70
S

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE CIENCIAS MEDICAS

C1

FACULTAD DE CIENCIAS MEDICAS
BIBLIOTECA
GUATEMALA, C. A.

"¿Es el Indium-113m en Centellografía un Radionucleido conveniente para Nuestro Medio?"

(Realización de los 53 Primeros Centellogramas con Indium-113m en Guatemala)

RAFAEL ENRIQUE SIGUENZA VIELMAN - 1970

PLAN DE TESIS

I. INTRODUCCION

II. GENERALIDADES:

1) ¿Qué es Medicina Nuclear?

2) Atomo: Teorías, historia, estructura atómica. Modificaciones que ha sufrido en su concepción.

3) Partículas fundamentales del átomo:

   a) Partículas estables
   b) Partículas inestables
   c) Partículas compuestas

4) Naturaleza de la radioactividad:

   a) Radioactividad inducida
   b) Radioactividad natural
   c) Unidades de radioactividad.

5) Propiedades de partículas alfa, beta, gamma y rayos X.

6) Definiciones de isótopo, isóbaro e isótono.

7) Tendencia a usarse el término radionucleído

8) Conceptos de:

   a) Tiempo de vida media
   b) Vida media
   c) Vida media biológica
   d) Vida media efectiva.

III. ANTECEDENTES IMPORTANTES EN MEDICINA NUCLEAR (Fechas y autores de mayor importancia).

IV. GENERADORES

V. INSTRUMENTAL:

I INTRODUCCION

Desde que el hombre inició estudios sobre las estructuras más pequeñas que rebasan los límites de imaginación, se han encontrado o inventado una serie de nombres que las identifican: Atomo, energía atómica, protones, etc. Se podría afirmar que sus pasos en el conocimientos de ellas, han sido gigantes en los últimos 60 u 80 años, en los cuales el hombre ha sido capaz de formular atrevidas teorías que en algunos casos han sido demostradas a la luz de la verdad, y en otros, aún representan incógnitas que lo inducen a largas luchas de investigación, como si en ellas tratará de identificar el origen de la vida.

Desafortunadamente, por la naturaleza humana tan débil en muchos aspectos, estos conocimientos valiosos han sido usados para crear instrumentos y aparatos con fines de poderío, amenaza e incluso de autodestrucción en masa de la vida humana. La bomba atómica es la más patente muestra de esta aseveración, la que ha dejado una huella profunda en las generaciones actuales, que reconocen lo poco que el hombre se ha superado en el aspecto de respeto para sí mismo y para los demás. A pesar de ello, también la energía atómica, controlada en forma adecuada ha sido usada con fines pacíficos, pues se ha estudiado los efectos que producen en los órganismos vivos, con utilidades definidas de gran alcance, tal el caso de la terapia radioactiva como coadyuvante en la lucha contra el cáncer. Estos avances se han refinado en los últimos años, creándose una serie de procedimientos con fines terapéuticos y de diagnóstico médico, entre ellos la CENTELLOGRAFIA, que constituye una variedad de la aplicación de la energía despedida por todo elemento inestable radioactivo.

La centellografía que es parte de la MEDICINA NUCLEAR, se podría definir en pocas palabras, que consiste en introducir elementos radioactivos en el torrente sanguíneo y luego por medios de aparatos especiales, seguir su trayectoria hasta él o los órganos específicos a estudiar, aprovechando que emiten radiaciones por cierto tiempo, y que bien dosificadas son innocuas para el organismo. En esta forma, los diferentes órganos del cuerpo humano son dibujados sin ocasionar mayores molestias, identificándose en muchos casos procesos patológicos en forma precisa ayudando así al médico en su diagnóstico y tratamiento.

El objeto del presente trabajo es de reportar nuestra experiencia con los primeros 53 casos estudiados en Guatemala con centellografía, usando el radionucleído Indium-113m. Se analizan en el mismo los problemas de preparación de los radiofármacos, sus ventajas y desventajas, los casos errores, el por qué de ellos, y además los que en su mayor parte se obtuvieron con buenos resultados. También se hizo resaltar la conveniencia de usar, por ahora, el generador de Estaño-113, que ofrece grandes ventajas

en cuanto a comodidad, facilidad de obtención y relativo bajo costo, haciendo énfasis en este estudio de los magníficos resultados con él, los cuales fueron similares a los de centros de medicina nuclear en otras latitudes.

