

## ARCHIVO HISTÓRICO



El presente artículo corresponde a un archivo originalmente publicado en el **Boletín de la Escuela de Medicina**, actualmente incluido en el historial de **Ars Medica Revista de ciencias médicas**. El contenido del presente artículo, no necesariamente representa la actual línea editorial. Para mayor información visitar el siguiente

vínculo: <http://www.arsmedica.cl/index.php/MED/about/submissions#authorGuidelines>

## II UNA NO TAN BREVE HISTORIA

\*A. Foradori C.

La historia de la física atómica y nuclear es una muy lenta incubación intelectual del hombre. Para ejemplificarla y centrarla en nuestra vida habitual, imaginemos que cada hora sean 6 años, y un día serán, entonces, 144 años.

El hombre apareció por ahí por el primero de Enero. Durante 11 largos meses se incubaba la prehistoria y, así, por el primero de Diciembre, se inicia la Historia Moderna. La historia griega se hace presente por el 8 de Diciembre; el 24 de Diciembre nace Santo Tomás de Aquino; la Física Nuclear Moderna se inicia por ahí a las 10 A.M. del 31 de Diciembre; Hiroshima y Nagasaki restallan en la Historia a las 17 horas y a las 18 horas del mismo día se inicia la Medicina Nuclear!!

### UNA HISTORIA PERSONAL DE LA FILOSOFIA NATURAL DEL ATOMO DESDE ANTES DE DEMOCRITO HASTA RUBBIA

#### ¿Por qué Filosofía?

El hombre ha alcanzado las cimas más altas de su civilización mediante dos disciplinas fundamentales: la Ciencia y la Religión. Ahora bien, mientras

la Ciencia, haciendo uso de la razón, estudia los fenómenos de la naturaleza, la Religión, dando una satisfacción a una necesidad interior del alma humana, busca algo absoluto, algo que supere la capacidad de saber o conocer por los sentidos y el intelecto. Vista así, la filosofía es algo que está a mitad de camino entre la Ciencia y la Religión, más cercana a una u otra según tenga que ver con los filósofos así dichos racionalistas o con aquellos más llevados a una visión mística de las cosas. Para Bertrand Russell, un filósofo inglés de corte racionalista, la Filosofía es una especie de tierra de nadie entre la Ciencia y la Teología y expuesta a los ataques de ambas.

\* *Departamento de Hematología y Oncología, Laboratorio de Medicina Nuclear y Unidad Docente Asociada de Laboratorios Clínicos, Escuela de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile*

### Huno el Primer Filósofo

El primer filósofo, aquél que formuló un pensamiento más allá de las inmediatas necesidades materiales, aparece hace unos 40.000 años, en el período paleolítico superior. Imaginemos la escena: Huno estaba contento esa noche, todo se había cumplido de acuerdo a sus deseos; capturó un ciervo joven, tierno y carnudo, lo había trozado con su cuchillo de pedernal y lo había cocido lentamente al fuego. También Huna, su mujer, había comido hasta hartarse. Después hicieron el amor y Huna había vuelto a su caverna a descansar y él había permanecido allí fuera a descansar y a PENSAR. Hacía calor y no tenía sueño. Se tendió cuan largo era en el pasto fresco y miró el cielo estrellado. Miles y miles de puntitos brillantes iluminaban el cielo sobre su cabeza. ¿Qué eran esos pequeños fuegos? ¿Quién los había encendido allí? ¿Cómo habían llegado tan arriba en el cielo? ¿Un gigante inmenso? ¿Un Dios? se preguntó Huno.

Así nacieron juntos la Ciencia y la Religión, el miedo a lo desconocido y la curiosidad por saber y, en consecuencia, la Filosofía.

