha dado ocasión á dos aplicaciones de la mayor importancia: las corrientes de alta frecuencia y la telegrafía sin hilos. Con el aparato de Arsonval se consigue



hacer pasar á través del cuerpo, sin provocar molestia alguna, corrientes de notables efectos terapéuticos, y de tan extraordinaria frecuencia, que el organismo no tiene sensibilidad para acusar su paso. Un aparato productor de ondas eléctricas de extraordinaria frecuencia, un colector y un registrador de las mismas, constituye lo fundamental de la telegrafía sin hilos.

Los rayos catódicos y de Becquerel no son movimientos ondulatorios del éter; no son de la misma naturaleza que las ondas luminosas y eléctricas. Con excepción de los rayos X y  $\gamma$ , las diferentes radiaciones suministradas por el tubo de Crookes y por los cuerpos radioactivos representan pequeñísimos corpúsculos ultra-atómicos, cargados de electricidad positiva y negativa. Los electrones son fragmentos de materia, aunque representen el último grado de división de la misma, los confines de lo ponderable y de lo imponderable. Son corpúsculos materiales animados de extraordinaria velocidad, que actúan sobre la materia viva, no á la manera de las ondas luminosas y eléctricas, sino como verdaderos proyectiles, que por su número, velocidad y fuerza, dependientes de la pequeñez de su masa y de la magnitud de su carga eléctrica, ejercen sobre aquella poderosa influencia. Son en suma radiaciones que distan de las luminosas y eléctricas, como dista la materia ponderable de la imponderable.

Los rayos X y  $\gamma$ , de naturaleza poco conocida, que no son probablemente partículas materiales electrizadas, porque atraviesan con gran facilidad capas espesas de metal ó de madera, y no se desvían por las corrientes eléctrica ó magnética, representan probablemente un movimiento vibratorio inmaterial, como la luz, el calor y la electricidad, aunque difieren de estos agentes en que no se reflejan, ni se refractan, ni se polarizan. Para el físico inglés Stokes, cada rayo X, por consiguiente cada rayo  $\gamma$ , nace del choque de un corpúsculo catódico ó  $\beta$  contra un obstáculo material; del cual resultan ondas aisladas, solitarias, de igual velocidad que las de la luz, que carecen de las propiedades de las luminosas y de las eléctricas, porque no ofrecen la repetición y periodicidad de las mismas.

Si al hablar de los efectos fisiológicos de las radiaciones prescindimos de su origen, confundiéndolas en una descripción común, es porque aquellos son comunes, no ofrecen diferencias específicas, ó no se ha especializado su estudio para permitir una separación razonada y clara de la acción fisiológica y terapéutica.



«Es maravilloso ver como se funden bajo la influencia de las radiaciones, como la nieve bajo la acción de los rayos solares, los tumores de la micosis fungóide, el cáncer de la piel, el lupus eritematoso é hipertrófico antiguo y rebelde, el acné más tenaz, la tiña favosa, los graves estados caquéticos de los sarcomas y de las leucemias y tantas otras enfermedades reputadas ahora de difícil ó imposible curación (1).

En el método de Finsen, Fototerapia, las radiaciones son suministradas por arcos voltáicos de gran potencia (60 amperios), concentradas sobre la piel y los tejidos subyacentes por lentes de cuarzo. Una corriente de agua circula entre las mismas, para atenuar la acción de los rayos caloríficos. Un aparato compresor, que produce isquemia de las partes enfermas, permite llevar los rayos á mayor profundidad y aprovecharlos más completamente.

En el método de Röntgen, Röntgenterapia, producimos la energía radiante con una máquina electro-estática ó una bobina de Ruhmkorff y una ampolla de Crookes. Las radiaciones procedentes del cátodo, al chocar con el anticátodo se convierten en rayos X ó de Röntgen.

En la Radiumterapia ó método de Curie, el radio, el torio, el urano, el actinio, el radioteluro, los cuerpos radioactivos en suma, emiten espontáneamente, de un modo casi inagotable, sin influencia exterior física ó química, radiaciones poderosas representadas por las tres clases de rayos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ .

Las radiaciones, distintas en su origen, son comunes en sus efectos, los cuales difieren en su intensidad según la cantidad de rayos empleada, la duración de la exposición, la distancia entre el agente radiante y la parte á que se aplica, la categoría de los elementos anatómicos, la especie de los animales, etc.

La aparente contradicción que resulta de provocar los mismos efectos con distintos agentes radioactivos se presta á diversas interpretaciones.

Todas las radiaciones son eficaces. Las más activas son las violetas y ultravioletas. Las sustancias llamadas sensibilizadoras permiten aprovechar mejor la acción fotodinámica que ejerce la luz sobre los fermentos, las bacterias y los elementos anatómicos, acción conocida de antiguo, y confirmada por los trabajos de Finsen y de sus discípulos. Sensibili-

(1) G. Holzkecht. Systematisation des radiotherapies. Le Radium 15 Decembre, 1904.



zando estos organismos con sustancias colorantes, azul, amarillo, violeta, etc., se da actividad á los rayos del espectro del verde al anaranjado, como normalmente la tienen los violeta y ultravioleta. La sangre, por su color rojo, absorbe los rayos químicos; por eso en el método de Finsen se provoca la anemia mediante la compresión, para permitir á los rayos químicos llegar á mayor profundidad. J. Rehns (1) atribuye como Finsen á los rayos ultravioleta la mayor parte de los efectos de la Radioterapia, cuyos rayos ejercen una acción, *fototactismo*, sobre los organismos inferiores, sus secreciones y sus medios de cultivo. Esto mismo confirman las experiencias de Hertel con las radiaciones del magnesio, cuya longitud de onda es de 280 millonésimas de milímetro, sobre diversos organismos inferiores. Los efectos apuntados se deberían á oxidaciones y reducciones, como los que producen los rayos violeta del espectro visible en la sangre de ciertos animales inferiores, y en algunos órganos de los superiores. Goldstein admite que todas las radiaciones en caso de absorción sufren una transformación común en rayos ultravioleta de muy corta longitud de onda, especie de intermediario en la cadena de transformaciones de la energía. G. Holzknecht cree por último que la diferencia de efectos se debe á la profundidad de su acción, y que las diferentes radiaciones son más bien portadoras del ultravioleta. En suma, las radiaciones provocan en los seres vivos idénticos efectos en términos que la Fototerapia, la Röntgenterapia y la Radiumterapia tienen en la Terapéutica un campo de acción común.

Los efectos que producen las radiaciones de Röntgen y de Becquerel en los elementos jóvenes, células y tejidos embrionarios, tejido de regeneración, órganos linfoides, órganos genitales, tumores, etc. se debe á la acción de aquellas sobre la lecitina, tan abundante en el organismo de los animales y de las plantas (2). Esta acción fué descubierta por Schwarz y Schapper (en 1903 y 1904) en huevos de gallina y de batracios en incubación. Werner confirmó estas ideas por otro orden de experiencias. Sometió á la acción del radio ovolectina de Merk, y la inyectó emulsionada en el tejido celular subcutáneo y en el espesor de la piel. En el primer punto no produjo efecto alguno por la pobreza de las células en leci-

(1) Actions physiologique des rayons ultraviolette de tres courte longueur d' onde. Le Radium, 15 Novembre, 1904.

(2) H. Monton. Le Radium, 15 Novembre, 1905.



tina. En el dérmis los resultados fueron tan iguales á los de la acción del radio que en su opinión podría emplearse en sustitución de éste. En este caso se trataba indudablemente de radioactividad inducida. La inyección de otras sustancias (ácidos, álcalis, aceites, sales, pepsina ácida) en la piel de animales testigos no produjo ningún resultado. H. Hoffmann y O. E. Schulz han reproducido estos efectos en la piel de ratas, y han provocado en los testículos de este animal, por la inyección de lecitina radioactiva, las mismas lesiones que ocasionan los rayos de Röntgen y de Becquerel: atrofia del órgano, inflamación intersticial, necrosis de las células epiteliales y obstrucción de los canículos por masas necrosadas.