II GENERALIDADES

Para facilitar la comprensión de este trabajo, en esta sección se presentan los conceptos y definiciones que son indispensables para captar el objetivo del mismo. Hay muchos de ellos que se conocen desde hace algún tiempo y, que por múltiples circunstancias se han olvidado,, y otros relativamente nuevos cuyo uso es puramente técnico,, específicos para la especialidad de la Medicina Nuclear.

Para la descripción se usó un orden arbitrario, aparentemente lógico, siendo los principales términos los siguientes:

¿QUE ES LA MEDICINA NUCLEAR?

La medicina nuclear es la aplicación de los MATERIALES RADIOACTIVOS para estudio, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades humanas. Se le podría simbolizar como un triángulo, en el cual los radio fármacos, los instrumentos y los problemas biomédicos estarían colocados en las tres esquinas, y el paciente en el centro (59).

La medicina nuclear es una nueva rama de la Medicina General que ayuda a establecer formas más efectivas de diagnóstico, pues provee nuevos datos que permiten definir con más precisión el síndrome del enfermo, dá datos más FIDEDIGNOS, por ejemplo: En la medición del volumen de los hematíes tras una pérdida sanguínea, mediante el empleo de Glóbulos Rojos marcados con Cr-51. Proporciona DATOS ESPECIFICOS. Así el uso de la vitamina B-12 radioactiva puede establecer el diagnóstico de anemia perniciosa. (59) (37). Facilita el diagnóstico por eliminación, cuando en un caso de enfermedad cerebro-vascular se descarta el tumor cerebral mediante una gammagrafía. Permite obtener información con menos molestias para el paciente que otros métodos, cuando mediante un renograma isotópico se evita la necesidad de una arteriografía renal. También puede facilitar datos útiles para la asistencia ulterior del paciente, por ejemplo: el control centellográfico de la evolución del tratamiento de un absceso amebiano.

2) EL ATOMO:

Teorías, historia. Estructura atómica. Modificaciones que ha sufrido en su concepción.

La idea de que la materia es en última instancia discontinua se remonta, por lo menos a los primeros filósofos griegos. Los pensadores de una escuela griega (la Escuela de Leucipo y sobre todo, de Demócrito de Abdera, que floreció hacia el año 420 a. de c.), opinaban que la materia está constituida por minúsculas partículas indestructibles, que llamaron ATOMOS (del griego: a—sin, tomos—división, o sea indivisible). Se trataba sólo sin embargo, de una doctrina filosófica, que no logró aceptación universal por falta de testimonios experimentales. Fue en 1803, que el profesor inglés, John Dalton, desarrolló el modelo suficiente para que sirviera de explicación a los hechos experimentales entonces conocidos, entre ellos a las leyes de CONSERVACION de la masa y de la composición constante (47).

Dalton supuso que toda LA MATERIA ESTA COMPUESTA DE ATOMOS; QUE ESTOS SON INDIVISIBLES Y NO SUSCEPTIBLES DE TRANSFORMARSE UNOS EN OTROS, Y QUE NO PUEDEN SER CREADOS NI DESTRUIDOS. Admitió además, que TODOS LOS ATOMOS DE DETERMINADO ELEMENTO SON IDENTICOS EN TAMAÑO, MASA y restantes cualidades, MIENTRAS QUE DIFIEREN DE LOS OTROS ELEMENTOS PRECISAMENTE POR ESTAS MISMAS CUALIDADES. (47) (11).

Uno de los conceptos más importantes que resultan de la teoría de Dalton, es de la MASA ATOMICA, es decir LA MASA DE UN ATOMO COMPARADA CON LA DE OTRO. (como se opera con valores relativos, se le da el mismo valor que para el peso atómico, que es el peso de un átomo comparado con otro, que se haya tomado como unidad). Por la pequeñez de estas partículas, se comprende la dificultad de medir sus masas absolutas. Es posible hallar las masas relativas de los distintos átomos midiendo la masa de un elemento que se combina con una masa conocida de otro. Por ejemplo, el análisis del agua, demuestra que consta de un 11.19 o/o de hidrógeno y de 88.81 o/o de oxígeno, lo que quiere decir que por cada unidad másica de hidrógeno existen 7,931 unidades de oxígeno más (88.81/11/19). Se ha podido así establecer una escala de masas relativas, tomándose el átomo de un elemento como patrón, para referir a su masa la de los demás. Actualmente se toma como patrón al OXIGENO, por su capacidad para combinarse con la mayoría de los demás elementos, dándosele un valor de 16.00 unidades másicas. (47)