### Homo Curiosus

Los antropólogos han denominado al hombre moderno como el *Homo Sapiens* u hombre sabio. Los primeros miembros de esta especie vivieron hace unos 40.000 años y sin duda que fueron sabios en el sentido de usar su experiencia y sabiduría en forma juiciosa. Pero, ¿fue esta sabiduría y un medio favorable lo que llevó a esta especie al dramático desarrollo y predominio que la caracteriza? La sabiduría, por sí misma, no lleva a parte alguna; con frecuencia sólo consigue el poder manejar en forma óptima una serie de circunstancias en un marco conocido. Posiblemente lo que hizo al *homo sapiens* tan increíblemente diferente al resto de las criaturas, fue un soplo divino que lo hizo "curioso". Tal vez los antropólogos deberían llamarnos *homo curiosus*.

Hace 30-40 mil años, nuestros ancestros deben haber sido curiosos y sabios. Donde quiera vivían, se preguntaban acerca del sol y de la lluvia, del rayo y del terremoto. Ellos notarían la diferencia entre

los elementos del mundo material, entre las rocas y el agua, entre el suave pelaje de un animal y la áspera corteza de un árbol. Ellos se habrán preguntado por qué la noche sigue al día y por qué el sol brilla y cómo se inició todo esto.

### Homo Curiosus Versión 1985

Periodista: "Alguien ha dicho que la materia es bella, otros han dicho lo contrario ¿usted siente placer mirando esta cosa tan cerca como pocos han logrado?"

Responde el Nobel de la Física 1985, Carlo Rubbia: "Sí porque soy curioso y cuando satisfago mi curiosidad siento placer".

E. Ravel. "Dentro de la materia": entrevista a Carlo Rubbia. Número especial de *Ulises*, Alitalia; Abril-Junio, 1985.

### La Búsqueda de Respuestas

Las mitologías y las antiguas religiones de todas las sociedades históricas están llenas de intentos para responder preguntas. Las historias de la Creación abundan; los dioses se asocian con fenómenos naturales e inexplicables, muchas veces aterradores como las erupciones volcánicas y los eclipses solares.

Los nativos de los archipiélagos de Hawai vieron, en las impredecibles erupciones volcánicas de los múltiples volcanes de sus islas, los arrebatos de genio de una ardiente y veleidosa diosa Pele que vivía en las profundidades ígneas de sus islas. Los antiguos egipcios creían en una divinidad celestial, Nut, que devoraba el sol todos los atardeceres para alumbrarlo de nuevo, en un divino parto al amanecer siguiente.

Los dioses, humanas criaturas que poblaban los mitos de nuestra historia, eran las únicas respuestas para el hombre primitivo, curioso y sabio; él trataba de explicarse el mundo que lo rodeaba, su existencia y su destino. Ellos reflejaban su ignorancia y su falta de métodos descriptivos adecuados, pero siempre su **curiosidad**, el ¿por qué? ¿quién? ¿cómo? Pero a medida que el *homo sapiens* se desarrollaba, se descubrían mejores técnicas para explicarse el operar

del Universo a su alrededor. La curiosidad que en un principio sólo podía formular preguntas pero no dar respuestas sino a través de criaturas mágicas e imaginarias, llevó rápidamente al álgebra, la geometría y a la concepción de la medición sistemática y la experimentación. Es decir, a herramientas básicas del quehacer científico. La misma curiosidad acerca del mundo que nos rodea, es el motor del hombre de ciencia moderno: desde los antropólogos que están estructurando la visión de los mismos en que se genera esta curiosidad, hasta los físicos que buscan las respuestas a interrogantes seculares acerca del Universo y su naturaleza.

### Filosofía Natural

El viejo y olvidado nombre de la Física-Filosofía Natural posiblemente nos da una mejor visión del trabajo en que están comprometidos los físicos modernos. Preguntas acerca de la naturaleza de la materia, el significado de la realidad, el origen del tiempo y el espacio y otras interrogantes son vistas, con frecuencia, más como objetos del trabajo de los filósofos que de los físicos, inmersos en sus instrumentos exactos. Pero, los físicos de hoy, en todos los laboratorios de nuestro mundo, están contemplando la realidad y buscando respuestas a preguntas muy básicas: ¿por qué brilla el sol? ¿cuáles son los elementos del mundo material? ¿cuándo empezó y cuándo terminará el Universo?