La lecitina se descompone bajo la acción de las radiaciones en sus productos de disgregación (colina, trimetilamina, ácido fosfoglicérico ó ácido esteárico) que producen los efectos apuntados. Exner y Zdareck, utilizando sólo la colina obtenida por desdoblamiento químico, é inyectándola en la piel, en el testículo y en el peritoneo (órganos linfoides) ha ocasionado en estos órganos los mismos efectos que se obtienen con la lecitina radioactiva y con los rayos de Becquerel. Esto último en vez de invalidar confirma esta manera de obrar de las radiaciones. *Los rayos en presencia del oxígeno destruyen la lecitina de las células, uno de cuyos productos de transformación, la colina, cuerpo básico, obra sobre la célula viva que la contiene, ó sobre las células vecinas, para producir los trastornos observados.*

---

**Radio y generación espontánea.** — Las maravillosas cualidades del radio y de los cuerpos radioactivos han suscitado de nuevo la cuestión de la generación espontánea, condenada á muerte, á mediados del siglo anterior, por los admirables trabajos de Pasteur y de Tyndall.

Burke, director del Laboratorio de Cavendish (1) ha creído producir la vida en tubos de gelatina de buey bien esterilizada, sometidos á la acción del radio, bajo la temperatura de 100°. Aparecen en la gelatina pequeños corpúsculos de apariencia celular, susceptibles de crecimiento, multiplicación y muerte, *materia viva* á los que propone llamar *radioves*. La acción vivificante del radio es inicial; los expresados corpúsculos continúan viviendo por sí solos.

(1) Nature 25 Mai 1905



R. Dubois se ha ocupado del mismo asunto en el discurso de apertura de la Universidad de Lyon (1) llegando á las mismas conclusiones que Burke. Las experiencias de Dubois se hicieron en caldos de cultivo perfectamente esterilizados, bajo la acción del cloruro y del bromuro de radio. Los corpúsculos nacientes, análogos bajo el punto de vista orgánico y funcional al bioproteon ó materia viva, deberían llamarse según Dubois *eobes* (aurora de la vida).

Estas afirmaciones, que pugnan con nuestros actuales conocimientos acerca de la generación de los seres vivos, no han recibido confirmación ni aceptación. Sims Woodhead presume se trata en este caso de formaciones cristalinas, á cuya objeción se habían anticipado Burke y Dubois. W. Ramsay se muestra igualmente incrédulo y explica los hechos observados en hipótesis más satisfactoria. Las emanaciones del radio extremadamente ténues y fugaces, descomponen el agua de la gelatina y de los caldos de cultivo en oxígeno é hidrógeno, y provocan la coagulación de la albúmina. Las burbujas gaseosas, microscópicas, rodeadas de albúmina coagulada, ofrecen apariencias celulares. Al romperse engendran otras más pequeñas que semejan la multiplicación celular, hasta que llegan á desaparecer por aislamiento y evaporación de los gases. Sin nuevas, repetidas y muy concluyentes observaciones, sería muy aventurado admitir conclusiones de tan inmensa importancia.

---

**Acción sobre los vegetales.** — En las experiencias sobre los vegetales se han sometido éstos á cantidades relativamente grandes de sustancias radioactivas, y los efectos producidos han sido de ordinario perjudiciales, destructivos, para la vida de estos seres. Las hojas de las plantas se marchitan y mueren bajo la acción del radio en las experiencias de Giesel. Semillas diversas, berro, mostaza blanca, habichuelas, etc., se esterilizan, ó crecen en formas monstruosas en las observaciones de Matout, Perthes, Naltanson y Koernicke. Estudiando Dauphin la acción del radio sobre los hongos inferiores ha demostrado experimentalmente sobre la *mortierella* la detención del crecimiento micélico, y la suspensión de la vegetación de los esporos. Trasplantados estos hongos á otro medio continúan su crecimiento de un modo normal. Esta acción, común á los

---

(1) Revue des idées, 15 Marzo. 1905



rayos de radio y de Röntgen, se ejerce sobre las primeras raíces, que pierden su almidón en la región terminal. La planta no muere porque se forman nuevos brotes. La acción geotrófica (crecimiento en profundidad obedeciendo á las leyes de la gravedad) y la heliotrófica (atracción por luz) se pierden temporalmente hasta que cesan los efectos de la radioactividad. Estos efectos alcanzan á los vasos, los tejidos y las células vegetales. La cromatina es la principalmente atacada. El núcleo, centro regulador de la nutrición celular, se altera; el citoplasma se modifica secundariamente. Según se podía suponer por analogía con los animales, en las plantas resisten mejor la acción del radio las células vegetativas que las reproductivas ó de generación.

---

**Acción sobre los virus y los fermentos.**—Ciertos fermentos, la invertina, la emulsina y la tripsina pierden sus propiedades fermentativas por la acción del radio (Henri y Meyer). El serum antivenenoso de Calmette, las toxinas de la rabia y del muermo se destruyen igualmente bajo su influencia (Golberg). El veneno de las serpientes sometido por Phisalix á la acción de las emanaciones del radio perdió sus cualidades virulentas. El virus rábico encerrado en tubos sometidos á la emanación perdió en las experiencias de F. Rehns su poder virulento, mientras que las radiaciones, aún las más intensas, se mostraron ineficaces. Hecho contradictorio que necesita comprobación.

Pero lo más importante, en esta materia, son las observaciones y experiencias de Tizzoni y Bongiovanni sobre el virus rábico y sobre la rabia experimental, de los cuales han dado cuenta en una serie de comunicaciones á la Academia de Bolonia (1).

En las primeras experiencias han demostrado, que el virus rábico sometido *in vitro* á la acción del radio pierde sus propiedades virulentas, y adquiere otras vacunantes tan enérgicas que, una gota, y aún un fragmento de gota, introducido en la cámara anterior del ojo de un animal le confiere inmunidad absoluta contra inyecciones subdurales de virus de laboratorio; mientras que los animales testigos mueren en 20 días. En una segunda serie de experiencias en los conejos inyectan bajo la dura madre virus de laboratorio muy activo, y aplican sobre el ojo, mediante

(1) Rendiconto delle Sessioni della R. Academia delle Scienze dell' Instituto de Bologna, 1905-1906.



el aparato de Armet de l' Isle, bromuro de radio de 10.000 U., en sesiones de 8 á 12 horas y tiempo variable, después de la inoculación, de 24, 48, 96 y 120 horas. Es de notar que los medios del ojo no sufren alteración alguna. Todos los animales se salvan; mientras que los testigos perecen á los seis días. Inyectando el virus en diversas partes del cuerpo, para aproximarse en lo posible á las condiciones de la rabia adquirida, y aplicando el radio en sesiones de tres horas, se evitó igualmente la aparición de la enfermedad. Es de advertir que en algunos de los animales sometidos á la acción del radio se habían presentado ya los síntomas de la rabia, caracterizados por fiebre, demacración, pérdida de peso, parálisis de las extremidades, no obstante lo cual curaron. Así pues, en la rabia experimental de los conejos el radio ejerce su acción curativa aún en el quinto día después de la inoculación, en pleno desarrollo de la enfermedad, 24 horas antes de la muerte de los testigos. Los citados autores han demostrado experimentalmente que en la fecha de aplicación del radio el virus había invadido el cerebro y el bulbo de los conejos.

Para averiguar que clase de rayos son los activos han suprimido, en otra serie de experiencias, sucesivamente los  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ . La de los últimos no modificó el resultado; la de los  $\alpha$  influyó poco, mostrándose simples auxiliares: la eficacia principal se debe á los  $\beta$ .