BIBLIOTECA

Debido a la pequeñez de los átomos, cualquier experiencia de laboratorio que se haga con cantidades pesables de sustancias químicas deberá operar sobre un número gigantesco de átomos. Para tener una idea, se ha calculado que unos 40 millones de átomos, puestos en contacto uno a continuación de otro, formarían una fila cuya longitud sería aproximadamente de 1 cm. (42). Por este motivo, en los trabajos de química se utiliza como unidad práctica la MASA ATOMICA DE UN ELEMENTO EXPRESADA EN GRAMOS. Y se define el ATOMO GRAMO COMO EL CONJUNTO DE ATOMOS CUYA MASA TOTAL, EN GRAMOS, ES NUMERICAMENTE IGUAL A LA MASA ATOMICA DE DICHO ELEMENTO. Este concepto permite escoger el número adecuado de átomos para las reacciones químicas. (47).

Las técnicas modernas han hecho posible determinar el NUMERO DE ATOMOS CONTENIDOS EN UN ATOMO GRAMO, y este es 6.0235 x 10^{23}, o sea 602 350 000 000 000 000 000 000, que es llamado NUMERO AVOGADRO. (11)

En 1874, G. Johnstone Stoney (inglés), estableció la naturaleza de la ELECTRICIDAD, indicando que en los fenómenos eléctricos, la electricidad existe en unidades asociadas a los átomos materiales, sugiriendo, en 1891 el nombre de ELECTRON para la unidad de Electricidad. Fue Faraday quien estudió cuantitativamente la electrólisis, llegando a establecer que cuando una corriente eléctrica atraviesa un líquido, se observan en los electrodos, testimonios de transformaciones químicas. En muchos casos los compuestos se disocian en sus elementos constituyentes, como sucede por ejemplo en el agua, que por electrólisis origina hidrógeno y oxígeno. Este hecho; de que la corriente eléctrica provoque un cambio químico, indica la existencia de cierta relación entre la electricidad y la materia, y puesto que ésta se supone formada por átomos, la ELECTROLISIS sugiere que tales átomos deben poseer estructura parcialmente eléctrica.

Por los experimentos efectuados en tubos de Descarga, haciendo pasar una corriente eléctrica en un tubo de vidrio, con dos placas metálicas (los electrodos), conectados con los polos positivo y negativo de un generador de alta tensión (ánodo y cátodo), y haciendo el vacío en el tubo, se logró observar el paso de corriente en el espacio vacío de éste, como pequeños haces luminosos, y principalmente con más intensidad de luz, cuando se colocó entre los electrodos algunos minerales como el sulfuro de Cinc. Como se observó que el haz luminoso provenía del cátodo, se le llamo rayo catódico, y luego cuando se colocó el polo norte de un imán, los rayos eran desviados hacia donde éste estaba colocado, por lo que se concluyó que los rayos catódicos tenían cargas eléctricas negativas. Fue J. J. Thomson, basado en estos experimentos (1897), quien por determinación cuantitativa de la masa y carga eléctrica de las partículas de los rayos catódicos, demostró que éstas son idénticas, no importando de qué material

está hecho el cátodo ni el gas que llene el tubo, identificando a estas partículas como electrones, constituyentes de toda clase de materia (11) (42).

Otros experimentos que Goldestein realizó por primera vez en 1886 indican que también se forman PARTICULAS POSITIVAS en los tubos de descarga, pues se observó que ciertos haces llegaban hacia el cátodo, que en este experimento consistía en una pieza metálica con un orificio central a través del cual pasabn los mencionados haces. Este fenómeno se explicó, analizando que los electrones emitidos por el cátodo son atraídos por ánodo, y como hay un gas en el tubo, los electrones chocan con los átomos neutros de este gas, y si su energía es suficiente, obligan a que se desprendan electrones de estos átomos neutros. Las sustracciones de tales cargas negativas deja partículas positivas residuales, que se dirigen, aceleradamente hacia el cátodo. En este electrodo, la mayoría de ellas se neturalizan capturando los electrones que le faltan, pero circunstancialmente, algunas se deslizan por el orificio y originan un haz positivo que se dirige hacia la izquierda del tubo. (47)

J.J. Thompson en 1898 propuso la hipótesis de considerar el átomo como una esfera de electricidad positiva, en la que los electrones negativos estarían incluídos cual gránulos gelatinosos en una bola de algodón. Casi toda la masa del átomo estaría así asociada a la electricidad positiva, conclusión que se deducía al observar como los fragmentos positivos de los átomos eran mucho más pesados que los electrones. (47).