¿Acaso cuando niños no nos hacíamos la misma pregunta que se hacen hoy los físicos: de que está hecho el mundo que nos rodea?

### Agorazonta

En el idioma griego existe un término que refleja una actividad tan griega y tan profundamente humana que no tiene traducción directa en otro idioma. Para describirla, se requieren normalmente largas frases. Este término es *agorazein* (de agora: la plaza pública, a su vez, ésta viene del termino *ageiru*, agruparse, reunirse, etc. Real Academia, XX, 1984 pp. 39. Y el que practica esta actividad es un *agorazonta*).

"..." *Agorazein* significa así, bajar a la plaza para

ver qué se dice y, entonces, hablar con los amigos. Comprar, vender y saber las últimas novedades. También significa salir de casa sin una idea fija, dar una vuelta por ahí sin una idea o un propósito determinado, hasta que llegue la hora de la cena o el almuerzo y a la luz del sol o de las estrellas, retardarse hasta confundirse y hacerse parte de un magma humano, hecho de gestos, miradas, ideas, pensamientos y voces...". El *agorazonta* describe un modo de andar lento, las manos en la espalda, nunca rectilíneo; detenerse, Dios sabe dónde, discutir, volver a partir para detenerse de nuevo.

La filosofía griega debe mucho a esta peripatética costumbre de pensar, inmerso en el grupo humano.

"...Querido Fedro" —nos dice Sócrates— "¿de dónde vienes y a dónde vas?". "Estaba con Lisia, la hija de Céfalo, oh Sócrates" —responde Fedro— "y ahora me voy a pasear fuera de los muros. Así, por consejo de nuestro amigo común Acumeno, hago mis cuatro pasos al aire libre, porque dicen que se dan nuevas fuerzas allí, más que pasear bajo los pórticos...". Así empieza uno de los hermosos diálogos de Platón: "Fedro".

La verdad, estos atenienses no hacían nada productivo; paseaban, conversaban, se preguntaban qué era el bien y el mal; pero en cuanto a producir, fabricar algo práctico para vender o usar, ¡ni hablar!

En esa época, Atenas tenía unos 20.000 ciudadanos clase A y unos 200.000 individuos de clase B entre esclavos y metecos (los extranjeros residentes). Estos últimos dos grupos se rompían la espalda trabajando para mantener el negocio andando.

En compensación, los atenienses de clase A, aún no contagiados con el virus del consumismo, se satisfacían con poco y se podían dedicar a los placeres del espíritu. Aquí, en esta ágora de Atenas, se vislumbran los placeres del espíritu. Aquí, en esta ágora de Atenas, se asoma el embrión de la Universidad moderna que se plasmaría sólo unos dos mil años después.

La curiosidad de un homínido primate y la atmósfera del ágora, crearon un ambiente que culminó en una agresiva escuela de pensamiento que aún avanza: los Presocráticos, la escuela que va modelando el pensamiento alrededor de la titánica figura

sustancias simples, no mezcladas.

En el libro Dalton "Un nuevo sistema de filosofía química" (publicado en 1808), se enunciaban 20 elementos que estarían todos compuestos de átomos o **partículas extremadamente pequeñas**. Las partículas últimas de cada elemento eran todas idénticas, todas éstas del mismo peso, lo que variaba era el peso de los elementos que las agrupaban. A partir de esto, Dalton pudo explicar las leyes que regulaban la combinación de los elementos en compuestos.

Los átomos, como lo planteaba Dalton, eran los últimos indivisibles constituyentes de la materia, tal como lo habían planteado Leucipo y Demócrito, varios centenares de años antes.

En 1897, J.J. Thompson, Profesor de la Cátedra Cavendish de la Universidad de Cambridge, escribió en el Volumen 44 del Philosophical Magazine, que habían descubierto "materia en un nuevo estado, un estado en que se subdivide la materia, a partir del cual se forman todos los elementos químicos". Thompson había descubierto el electrón, una diminuta partícula de materia negativa cargada, cada una pesa, solamente,  $9.1 \times 10^{-31}$  Kg.