Deduciendo aplicaciones á la especie humana, muy sujetas á error por lo demás, teniendo en cuenta el peso de 1.200 á 1.500 gramos de los conejos, y las 100.000 U. empleadas, se necesitarían para curar la rabia del hombre ejemplares de radio de 4 á 6.000.000 U., que hasta ahora no poseemos.

Las experiencias referidas se practicaron con virus fijo, llamado de laboratorio, mucho más activo que el espontáneo. En otra serie de experimentos se sirvieron de virus tomado directamente del perro, ó indirectamente después de algunos pases por el conejo, el cual tiene menor virulencia y más larga incubación. Los resultados fueron diversos. Los conejos sometidos á tratamiento de los 13 á los 17 días después de la inoculación subdural se salvaron todos; los testigos perecieron de los 20 á los 23 días. Los inoculados bajo la dura-madre y sometidos á las radiaciones en el mismo sitio y al mismo tiempo, en sesiones de 8 á 12 horas, y actividades de 100.000 U. y aún mayores, perecieron sin excepción.

¿A qué se deben estos resultados contradictorios? Probablemente, según



Tizzoni y Bongiovanni, á que la acción del radio se ejerce exclusivamente sobre un período del ciclo evolutivo del virus, el de elementos jóvenes ó toxinas; por la prolongada incubación de la rabia de calle la acción del radio se ha acumulado al llegar á aquél período del ciclo de evolución. Por análogo motivo, porque los elementos adultos resisten á las radiaciones, se muestran éstas ineficaces si se les aplica tardíamente. Los rayos  $\beta$ , á los que se atribuyen los efectos curativos, no obrarían sinó en el momento en que los elementos activos del virus hacen su aparición en el organismo.

Los resultados negativos de las experiencias de Calabresse (1) y de Yvonovi (2), hechas con virus fijo y de calle, pudieran atribuirse á las diferentes condiciones en que se realizaron. No se puede negar sin embargo que las observaciones de Tizzoni y Bongiovanni merecen gran consideración, y hacen vislumbrar la esperanza de curación de una de las enfermedades más terribles, en la cual el método Pasteur exige para el buen resultado condiciones y circunstancias muy especiales.

---

**Acción sobre las bacterias y sobre los organismos unicelulares.**—Multitud de observadores han estudiado la acción del radio y de sus emanaciones sobre las bacterias. La importancia extrema que estos pequeños seres tienen en la vida de los animales y de las plantas, en el estado de salud y de enfermedad, el importantísimo papel que los microorganismos juegan en la Patología humana, nos dan explicación del número verdaderamente asombroso de estudios experimentales, hechos en tan corto espacio de tiempo, á este asunto referentes; cuya completa enumeración sería molesta é innecesaria.

En general puede decirse que los cuerpos radioactivos actúan sobre las bacterias con igual energía que las sustancias antisépticas, y por análogo mecanismo que las radiaciones luminosas, caloríficas, químicas y eléctricas de la Fototerapia y Röntgenterapia. Fuera del organismo, suspendidas en líquidos, ó en medios de cultivos, la mayor parte de las bacterias patógenas mueren, pierden su virulencia por destrucción de sus toxinas, ó no alcanzan más que un desenvolvimiento precario. No siempre los resul-

(1) Riforma Médica núm. 2. 1906.

(2) Academie des Sciences de Bologne, 1906.



tados han sido concordantes, como podía presumirse de la inmensa variedad de condiciones en que dichas experiencias se realizaron. Ni más ni menos ocurre con la acción bactericida de aquellos otros agentes terapéuticos. Citaré algunas, las más importantes, de las experiencias realizadas. Askinas y Caspari han estudiado la acción del radio sobre diversos bacilos. El micrococo prodigioso expuesto á la acción del bromuro de radio, en sesiones de 2 á 4 horas, detiene su desenvolvimiento en las partes expuestas á las radiaciones, y lo continúa en aquellas otras protegidas por delgadas láminas de aluminio, ó por la interposición de capas de aire superiores á seis centímetros. La acción bacterizada se ejercería, según esto, por los rayos  $\alpha$  y parte de los  $\beta$ , que son detenidos por el aire ó por láminas de aluminio. Caspari ha logrado impedir el desarrollo de bacilos tuberculosos, inoculados en la cámara anterior del ojo de cobayas, haciéndoles sufrir la influencia de radio. Hoffmann ha destruído en 24 horas el estafilococo, y en 72 horas la bacteridia carbonosa valiéndose del mismo agente. Werner anuló las propiedades infecciosas de varios cultivos con mayor eficacia que por el calor. Danycz ha confirmado estos resultados en larvas de insectos y en la bacteridia carbonosa, así por el radio como por sus emanaciones. El serum de conejo tratado por el radio adquiere propiedades antitóxicas (Werner), lo cual, de confirmarse, podría ser de gran importancia para la preparación de sueros. Paccinotti y Porcelli, sirviéndose de los rayos de urano, han logrado igualmente detener ó destruir cultivos microbianos de diferentes especies. Jirnow (de San Petesburgo) ha esterilizado con el radio cultivos de bacilo vírgula, de bacilo de Eberth y de la bacteridia carbonosa. E. Dorn, E. Baumann, S. Valentiner sirviéndose de las emanaciones del radio han impedido el desarrollo del bacilo tífico en caldogelosa, y el de otros microbios cultivados en medios sólidos, como el del tífus de los ratones, del vibrión colérico y de la diftéria. Bouchard y Balthazar (1) han anulado el poder cromógeno, el de multiplicación del bacilo fluorescente y piociánico en cultivos sometidos durante cierto tiempo á emanaciones de radio. También han anulado la virulencia del bacilo piociánico *in vitro* por la acción de la emanación, y en inyección intraperitoneal por inyección simultánea de agua activada por emanación del radio. Si la inyección del agua radioactiva se hace dos horas después que la del cultivo resulta ineficaz.

(1) Académie des Sciences, 2 avril, 1906.



M. M. Zuelzer han experimentado la acción del radio sobre diversos protozoarios: *pelomixa palustris*, *actinos phaerium Eichhorni*, *spirostomum ambiguum* y *paaraecium candatium*. Se producen primero vivos movimientos del conjunto, y después aceleración de las corrientes protoplasmáticas. A esta fase de excitación sucede, después de algunos minutos, otra de reposo, durante la cual se hincha, apelotona, inmoviliza y muere. La resistencia varía un poco en estas diferentes especies.

Experimentando con el magnesio, cuyas radiaciones ejercen igual influencia que los rayos de Finsen, de Röntgen y de Becquerel ha obtenido Hertel (1) los siguientes resultados: 1.º Diversas bacterias movibles, *bacterium tiphico*, *vibrión colérico bacterium coli vibrio. Metchnikovi*, *bacilus prodigiosus*, en caldos de cultivo huyen primero, detienen sus movimientos después, y mueren por último en los puntos sometidos á la acción de las radiaciones. 2.º Los protozoarios, infusorios y metazoarios microscópicos (*rotíferos*, *pequeños anelidos*, *larvas de moluscos*) se inmovilizan, detienen los movimientos de sus pestañas vibrátiles, se vacuolizan en sus cuerpos, y se funde todo su organismo. 3.º La cola de larvas de tritón sometida á estas radiaciones durante cinco minutos experimenta tumefacción, detención de la circulación capilar y destrucción de sus células. 4.º Las células vegetales del *elodea canadensis*, de las *oscilarias*, de las *diatomeas*, de ciertas *algas microscópicas* detienen sus movimientos y perecen rápidamente bajo la acción de los rayos ultravioleta. 5.º Los fermentos y las toxinas son también anulados y atenuados como sucede con la *toxina diftérica*, la *amilasa* y el *fermento lab.* Cree Hertel que estos efectos se deben á oxidaciones y reducciones, como las que producen los rayos violeta del espectro visible en la sangre de ciertos animales inferiores, y en algunos órganos de los superiores.