Y que ahora nosotros sabemos que sí existe en los átomos de todos los elementos. También sabemos ahora, lo que creía correctamente Thompson, que los átomos de los elementos son agregaciones diversas de componentes idénticos básicos, si bien nos demoraríamos otros 30 años para determinar la naturaleza de dichos constituyentes.

Y si bien los constituyentes básicos de los elementos, similares para cada uno, pero diferente de un material a otro, probaron ser realmente divisibles, el nombre *a-tomos* persistió y nuevos nombres se encontraron para los constituyentes más fundamentales.

Y si el átomo contiene constituyentes negativamente cargados como los electrones de Thompson, entonces debería contener una igual cantidad de cargas positivas para hacer el átomo y la materia "*in toto*" **neutral**. Thompson se imaginaba a los pequeños electrones como "pasas" negativas distribuidas aleatoriamente en un "budín" positivo.

Pero en 1911, Ernesto Rutherford trabajando en la Univ. de Manchester, hizo una proposición diver-

sa. Sus experimentos con partículas alfa de una fuente radioactiva atravesando una delgadísima hoja de oro, demostraron que las partículas alfa positivas pasaban con alta frecuencia por el pan de oro sin deflectarse y solamente en forma excepcional, lo hacían con grandes ángulos de deflexión. Rutherford propuso que las cargas positivas estaban concentradas en una zona central, mientras que los electrones viajaban en órbitas alejadas del centro.

Para Rutherford, gran parte del espacio atómico es vacío y por eso las partículas alfa pasan fácilmente por la hoja metálica. Ocasionalmente, sin embargo, pasan lo suficientemente cerca del núcleo como para ser deflectadas en amplios ángulos por ser de la misma carga, tal como se observa en los experimentos.

De esta forma, en las primeras décadas de este siglo, la estructura del átomo indivisible comenzó a intuirse; como elemento, sea éste metálico como el cobre o gaseoso como el cloro, consiste en unidades, átomos, cuyo peso es característico de cada elemento (hasta aquí Leucipo, Demócrito y Dalton están O.K.). Lo que es nuevo y nunca ellos habían intuido, es que dentro de cada átomo había electrones cargados negativamente y un número igual de partículas cargadas positivamente llamados protones, de tal manera que se podía imaginar una materia eléctricamente neutra.

El número de protones y electrones aumenta uno a la vez para ir cambiando el peso atómico de cada diferente elemento. Así, el elemento más ligero, el Hidrógeno, tiene un electrón y un protón; el siguiente más liviano, el helio, tiene dos electrones y dos protones y así sucesivamente hasta llegar al Uranio, el elemento natural más pesado, que tiene noventa y dos electrones y noventa y dos protones.

Los protones son unas 1.800 veces más pesados que el electrón y residen en el corazón del átomo; el núcleo, que típicamente es muy pequeño unos  $10^{-8}$  cm de diámetro.

Los electrones orbitan el núcleo central, atraídos por la carga opuesta de los protones nucleares, más bien como un pequeño sistema solar. Pero esta analogía no debe tomarse muy en serio.

Por 1930, los físicos nucleares no estaban muy tranquilos por esta imagen del átomo tan poco ató-

mico. Se descubrió que el núcleo, además, contiene otras partículas neutrales —el neutrón— con una masa similar al protón.

Estos sirven para mantener el núcleo armado parcialmente, diluyendo la carga positiva del protón. Como todos los protones son positivos y concentrados en un núcleo pequeño, su tendencia espontánea sería la de separarse violentamente por la misma fuerza electrostática que mantiene a los electrones dentro del núcleo atómico.

Los neutrones difieren, además, de protones y electrones en otra forma: ellos son inestables. Un neutrón "suelto", "libre", fuera de la atmósfera nuclear, vive en promedio solamente unos quince minutos o algo así, después del cual se transmuta en un protón liberando un electrón al mismo tiempo. El neutrón neutral libera así un protón positivo y un electrón negativo y así se conserva la carga eléctrica global.

Este proceso es lo que determina la desintegración radioactiva de muchas especies nucleares inestables (en las que un neutrón se desintegra aunque esté dentro de la atmósfera nuclear, ya que en este cambio del neutrón a protón más electrón lleva al núcleo a una configuración más estable).

#### **La Radioactividad es así simplemente el proceso de un núcleo tratando de encontrar estabilidad.**

El decaimiento del neutrón origina otra partícula; el neutrino, inicialmente descrita sólo para mantener la contabilidad del neutrón. Es la partícula que lleva el momento y la energía asegurando que estas cantidades (como la carga eléctrica) quedan iguales antes y después de la reacción. Es eléctricamente neutro pero virtualmente no tiene masa. Esta partícula que se llama neutrino, se sugirió teóricamente por Wolfgang Pauli, por los años 1930 pero hubieron de pasar casi treinta años hasta demostrar su existencia, en 1956.

De esta forma, por los años treinta, los físicos conocían cuatro partículas atómicas: el protón, el neutrón, el electrón y el neutrino. Otra vez los místicos pitagóricos números, **cuatro**, y sólo cuatro partículas estarían explicando la estructura del universo.

Pero si bien este esquema tenía sólidas validaciones experimentales, había evidencias que las cosas en la naturaleza no eran tan sencillas.

En 1928 Paul Dirac, un físico teórico de la Universidad de Cambridge, analizó las ecuaciones que podrían describir los estados energéticos del electrón y aquí la sorpresa; había 2 conjuntos de ecuaciones iguales y contrarias. Uno correspondía a los electrones que se observan en el mundo real; el otro, corresponde a una forma más enigmática y parecía corresponder a electrones con energía negativa. Dirac propuso que la naturaleza, en realidad, mantenía ambas soluciones a las ecuaciones energéticas y que el problema de la energía negativa se resuelve asumiendo la existencia de una partícula aún no observada de masa, igual a la del electrón pero con signo eléctrico opuesto. Este electrón cargado positivamente se denominó positrón y se descubrió, de hecho, en 1932.

Si bien el trabajo de Dirac en 1928 se relacionaba con electrones, sus conclusiones se podían aplicar también a los protones y, en consecuencia, se implicaba la existencia de una versión negativamente cargada del protón. Rápidamente se hizo aparente que para toda la visión material del mundo real (correspondiente a un juego de ecuaciones), debería existir una forma "opuesta" de materia o "antimateria". De esta forma, el electrón tiene su equivalente antielectrón (el positrón) y el protón debería tener su equivalente opuesto (el antiprotón). Así que por el año 1930, si bien el protón, neutrón, electrón y neutrino parecían suficientes para explicar el mundo real, se insinuaba la idea que la estructura de la naturaleza contenía más partículas que normalmente se ocultaban a nuestros ojos.

Una agresiva serie experimental entre 1930 y 1950 confirmó la existencia del antiprotón, pero simultáneamente los físicos comenzaron a descubrir todo un mundo nuevo dentro del mundo real.

Estudiando la interacción de los rayos cósmicos, protones energéticos y núcleos acelerados provenientes del cosmos y que bombardean a la Tierra con diversos núcleos atómicos en la alta atmósfera, los físicos comenzaron a descubrir varios otros tipos de partículas.

Como el neutrón, se trataba de partículas inestables, de vida muy corta (un cien millonésimo de segundo o aun menos). Todas ellas finalmente se desintegraban a protones, electrones o neutrinos con una serie de propiedades que permitía su tipificación. De esta forma se podría identificar estas nuevas partículas como formas asociativas muy peculiares de las ya conocidas.

Este trabajo exploratorio con rayos cósmicos, se respaldó y se mejoró por estudios más específicos en los laboratorios. Con ayuda de los aceleradores de partículas, los físicos experimentales podrían acelerar a los protones, por ejemplo, a velocidades muy cercana a la de la luz y entonces producir colisiones muy similares a la de los rayos cósmicos en la atmósfera terrestre. Este trabajo de laboratorio tiene la ventaja en que el acelerador de partículas puede mover muchísimas más partículas que en el experimento de los rayos cósmicos y, entonces, se hizo más fácil de aprehender los detalles de comportamiento de estas nuevas partículas. Por el año 1960 se hizo evidente que existían centenares de partículas unitarias inestables. El caos se hizo presente, dominando la armonía o sencilla estructura basada en cuatro partículas elementales.