Esta acción tan poderosa de las radiaciones sobre las toxinas y sobre los organismos unicelulares en cultivos, pierde casi toda su eficacia en el organismo. Werner no ha logrado detener con el radio la infección de una herida, ni menos destruirla. Su acción es más bien profiláctica, porque los tejidos sometidos á su influencia son más resistentes contra las infecciones. Las lesiones producidas por el radio, dermatitis, necro-

(1) Zeitschrift. für allgemeine Physiologie. S. 1-4, 3, 1902.



sis, etc. ofrecen una resistencia particular á la infección. Las bacterias, que pueden desenvolverse libremente en su superficie, perecen en su interior. Después de esterilizar la superficie de un fragmento de tejido necrosado por el radio, se le puede introducir impunemente bajo la piel, y coser la herida; el fragmento necrosado se absorbe y desaparece sin provocar supuración. El mismo resultado se obtiene inyectando previamente en el tejido necrosado un cultivo virulento; el tejido sometido á la acción del radio retiene las bacterias, impide su propagación á la vecindad, y las destruye antes de las veinticuatro horas. En suma, las lesiones causadas por el radio ofrecen cierta inmunidad contra las infecciones, probablemente porque la radiación, como la inmunización, da á las células una resistencia especial.

---

**Acción sobre los animales inferiores.**—Las primeras experiencias se deben á G. Bohn (1). Operó con bromuro de radio muy activo sobre embriones de rana, de diversas edades. Los resultados difirieron según la fase de evolución en que actuó el radio: muerte, suspensión, retardo del desarrollo, formación de monstruosidades como la pérdida de la membrana natatoria, el arrugamiento del tegumento, la formación de abolladuras, etc. El retardo del crecimiento puede manifestarse sobre los renacuajos mucho tiempo después de haber cesado la acción del radio, como si bajo su influencia hubiesen adquirido los tejidos propiedades nuevas, que pueden quedar latentes, para manifestarse en el momento en que la actividad normal de los mismos adquiere el máximo de intensidad. La acción del radio se ejerce, según Bohn, sobre la cromatina de las células, de cuya actividad depende la nutrición y el crecimiento de las mismas.

Schapper (2) ha repetido las experiencias de Bohn aplicando los rayos  $\beta$  y  $\gamma$  del radio á los huevos del *R. esculenta*, en las primeras fases de división, y en el momento de la oclusión del tubo medular, sobre embriones de la misma especie de 4 á 8 mm. de largos, y sobre los del *R. fusca* de 15 á 28 mm. En general ha confirmado las experiencias de Bohn. Los efectos son tanto más precoces é intensos cuanto más jóvenes son los

---

(1) L' Année électrique, pág. 286, 1904.

(2) Deutsche med. Wochenschrift. s. 1431-1465, 1904.



embriones. El vitelus, sobre el que actúan más especialmente las radiaciones, se expulsa en parte por el blastoporo, y en parte por erosiones del ectodermo ventral. En embriones de edad más avanzada no se expulsa el vitelus porque ha desaparecido, pero se cubre la piel de erosiones. La acción durante veinticuatro horas de emanaciones de radio sobre embriones de *R. esculenta* produjo los mismos efectos, aunque más tardíos. Perthes ha repetido y confirmado los experimentos de Bohn en los huevos del *Ascaris megalocephala* (parásito del intestino del caballo) observando el mismo retardo del desarrollo, la formación de monstruosidades y la proliferación anormal; el embrión viene á estar constituido por una masa informe de células embrionarias. Schwartz ha hecho sus observaciones en huevos de gallina fecundados, sobre los cuales actuó el radio durante una semana. Aparte modificaciones de la cáscara y de la albúmina, de menor importancia, el vitelus ofrece en el punto preciso de la acción del radio alteraciones de consistencia y de gusto, debidas á la descomposición de la lecitina y á la formación de trimetylamina. Dawidowski ha podido suspender los movimientos de los *paramecios* jóvenes por la acción del radio.

Ciertos seres inferiores, la *planaria lugubris*, la *planaria maculata*, algunos *paramecios* tienen la facultad de regenerar y reproducir partes totalmente separadas del cuerpo. Ch. R. Bardeen, F. H. Bactjer y Schapper han demostrado que los rayos de radio detienen estos procesos de regeneración, actuando sobre las células embrionarias regeneradoras, de igual modo que sobre los óvulos fecundados y sobre los embriones.

Esta acción del radio sobre los elementos celulares y tejidos embrionarios, casi específica, es la base principal de la eficacia terapéutica de aquella sustancia en las enfermedades en que la abundancia de elementos embrionarios, de células no diferenciadas, muy ricas en lecitina, nos dan la explicación de los buenos efectos de este nuevo y poderoso agente terapéutico.

---

**Acción sobre los animales superiores.**— Para averiguar la acción general de la radioactividad de la materia sobre los seres vivos, ideó E. S. Londón ciertas experiencias, que tenían por objeto especial el estudio de los efectos de las radiaciones débiles de la atmósfera, del suelo, del



sol, etc. Comenzó por exponer la piel de varias personas á la acción de 19 miligramos de bromuro de radio, en exposiciones variables de 8 segundos á 10 minutos, averiguando que el tiempo mínimo indispensable para producir una reacción de la piel es de 15 segundos. Después introdujo conejos en cajas cerradas de  $43 \times 41 \times 31$  centímetros, en una de cuyas paredes fijaba 25 centigramos de bromuro de radio muy activo, en experiencias que duraron 18 meses, y exposiciones largas separadas por intervalos de algunas horas á siete días. Murieron dos de los tres conejos, y demostró la autopsia, como hecho general, la atrofia de casi todos los órganos, y la degeneración de las células más importantes, en forma y naturaleza iguales á las que hemos de estudiar en particular. Las condiciones inadecuadas de estas experiencias no permiten sacar deducciones del modo de obrar de las radiaciones débiles.

ACCIÓN SOBRE LOS ÓRGANOS LINFÓIDES Y SOBRE EL APARATO DE LA GENERACIÓN.—La influencia del radio sobre estos órganos no difiere esencialmente de la que ejercen los rayos de Röntgen.

Las experiencias de Heinecke, repetidas y confirmadas en sus resultados por Seun, Krone, Ahrens y Bryant sobre conejos, perros, ratas y otros animales, ocasionaron importantes alteraciones del bazo y de los folículos linfáticos del intestino. Los folículos linfáticos desaparecen, los elementos celulares de la pulpa esplénica se destruyen, aumenta considerablemente el pigmento, el cual, así como los restos celulares es recogido por grandes células fagocitarias; se atrofia el bazo adquiriendo color muy obscuro. Estos fenómenos se reproducen en los tejidos linfóides del intestino, en el timo y en los ganglios linfáticos. En todas partes se descubren destrucciones celulares y fagocitos cargados de sus despojos.

La acción tan notable, casi electiva, de los rayos de Röntgen sobre los elementos embrionarios ha sido el fundamento de su aplicación afortunada al tratamiento de las leucemias, en las cuales ha de ejercer el radio acción análoga favorable si conseguimos aproximar el agente curativo al órgano enfermo.

Seldín ha provocado con el radio, sobre los testículos de conejos y de otros animales, iguales alteraciones que Schomberg y otros con las ampollas de Röntgen: los testículos se atrofian, los espermatozoos desaparecen, perdiendo los animales la facultad de fecundar, aunque conservan la aptitud para el coito. Heinecke ha visto producirse en el hombre la azoosper-



mia por la aplicación de rayos de Röntgen en casos de tuberculosis anal, de prurito y de eritema de esta región.