La restauración del orden estaba a la vuelta de la esquina. Se originó alrededor de 1970 cuando nuevas evidencias experimentales demostraron que el protón, el neutrón y la mayoría de las partículas no eran unidades indivisibles, sino que estaban formadas por subpartículas, de hecho las partículas del átomo de los antiguos griegos se habían movido a otro nivel.

Este nuevo nivel de estructura nos revela que el protón, el neutrón y sus familiares inestables están contruidos a partir de la misma Unidad básica: el quark.

Para manufacturar la enorme variedad de partículas subatómicas que se encuentran en la experimentación física se necesitan aparentemente seis tipos de quark.

Ellos se combinan en diferentes maneras para formar la partícula observada: así el protón y el neutrón cada uno consiste en diferentes combinaciones de tres quarks, seleccionados en diferentes combinaciones de 2 tipos de quarks básicos. Si, por ejemplo,

decimos que el protón contiene 2 quarks de tipo 1 y uno de tipo 2, entonces el neutrón contiene dos de tipo 2 y uno solo de tipo 1. Otras partículas podrán existir, pero como muy inestables, que están formados por tres quarks tipo 2 o los tres de tipo 1 y así sucesivamente.

Estos quarks parecen poseer una cualidad que los diferencia netamente de los otros objetos que se han pretendido previamente, que eran las partículas elementales.

Si bien se han podido realizar experimentos que pueden fácilmente sacar un átomo de un material y protones o neutrones desde un átomo, hasta esta fecha nadie ha tenido éxito en sacar un quark fuera de un protón.

Aun más, los físicos nos han indicado que hay buenas razones termodinámicas para que así sea y esto nos lleva de nuevo a preguntarnos si el quark realmente esta a nivel elemental de la constitución de la materia.

¿Cómo encaja el electrón y el neutrino en este modelo "quárcico" de la materia?. Ellos no están hechos aparentemente de quarks; pareciera, que de hecho y por ahora, son realmente indivisibles (serían los verdaderos átomos .....). En este sentido ellos son realmente partículas "elementales". Más aún, entre las nuevas partículas descubiertas por experimentos de rayos cósmicos o por aceleradores, existen algunos muy nuevos que se comportan en forma muy similar a que si fueran el electrón o el neutrino.

Entre estas partículas se incluye el muón, que si bien muy inestable, es un componente de la radiación cósmica que llega a la tierra (y es el producto de desintegración de unos cuantos objetos muy exóticos formados en las colisiones iniciales de la radiación cósmica).

También tenemos la partícula tau que se produjo en forma experimental por primera vez en 1975. El muón y la tau son muy parecidos al electrón, algo así como fotocopias un poco más pesadas del electrón. También existen otras dos formas de neutrino diferentes de los producidos en la desintegración del neutrón. Existen así en total unas seis partículas que parecen no estar constituidas por "quarks". Ellas se denominan en forma colectivas como los *leptones* (otra vez el griego: pequeño, o esbelto).

Seis quarks, seis leptones; el número cuatro parece haberse desplazado a seis. Otra vez una sonrisa pitagórica. Estas partículas y sus "antipartículas" parecen ser suficientes para construir todo el Universo físico, o por lo menos, lo que podemos decir por ahora. Pareciera que, 2500 años después de Leucipo y Demócrito consideraron la idea de la constitución atómica de la materia, hemos llegado a una respuesta concreta.

¿Pero habremos llegado realmente? Si bien podemos vanagloriarnos de haber descubierto los constituyentes últimos de la materia, los "átomos" verdaderos; estamos muy lejos de tener una comprensión coherente de la construcción del Universo.

Si tenemos un saco lleno de quarks y leptones, podríamos en principio asumir que estamos construyendo el Universo?

Por supuesto la respuesta es no, porque nuestro "mecano" del Universo está incompleto, algo falla.