ACCIÓN SOBRE EL SISTEMA NERVIOSO. — Danycz ha hecho experiencias en conejos y ratones jóvenes, aplicando sobre la columna vertebral ó sobre el craneo tubos de bromuro de radio, en sesiones de algunas horas. En tiempo variable, de algunas horas, según la duración de la exposición y la energía de la sal radífera empleada, se presentan crisis epilépticas, parálisis y la muerte. Los animales adultos resisten mejor, porque los rayos nocivos del radio atraviesan más difícilmente los huesos que los cartílagos. Rodet y Bertin, experimentando también en animales pequeños, pudieron observar que las convulsiones, las parálisis, dependían de lesiones graves en el punto de aplicación del radio; meningo-mielitis, adherencias, hemorragias. En ratones y cobayas de más edad los accidentes son más tardíos; á veces no aparecen sino pasados algunos meses. Por el contrario, la aplicación inmediata del tubo de radio sobre la dura-madre hizo estallar los accidentes al tercer día en las experiencias de Danycz. H. Obersteiner ha operado sobre ratones blancos, con bromuro de radio muy activo, en cantidad de 10 á 50 miligramos, y aplicaciones de 24 á 112 horas. En todos ellos produjo la muerte en medio de convulsiones, crisis epilépticas, paraplegias, monoplegias etc. En todas estas experiencias mostraron los animales en vida trastornos sensitivos de variable intensidad, especialmente anestias y analgesias. El predominio de los trastornos sensitivos pasajeros, curables, ó de los convulsivos, graves, depende naturalmente de la intensidad y de la duración de la aplicación.

Con actividades de 400.000 ó de 500.000 U. se produce siempre la muerte. Las alteraciones anatómicas observadas por Bohn, Danycz y Obersteiner fueron de la mayor intensidad: focos de inflamación, de reblandecimiento y de emorragias; degeneración grasosa de los endotelios, cromolisis de las células nerviosas, aparición en las mismas de fisuras iguales á los canalículos intracelulares de Holmgren, retracción y obscurecimiento de los núcleos. Las meninges no dejan de presentar también graves trastornos hiperémicos. Bohn y Danycz consideran la alteración de los endotelios, la degeneración granulo-grasosa, la más importante, la primera en fecha y el origen de todas las restantes. Repetidas las precedentes experiencias por Heinecke y Scholz comprobaron las alteraciones que hemos descrito, y observaron además la alteración y destrucción de las células de



las astas anteriores de la médula, y el crecimiento de los canales intracelulares de las grandes células motrices.

A. Beck ha sometido á estudio experimental la acción del radio sobre los nervios periféricos, valiéndose de bromuro de radio de 100.000 U. en exposiciones de 30 á 180 minutos. En los conejos se presentó la anestesia y la analgesia desde la segunda ó tercera sesión. En los perros los efectos son más tardíos y menos acentuados. Los trastornos persistieron algunos días y la sensibilidad sólo se restableció en parte. Aplicaciones en el hombre, sobre el tronco del cubital y sobre sus terminaciones periféricas, ocasionaron trastornos sensitivos ligeros é inconstantes. La repetición de las experiencias en los animales les da cierta resistencia, como si se hubiese establecido una especie de tolerancia.

ACCIÓN SOBRE LA PIEL Y SOBRE LAS MUCOSAS. — Los efectos sobre la piel y las mucosas de las sustancias radioactivas, variables en intensidad según la energía, el tiempo y la frecuencia de aplicación del agente radiante, bien conocidas y estudiadas en el hombre y en los animales, son el fundamento de la aplicación de estas sustancias al tratamiento de muchas dermatosis.

En muchas de las observaciones referidas, los animales sometidos á experiencia con otros fines sufrieron lesiones graves de la piel y de las mucosas: caída del pelo, eritemas, dermatitis, formación de vesículas y de ampollas, necrosis, ulceraciones tórpidas, atónicas de rebelde cicatrización.

En el hombre se han producido estas mismas alteraciones de un modo casual ó con fin experimental. Becquerel colocó en el bolsillo de su camisa de dormir un tubo con 20 centigramos de bromuro de radio de 800.000 U. Después de una incubación de 15 días apareció en la parte correspondiente de la piel del torax eritema intenso, seguido de ulceración rebelde, que no cicatrizó sino un mes después. Mad. Curie y Giesel se produjeron lesiones semejantes. Los que manipulan sustancias radioactivas sufren frecuentemente lesiones cutáneas, iguales á las producidas con los rayos de Röntgen, calificadas con el término general de *radiodermatitis*. Mad. Curie sufrió uno de esos accidentes en la mano, por haber llevado en la misma, durante media hora, bromuro de radio muy activo. P. Tenneson sufrió una rinitis intensa y dolorosa producida por las emanaciones de la misma sustancia.



Halkin (1) ha hecho un estudio detenido y completo de estas lesiones cutáneas. Con 13 centigramos de bromuro de radio, aplicado una hora diaria durante 38 días, en diferentes puntos de la piel, notó, desde el tercero á los veintidos, lesiones macroscópicas crecientes desde el eritema á la ulceración. Las microscópicas consistieron en dilatación de los vasos capilares, éxtasis sanguíneo, tumefacción, vacuolisación y destrucción de los endotelios, infiltración del dermis y epidermis, destrucción de las células y núcleos de los mismos, necrosis de coagulación, formación de flictenas y ulceración de la piel.

El conjunto de estas lesiones, análogas á las quemaduras, ha sido dividido por Pissareff en cuatro períodos ó grados: 1.º Las lesiones, que no aparecen hasta las tres ó cuatro semanas, consisten en eritema, caída del pelo (que no se reproduce hasta los dos ó tres meses), piel lisa, y ligera pigmentación. 2.º Eritema más intenso, tumefacción é infiltración de la piel, descamación. El epidermis de sustitución es más delicado, brillante y liso; ofrece el aspecto de una cicatriz superficial. 3.º Caracterizado por la formación de vesículas, flictenas y ulceración de la piel. La comezón y el dolor son más vivos. La cicatrización es lenta. La depilación y la pigmentación son definitivas. 4.º Se produce una escara oscura, manchada, adherente, profunda, que tarda en desprenderse y deja una gran pérdida de sustancia, de cicatrización muy lenta é irregular.

Bohn concede gran importancia á la acción de los rayos de Becquerel en la formación del pigmento. La acción del radio en aplicaciones de corta duración y escasa intensidad puede quedar reducida á la formación de manchas pigmentarias. El pigmento adquiere radioactividad, según Griffiths, y actúa sobre las capas más profundas del mismo, excitando su multiplicación.

ACCIÓN SOBRE LOS ÓRGANOS VISUALES.—Giesel y Javal observaron los primeros la sensibilidad luminosa del ojo por la acción del radio. De otra parte Himstead y Nogel pudieron provocar en el hombre y en los animales la fosforescencia, en la obscuridad, de los medios transparentes del ojo. La fosforescencia se debería según Hardy y Anderson á los rayos  $\beta$ ; la sensibilidad de la retina á los  $\gamma$ . Las percepciones luminosas despertadas en los ciegos por Londón con las sales de radio, esperanza momentánea del

---

(1) Action de rayons du radium sur la peau. Premier Congrès pour l'étude de la Radiologie et de la Yonisation.



restablecimiento de la visión en estos desgraciados, no fueron confirmadas por de Greef. La sensación luminosa que ocupa el campo visual cuando se aproxima al ojo un cuerpo radioactivo, depende de la fosforescencia que adquieren las diversas partes que forman el órgano de la visión, especialmente de la córnea, del cristalino y del humor vítreo, los cuales impresionan la retina. La acción es pues indirecta y directa, y el fenómeno se produce aún colocando el radio en la parte posterior de la cabeza. La percepción luminosa tiene lugar también en los ciegos que han conservado íntegros la retina y el nervio óptico.

Birch-Hirschfeld ha aplicado sobre los párpados cerrados de ojos de conejos 20 centigramos de bromuro de radio puro, durante dos á seis horas. Después de un período latente de 7-14 días se producen inflamaciones de la piel, caída del pelo, conjuntivitis, queratitis, iritis, cuyos procesos ofrecen cierta resistencia á la curación. El nervio óptico, así como la retina se atrofian á veces. El cristalino no se altera. Las modificaciones histológicas son análogas á las producidas por los rayos X. De estas observaciones deduce que se debe obrar con gran prudencia en las aplicaciones del radio sobre el ojo, protegiéndole convenientemente, y limitándose al tratamiento de las enfermedades de los párpados.

### **Acción terapéutica.**

«En nuestro deseo de penetrar los secretos de la naturaleza se oculta siempre, consciente ó inconscientemente esta idea: el conocimiento de un fenómeno nuevo nos permitirá pronto ó tarde luchar contra la enfermedad» (1).

Desde los primeros momentos después del descubrimiento de los cuerpos radioactivos se ha querido utilizar la acción enérgica de estas sustancias en el tratamiento de gran número de enfermedades: el lupus, el cáncer de la piel, el de órganos más profundamente situados, la micosis fungóide, las tiñas, los eczemas, las neoplasias superficiales, la lepra, los angiomas, las neuralgias, las parálisis, el bocio, la tuberculosis pulmonar; en suma, todas las enfermedades cutáneas y muchas de órganos profundos.

Estamos muy lejos de haber agotado el capítulo de aplicaciones posi-

---

(1) Prefacio de Arsonval en *Le Radium et la Radioactivité*, par Paul Besson, 1904.



bles de este novísimo agente terapéutico. El tiempo y el estudio nos permitirán aprovechar más completamente las energías y actividades que en el momento actual no estamos en condiciones de utilizar. Pensemos en los progresos realizados con otros agentes, la electricidad, la hidroterapia, la asepsia, tengamos en cuenta lo mucho que se ha adquirido en unos diez años, y llegaremos á comprender cuanto puede alcanzar en su desarrollo la terapéutica por el radio y los cuerpos radioactivos.

En esta, como en todas las medicaciones nuevas, se han multiplicado las observaciones, se han exagerado sus beneficios y sus peligros, se ha tenido poca escrupulosidad y exactitud en la aplicación y en la publicación de casos prácticos, llevando á muchos la sugestión, el deseo de notoriedad, la falta de conocimientos y de medios apropiados para su aplicación á errores, exageraciones, entusiasmos y decepciones, que comprometerían el porvenir terapéutico de estas sustancias, si sus propiedades no fuesen tan poderosamente enérgicas.

Se ha usado poco el radio en pomadas, inhalaciones é inyecciones intraorgánicas, provocando á veces accidentes graves por el conocimiento incompleto de estas sustancias y de su modo de obrar. Sin embargo, Braunsteins (1) ha usado la emanación en forma de agua radioactiva en el tratamiento de algunos cánceres profundos, y propone este procedimiento para el de otras muchas enfermedades, en que la acción histiolítica, bactericida y zimótica del radio encuentra su justificación, y este modo de aplicación facilita su empleo. Esta forma de aplicación resultaría muy fácil con el radio-teluro, que se puede depositar por electrolisis sobre tallos ó láminas metálicas, en capas muy delgadas, y permite llevar la sustancia radioactiva, graduando á voluntad su energía, al contacto de las partes enfermas, cualquiera que sea su forma y situación.

Para sus aplicaciones más usuales se fija el radio mediante barnices en la superficie de placas metálicas, ó se le encierra en pequeñas cajas de metal, con cubierta de mica ó de aluminio, articuladas en vástagos metálicos, en forma que permitan su aplicación á partes profundas y anfractuosas como el pabellón de la oreja, la faringe, la vagina, etc.

Es de importancia que la sustancia radioactiva se extienda en capas muy delgadas y uniformes para evitar la difusión y pérdida de una parte

(1) Le Radium, 15 aout, 1906.



de los rayos. Pérdida que en los aparatos usuales de Becclére, Armet de Lisle y otros, tiene lugar para los  $\alpha$  y una parte de los  $\beta$ , porque la cubierta de la caja y la capa de aire interpuesta los absorbe y anula, al menos para su acción en profundidad, en términos que sólo resta eficaz el 10 por 100 de la radiación total. Aún de este modo queda á la radiación suficiente energía para que su administración imprudente ocasione efectos exagerados y á veces graves lesiones. Ha sido necesario pensar en dosificar su administración cual si se tratase de un medicamento.

La acción química, la eléctrica, la fluorescente con las que se puede medir la energía radiante de estas sustancias, no es aplicable á nuestro objeto. Los rayos de radio, de diferente poder de penetración en nuestros tejidos, son desiguales en sus efectos. La medición, por aquellos procedimientos, de la energía radioactiva, no da regla segura para su aplicación terapéutica, pues lo importante es la determinación de la cantidad absorbida por la piel y los tejidos. El radio-cromómetro de Holzknecht, de que ya se ha hecho mención, permite una dosificación bastante exacta de la energía empleada, así en Röntgenterapia como en Radiumterapia.

Se emplean ordinariamente el cloruro, el sulfato y el bromuro de radio de actividad de 10.000, 50.000, 100.000 y 500.000 U. Como la mayor parte de las radiaciones, muy absorbibles, poco penetrantes, representadas por los  $\alpha$  y por los  $\beta$  quedan y producen sus efectos en la piel y tejidos superficiales, no podemos aumentar mucho la intensidad para llegar á las partes más profundas, sin ocasionar en las primeras destrucciones considerables. No poseemos aún medios seguros de utilizar á voluntad los rayos más ó menos penetrantes.

Los resultados más brillantes de la Radiumterapia se han obtenido en el tratamiento del lupus y de los cánceres cutáneos.

**TRATAMIENTO DEL LUPUS.**—Las nueve observaciones de Danlos han sido expuestas con todo detalle por Blandamour y P. Besson (1). La sustancia radioactiva estaba contenida en pequeña caja de caucho ó de celuloide de  $4 \times 5$  centímetros de superficie, en capa de 2 á 3 milímetros de espesor, de  $20 \times 30$  de superficie, y de 1.000 á 19.000 U. de actividad. Las aplicaciones se hicieron en sesiones cortas y repetidas, ó largas y únicas,

(1) Armand Blandamour. Traitement du lupus par le Radium, 1904. P. Besson. Le Radium y la Radioactivité, 1904.



siendo preferibles las primeras. La duración de las sesiones fué de 24 á 48 horas con actividades más fuertes que las apuntadas, de 200.000 y de 500.000 U; de 100 á 120 horas con las actividades débiles. El período de incubación varió de 6 á 20 días. El proceso evoluciona en tres períodos: de inflamación, de ulceración y de cicatrización. Aparecen en orden sucesivo la rubicundez é inflamación de la piel, el reblandecimiento, la maceración, la formación de flictenas, la ulceración y la cicatrización. El proceso despierta dolores más ó menos vivos, se realiza en seis á doce semanas y deja una cicatriz blanca, lisa, flexible, de buen aspecto. Los accidentes más importantes son el dolor vivo y el retardo en la cicatrización.

Este tratamiento del lupus, no inferior en eficacia á la Fototerapia y Röntgenterapia, tiene sobre estas la ventaja de ser más rápido, menos doloroso, más económico, de más fácil aplicación, pues si bien las sales de radio son de muy elevado precio, en cambio no se agotan, ni se deterioran, ni exigen para su aplicación el complicado y costoso aparato de los métodos de Finsen y de Röntgen.

Las observaciones de Danlos han sido repetidas y confirmadas por R. Abbé, L. Lehmann, Blandamour y otros muchos dermatólogos, pudiendo considerarse la eficacia del radio en el tratamiento del lupus tan sólidamente establecida como la de la Fototerapia y Röntgenterapia.