Por ejemplo ¿cómo podemos nosotros "pegar" los quarks y los leptones en forma adecuada?

¿Cómo los podemos conformar en objetos diferentes?

El mundo diario, real de nuestra experiencia, no pareciera ser un gigantesco mosaico tridimensional de partículas idénticas y diminutas. Consiste en una enorme variedad de sustancias, desde el suelo bajo nuestros pies al aire que respiramos; desde los cristales de un copo de nieve a la estructura compleja del cuerpo humano. ¿Qué es lo que mantiene unidos estos elementos tan increíblemente disímiles?

En una escala mayor que mantiene a nuestro planeta en órbita? ¿qué es lo que mantiene a inmensos conjuntos de soles similares en las galaxias visibles a través del infinito espacio?

¿Qué es esta maravillosa fuerza que permite formar a partir de partículas elementales nuestro maravilloso mundo, macro o microcósmico?

### Y los primeros "Médicos Nucleares"

La Historia de la Medicina Nuclear, especialmente en sus orígenes está íntimamente ligada a la Física Nuclear y todo parece iniciarse en 1885 cuando

el físico Roentgen descubre el misterioso rayo X y origina toda la Radiología moderna. Los primeros portentos de la Medicina Nuclear se originan en Francia en el grupo de Henri Becquerel, los que describen que algunas sales de uranio también emiten radiaciones similares a las X de Roentgen (1886).

Becquerel le solicita a dos ayudantes que investiguen por qué y qué emite el Uranio, sus nombres: Marie y Pierre Curie, quienes inventaron el nombre radioactividad, la tipifican, aislan el radio, el polonio, obtienen el premio Nobel y lamentablemente la madre Marie y su brillante hija Irene (también físico nuclear) mueren de leucemia, sin duda, inducidas por la continua exposición a las radiaciones.

En 1901, Becquerel realizó el primer experimento de efectos biológicos de radiaciones: viaje a Londres a dar una conferencia llevando en el chaleco una muestra de radium, al regreso a París, a los pocos días, debe consultar médico por un enrojecimiento extraño de su pared abdominal justo debajo del bolsillo del chaleco.

En 1913, ahora en Viena, Hevesy y Paneth inventan la teoría del "indicador" o "trazador" radioactivo llegando en 1923 a estudiar el metabolismo del **Plomo** en las plantas, usando un isótopo radioactivo natural (el radium que se transmuta en isótopos de bismuto y plomo). En 1914, Seil demuestra que si se inyecta radón radioactivo, éste aparece en el aire espirado y en las deposiciones.

En los años 20, el grupo de Blumgart, en Boston, estudia el tiempo de circulación brazo-brazo, inyectando radium C (el actual  $\text{Bi}^{214}$ ) en un brazo y viendo la radioactividad en una cámara de ionización en el brazo contralateral.

Esta velocidad de la circulación es de 18 seg. y se demuestra alargada en los cardiópatas. Con técnicas muy groseras y mucha imaginación, este grupo estudia en los años siguientes la circulación pulmonar, el débito pulmonar, la mezcla derecha-izquierda en el corazón con anomalías, etc.

Por los años 20 la limitación estaba en que los elementos radioactivos eran todos de la serie uránica de origen natural y a un costo prohibitivo.

Pero un día un físico americano, E.O. Lawrence, estaba curioseando en la biblioteca y cayó en sus manos un artículo noruego sobre como acelerar par-

tículas. El genio de Lawrence tradujo este antecedente en un equipo de laboratorio que permitía franquear las barreras nucleares: El *ciclotrón* que en 1931 fue patentado por la Univ. de California.

En 1934, Chadwick publica la información acerca del neutrón que utiliza Fermi en Italia durante 1935, para penetrar más fácilmente aún al núcleo y sintetizar núcleos nuevos por incorporación de neutrones.

El grupo de Lawrence y su ciclotrón desencadena la síntesis de un radioisótopo tras otro: en la *Physical Review* de Octubre 15, 1934 se publica "en el campo de la Biología, el radiosodio, tiene posibilidades interesantes que no requieren ser enfatizadas", el primer trazador fisiológico había nacido.

Simultáneamente, en Italia, el grupo de Fermi preparó un isótopo radioactivo del yodo y se abrió el universo de la endocrinología moderna (era  $I^{128}$  de una vida media de 25 minutos). En USA, Hertz, Roberts y Evans en 1937, inician los estudios del metabolismo del yodo en el conejo (no había suficiente  $I^{128}$  para usarlo en el hombre sólo Hamilton, en 1938, lo generaría en el ciclotrón de Lawrence).

En Europa, el grupo de Hevesy, trabajando con  $P^{32}$ , estudió el metabolismo óseo demostrando sus aspectos dinámicos en la rata. La gran eficiencia de la absorción y su distribución ósea llevo a John Lawrence (médico, hermano de Ernest, el del ciclotrón) al uso del  $P^{32}$  como **tratamiento** de la leucemia inaugurando la era terapéutica de la Medicina Nuclear. Esto ocurría el 24 de Diciembre de 1936.

La unión de los físicos nucleares y los médicos nucleares, rápidamente llevó a diseñar radioisótopos más cómodos y más eficientes para el uso humano.

Así en 1938, el grupo de Glenn Seaborg sintetizó el yodo 131 que durante décadas fue el indicador clave de la función tiroidea e incluso en 1940 John Lawrence y Joseph Hamilton, propusieron el uso terapéutico del mismo, especialmente en el hipertiroidismo (igual uso intensivo se dio en Boston por Hertz, Roberts, Chapman y Evans por la misma época).

Esta etapa de los pioneros de la Medicina Nuclear recibió el espaldarazo con la entrega del Premio Nobel de Medicina a Hevesy en 1943, por su concepción del trazador radioactivo.

Durante e inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial, los Laboratorios Nacionales de Oak Ridge y Brookhaven empezaron la producción industrial de radioisótopos de interés médico y en la revista *Science* del 14 de Junio de 1946, se anunció la disponibilidad de varios radioisótopos a los investigadores de todo el mundo. Esto desencadenó a la fase moderna de la Medicina Nuclear. En 1946, hizo aparición el Co 60 como agente clave de la radioterapia antitumoral. En la década del 60 irrumpió el Tecnecio 99m descrito por Segré y Seaborg en 1938, pero sin uso médico hasta la década del 60.

La industria privada ingresó al uso del ciclotrón y hoy día son varias docenas de unidades que están generando centenares de radioisótopos.

A fines de 1960, la convergencia en una sola persona de diferentes recursos como la Física Nuclear, electrónica, óptica y manejo de información y el genio de Hal Anger en la atmósfera del Lawrence Laboratory en Berkeley (California) permitió el desarrollo de la cámara de centelleo o gamma-cámara cuya versión industrial prototipo fue entregada al Hospital de la Ohio State University en Septiembre de 1962.

En la década de 1950-1960, además, se aceleró el uso de los radioisótopos para la evaluación de reacciones químicas *in vitro*, potenciando notablemente la sensibilidad, lo que permitió determinar moléculas de interés biológico en el intervalo de concentraciones de  $10^{-12}$  molar, algo increíble para cualquier analista de la época. El Premio Nobel a Rosalyn Yalow y Salomon Berson en 1970, certificó la relevancia de esta metodología en la Biología moderna.

La Medicina Nuclear como una especialidad médica, lo más joven y lo más pujante, se propuso precozmente allá por 1954, pero solamente en Julio de 1971 se estructuró el American Board of Nuclear Medicine con fuerte control de la Radiología y la Medicina Interna clásica.

En esta historia tan larga, tan brevemente expuesta, posiblemente hemos excluido a muchos relevantes aportes a esta ciencia de la Biología humana. Creemos que el mejor homenaje que podemos hacer a todos ellos es aplicar lo mejor posible a nuestros enfermos el acervo cultural y técnico que

ellos nos han dejado.

Desde la curiosidad inicial, al mundo griego, a nuestros días el camino ha sido largo y fructífero,

esperemos que el futuro sea aún más brillante.

La Medicina Nuclear moderna así parece anunciarlo.