La aplicación sobre el lupus de sustancias radioactivas en forma de emplasto de torio no ha dado buenos resultados á Rehns ni á Lehmann. Por el contrario Bouveyron de Lyon ha logrado curar un lupus, que se había mostrado rebelde á otros medios, incluso la Fototerapia, por la aplicación permanente de nitrato de urano de muy poca actividad.

CÁNCER.— La frecuencia y gravedad del cáncer, la ineficacia de todos los medicamentos hasta ahora ensayados, el escaso éxito de la intervención quirúrgica, explican el ardor con que los médicos se han dedicado á ensayar los efectos de los rayos de Röntgen. Las curaciones que se les han atribuído, las modificaciones importantísimas que imprimen á la textura y evolución de los mismos, aún en aquellos casos, muy numerosos, en que no se obtuvo la curación, y la gran semejanza que su origen, cualidades y efectos ofrecen con los del radio, nos hacen ver sin sorpresa que gran número de médicos hayan ensayado el último, llenando las revistas profesionales con las referencias de casos prósperos ó adversos. Stowers, Skis-



mer, Exner, Gussembauer, Mackensie, Davidson, Einhorn, Lassar, Darier, R. Abbé, entre otros muchos, nos refieren los resultados que obtuvieron.

Como podía presumirse los efectos fueron muy diversos según la situación, fase de evolución, forma anatómica, é individualidad clínica de estos tumores. La profundidad, la propagación á los gánglios próximos, la caquexia y la marcha rápida se mostraron condiciones desfavorables. Los epitelomas superficiales, incipientes, de marcha lenta; los calificados con los nombres de *ulcus rodens de noli me tangere*, los que en el concepto clínico se califican de benignos se curan frecuente y rápidamente. No se puede asegurar que no sufran reproducción, por no haber transcurrido desde su curación tiempo suficiente que permita asegurarlo. De la rapidez de los efectos, de la profunda modificación que experimentan los tejidos enfermos, de lo perfecto de la cicatriz, de la integridad y normalidad de los tejidos inmediatos se puede esperar que la curación sea radical y completa. La curación no se obtiene por ulceración, sino por cicatrización. Las células, en bloques más ó menos voluminosos, sufren necrosis de coagulación; al mismo tiempo el tejido conjuntivo y los vasos de formación nueva invaden el tumor, lo tabican, reduciendo más cada vez los espacios ocupados por las células. De estas, las más jóvenes resisten menos. De ordinario se producen pequeñas hemorragias en el espesor del tumor, á consecuencia de las alteraciones que el radio produce en los vasos, especialmente en los endotelios.

Estos resultados y este modo de curación han sido comprobados por Heinecke en el cáncer experimental de los ratones, muy semejante al cáncer humano.

En muchos casos de epitelomas ulcerados se ha conseguido también la curación. En uno de estos, cuya historia refiere R. Abbé, que radicaba en el pabellón de la oreja, pudo estudiar comparativamente los efectos de los rayos de radio y de los X, aplicando á cada mitad de la úlcera uno de estos agentes; consiguió la curación completa con seis sesiones de los primeros y ocho de los segundos.

En los cánceres profundos los resultados han sido menos buenos, á veces malos. La aplicación exterior del radio es poco eficaz, porque la mayor parte de los rayos son absorbidos ó anulados sin llegar al tumor. Se ha querido salvar esta dificultad llevando el radio al contacto del tumor por aparatos especiales, ó activando sustancias como el agua, el bismuto, cier-



tas soluciones. En general nada se ha conseguido. Sin embargo Exner y Einhorn refieren cada uno seis observaciones de cánceres del exófago, en los que se llevó el radio al contacto del tumor, consiguiendo notable alivio, dilatación suficiente y sostenida para permitir el paso de la sonda y la alimentación voluntaria. También consiguió Dobrjansky notable alivio en un cáncer profundo de la vagina, mediante la introducción en este conducto de un tubo de bromuro de radio, de 7.000 U.

En algunos casos podría aplicarse al tratamiento de los cánceres profundos el procedimiento empleado por R. Abbé en un sarcoma del maxilar inferior. En este caso, después de algunas aplicaciones superficiales, introdujo en la masa del tumor, mediante pequeñas incisiones, tubitos que contenían bromuro de radio muy activo. Después de ocho semanas de tratamiento consiguió la curación, sin otro incidente que una reacción intensa del labio inferior, la cual obligó á suspender el tratamiento temporalmente.

Los resultados curativos de la Radiumterapia serán indudablemente más numerosos y completos cuando se haya estudiado mejor este poderoso agente de curación. De todos modos puede afirmarse, por lo ya conocido, que el radio es superior á los métodos de Finsen y de Röntgen por la facilidad y sencillez de su aplicación, la simplicidad de los aparatos, la posibilidad de llevarlo á partes profundas, por su inocuidad y por la ausencia de complicaciones y accidentes.

**OTRAS ENFERMEDADES DE LA PIEL Y DE LAS MUCOSAS.**—La leucoplasia lingual, el psoriasis, ciertas afecciones parasitarias, el moluscum contagioso, la lepra, los papilomas, el liquen ruber plano, el liquen verrugoso, el acné rosáceo, las manchas vasculares han sido tratados por el radio, obteniendo curaciones ó alivios, según resulta de las observaciones de K. Strammann, L. Bogrow, R. Abbé, Bouveyron, Besnier, Danlos y otros muchos. En un caso de moluscum contagioso, tratado por Bouveyron, se produjo la ulceración del pedículo y la caída en masa del tumor. La curación fué rápida y la cicatriz resultante ligera, superficial, blanquecina, pigmentada. Un leproso asistido por J. Rehns obtuvo el restablecimiento de la sensibilidad en la piel de la frente, de la nariz y de las manos. J. Rehns y P. Salmon refieren observaciones de sarcomas sobre los que el radio ejerció influencia favorable (1). R. Abbé da cuenta de cinco casos de verru-

(1) Le Radium, 15, Juillet, 1904.



ga vulgar curados en cuatro sesiones de una hora, con actividades de 300.000 U; la verruga se aplana y cae sin dejar cicatriz. Bogrou ha curado una extensa mancha pigmentaria, cubierta de pelo, con diez miligramos de bromuro de radio, en sesiones diarias de una á dos horas durante un mes.

**Bocio.**—Robert y Abbé introdujeron en el cuerpo tiróides de un enfermo de bocio, mediante una pequeña incisión, un tubo con diez centigramos de bromuro de radio de 300.000 U, manteniéndolo aplicado durante 24 horas. Consiguieron reducir considerablemente el volumen del tumor de un modo persistente.

**NEURÁLGIAS.**—La acción analgésica del radio es, según digimos antes, muy notable. Foveau de Courmelles ha comunicado al Congreso de Neurólogos de Pau, de 1904, numerosas observaciones de neurálgias, sintomáticas ó esenciales, que cedieron á aplicaciones permanentes ó interrumpidas de bromuro de radio de 10.000 U. Entre ellas figuran neurálgias faciales, ciáticas, intercostales y lumbo-abdominales, algunas de las cuales habían sido tratadas sin éxito por otros agentes curativos. Aún con intensidades muy débiles, con aplicaciones de pomadas radioactivas, de arcillas naturales portadoras de cantidades ínfimas tesimales de radio se han conseguido efectos notables.

Darier ha comprobado por su parte la acción analgésica del radio sobre el elemento dolor. El profesor Raymond, en un informe sobre la acción analgésica de esta sustancia, afirma, que la aplicación sobre la columna vertebral de tubitos de bromuro de radio puro produce la cesación rápida del dolor, sin que pueda atribuirse aquél efecto á la sugestión, por haber tomado todas las precauciones necesarias para evitarla. En las aplicaciones sobre partes próximas á los centros nerviosos se debe proceder con gran prudencia, porque Darier ha visto producirse á veces fenómenos alarmantes, por aplicaciones sobre la nuca de actividades de 10.000 U.

**PARÁLISIS, NEUROSIS.** — Darier obtuvo curaciones rápidas en casos recientes de parálisis facial; en los más antiguos los resultados fueron menos brillantes. También Raymond ha comprobado la eficacia del radio en la curación de las parálisis periféricas.

Uno y otro lo consideran de buenos efectos en la epilepsia, el histerismo y la neurastenia.

**TUBERCULOSIS PULMONAR.**—Tracy, de New-York, ha usado las inhalacio-



nes de emanación de torio, valiéndose de inhaladores ordinarios, ó del especial de H. Lieber. Los efectos favorables observados se deberían á la acción destructiva sobre el bacilo, y curativa sobre los tejidos enfermos, por la acción antiséptica y antifermentativa de esta sustancia. Las células adquieren radioactividad inducida, que conservan dos ó tres días, tiempo que debe mediar entre las sesiones. Gordon Sharp ha empleado también, siguiendo los consejos de Soddy, inhalación de aire que ha atravesado soluciones radioactivas. En dos enfermos obtuvo mejoría notable.

ENFERMEDADES DE LOS OJOS.—Darier ha aplicado el radio en polvo, pomada y radiaciones débiles á diferentes enfermedades de los ojos. Los resultados más salientes han sido la cesación del dolor en el cáncer de la órbita, en la iritis reumática y en otras enfermedades muy dolorosas, la aclaración de los medios del ojo en casos de hemorragias del cuerpo vítreo y la curación de blefaritis crónicas rebeldes. En un caso de hemorragia traumática obtuvo la reabsorción de la sangre y la desaparición del dolor por aplicaciones sobre la región temporal de actividades de 240 U. En otro de iritis reumática con exudado abundante y dolor muy intenso y rebelde cesó rápidamente este último con las mismas actividades. Se reprodujo el dolor varias veces cediendo siempre á las aplicaciones radioactivas. Igual éxito obtuvo en otro enfermo de coroiditis específica de carácter muy doloroso.

V. Zelenkowsky ha aplicado al tratamiento del tracoma de la conjuntiva tubos de bromuro de radio de 1 á 10 miligramos. En 37 casos ha obtenido 35 curaciones completas, con un número de sesiones de ocho á catorce. M. Falla confirma estos resultados en un caso de tracoma y en otro de conjuntivitis folicular. Por su parte A. Birch-Hirschfeld contradice estos resultados, afirmando, según sus observaciones, que son transitorios y que la granulación se reproduce pronto.

---

No hay que considerar como verídico y exacto cuanto acabamos de leer. Es imposible evitar las exageraciones de todo descubrimiento importante. Las maravillosas propiedades de los cuerpos radioactivos nos conducirán de seguro á más numerosas é importantes aplicaciones. En el terreno de la Terapéutica, con un conocimiento más perfecto de sus poderosas energías, con instrumentos que nos permitan disociar, sumar,



aumentar ó disminuir las diferentes clases de rayos, y llevarlos á voluntad á mayor ó menor profundidad, localizando su acción en el punto conveniente, con un conocimiento más exacto de la reacción de los tejidos y órganos enfermos ante la acción poderosa de esta nueva actividad de la materia, el campo de sus aplicaciones se extenderá considerablemente y la Medicina contará con un nuevo y poderoso remedio para cumplir su elevada misión: la conservación de la salud, la restitución al estado fisiológico que constituyen en lo físico la suprema aspiración del hombre. Pero estas conquistas de la Ciencia son difíciles, largas, penosas, exigen mucha constancia en el trabajo, mucha prudencia en sus aplicaciones, muy sereno juicio en la crítica, el concurso de varias generaciones. Trabajemos con fé y entusiasmo, por deber y por humanidad, en la consecución de tan altos fines.

---

Estamos en época de positivismo. Los símbolos han perdido su significación é importancia. La realidad ha sustituido por completo á las apariencias. Esta toga nada significará si el que la lleva no se muestra á la altura de su misión. Esta solemnidad no dará importancia al Claustro si los que lo constituimos no sabemos dignificarlo y elevarlo. Estos títulos académicos, móvil de vuestros trabajos, aspiración vehemente de la juventud, consagración oficial de vuestra importancia y valer en la Sociedad, no os servirán sino de estorbo en las campañas de la vida, en la lucha por la existencia, si para adquirirlos no habéis aportado la suma de aplicación y de trabajo necesarios para haceros verdaderos hombres de ciencia, para que la Sociedad, juez severo y justo en esta materia, os consagre y erija en verdaderos sabios.

Trabajemos pues. El trabajo es elemento de salud y de vida, de energía del cuerpo y del espíritu, de perfección de las cualidades del alma. En lo físico fortalece y perfecciona nuestros órganos. En lo moral engrandece y diviniza el alma. El trabajo dá á los órganos resistencia contra las enfermedades, al alma energía contra los vicios, al Hombre y á la Sociedad la más pura de las satisfacciones: la del deber cumplido. Recorred rápidamente la Historia de la Humanidad, detenéos un momento en las figuras más culminantes de la misma, examinad su vida y encontraréis que el trabajo y la virtud les dieron la Inmortalidad.

---



Un recuerdo cariñoso á la memoria del eminente literato y sabio arabista D. Leopoldo Eguílaz Yanguas, otro no menos sentido á la de don Arturo Perales Gutiérrez, nuestros compañeros de Claustro y

HE TERMINADO.

---

**Bibliografía.** — Trabajos especialmente consultados para la redacción de este discurso.

JOSÉ MUÑOZ DEL CASTILLO. — La Radioactividad en Físico-química y en Hidrología médica. Madrid, 1905.

EL MISMO. — Reconocimiento y cálculo del radio en la chalcólita de San Rafael.

EL MISMO. — Multitud de trabajos publicados en los Anales de la Sociedad española de Física y Química, Revista de la Real Academia de Ciencias exactas, físicas y naturales de Madrid, Anales de la Sociedad española de Hidrología médica.

FOVEAU DE COURMELLES. — L' Année électrique, 1904.

R. BLONDLOT. — Rayons N. París, 1904.

P. BESSON. — Le Radium et la Radioactivité. París, 1904.

J. DANNE. — Le Radium, sa préparation et ses propriétés. París, 1904.

L. LEHMANN. — Recherches sur l' Action thérapeutique du Radium. París, 1905.

J. BELOT. — Traité de Radiotherapie. París, 1905.

J. DANIEL. — Radioactivité. París, 1905.

G. H. NIEWENGLOWSKI. — Le Radium. París, 1906.

G. CLAUDE. — Causeries sur le Radium et les nouvelles radiations. París, 1906.

OLIVER LODGE F. R. S. — Sur les electrons. París, 1906.

A. RIGHI. — La Theorie moderne des Phenomenes physiques. París, 1906.

LE RADIUM. — La Radioactivité et les Radiations. Publication mensuelle. París, 1904-1906.

B. DONATH. — Radium. Berlín, 1904.

G. MIÉ. — Moleküle, Atome, Weltäther. Leipzig, 1904.

E. RUHMER. — Radium und andere radioactiven Substanzen. Berlín, 1904.

H. MAYER. — Die neueren Strahlungen. Mähr-Ostern, 1904.

J. H. ZIEGLER. — Die wahre Ursache der hellen Lichtstrahlung des Radium und die radioaktiven Stoffe. Berlín, 1905.

L. WICK. — Ueber die Beziehungen der Radium-emanation in der Gasteiner Therme, zu deren Heilkraft. Berliner klinische Wochenschrift. números 15, 16, 1906.

H. SIEVEKING. — Die Radioaktivität der Mineralquellen. Berliner klinische Wochenschrift, 4 Juni 1906.

---











*UVA. BHSC. LEG 23-1 n°1752*