En 1911, Rutherford ideó un modelo atómico como un sistema solar en miniatura, con un núcleo en el centro y cierto número de electrones a su alrededor.

EL NUCLEO: Está positivamente cargado y es portador de casi toda la masa atómica.

LOS ELECTRONES, ligeros, cargados negativamente, giran alrededor del núcleo, a semejanza de como los planetas giran alrededor del sol.

Exteriormente el átomo es neutro, ya que estos electrones neutralizan el efecto de la carga positiva del núcleo de modo tal, que el átomo en conjunto es neutro. Siendo las masas de los electrones extremadamente pequeñas, prácticamente la masa del átomo quedaba concentrada en su núcleo. Rutherford sugirió también que el núcleo contenía algunos ELECTRONES y que el exceso de cargas positivas, (que se les llamó PROTONES) sobre el número de electrones nucleares, correspondía al número de electrones que giraban alrededor del núcleo. (1) (11).

En este modelo, en cualquier átomo, las dimensiones del núcleo y de los electrones se suponen muy pequeñas comparadas con el tamaño global del átomo, de modo que la mayor parte del volumen atómico es realmente espacio vacío. (1).

Rutherford, supuso que el núcleo constaba de PROTONES Y PAREJAS DE PROTON-ELECTRON, que él denominó NEUTRONES, sin embargo, en 1932 Chadwick descubrió que EL NEUTRON era una partícula con existencia propia, por lo que actualmente no se acepta la presencia de electrones en el núcleo (48). Puesto que cada protón lleva una carga positiva, la carga total del núcleo será igual al número de protones que encierre. Por ejemplo, si un núcleo contiene 8 protones (caso del núcleo atómico del oxígeno), su carga será 8 positivos, sin que importe el número de neutrones que éste contenga. Es precisamente a este número de PROTONES el que se denomina NUMERO ATOMICO DEL ELEMENTO. En todo átomo neutro, el número de electrones es igual al número de protones, condición indispensable para conservar la neutralidad del mismo. LA SUMA DE LOS NUMEROS DE NEUTRONES Y DE PROTONES se llama **MASA ATOMICA** o NUMERO DE MASA de modo que la diferencia entre masa atómica y número de electrones nos da el número de NEUTRONES. La existencia de ISOTOPOS, procede de que no todos los núcleos son iguales: los átomos de un elemento poseen el mismo número de protones y de electrones, pero pueden diferir en el número de neutrones. Por lo que los ISOTOPOS pueden definirse como ATOMOS DE IGUAL NUMERO ATOMICO, PERO CON DISTINTA CANTIDAD DE NEUTRONES. Hay elementos que presentan hasta 20 isótopos. (1) (47).

Aunque la concepción del átomo de Rutherford es la base del concepto actual de la estructura atómica, tuvo que ser desechada por representar un sistema inestable de acuerdo con la MECANICA CLASICA, según la cual: TODA PARTICULA CARGADA ELECTRICAMENTE QUE GIRE ALREDEDOR DE OTRA TAMBIEN CARGADA, EMITE ENERGIA A EXPENSAS DE SU ENERGIA POTENCIAL, lo que determinaría en el caso del modelo de Rutherford, que los electrones, describiendo espirales, terminarían por precipitarse sobre el núcleo, lo que en realidad no ocurre. (11) (1). En virtud de sus cargas opuestas, los electrones son atraídos por el núcleo y como si estuvieran en reposo caerían sobre él, se tuvo que admitir que dichos electrones poseen algún tipo de movimiento que contrarrestaba la atracción nuclear. Por otra parte, los átomos emiten luz y esta energía luminosa debe proceder del movimiento acelerado de las cargas. La emisión de la luz es compatible con el modelo de Rutherford, pero al mismo tiempo conduce al absurdo, de que todos los átomos deberían reducirse a las dimensiones nucleares mucho antes de que se pudiera percibir dicha luz. (1).

Como lo anterior no sucede, se tuvo que admitir que la teoría del modelo de Rutherford, tenía ciertas incongruencias y que era necesario aclararlas. Fue en 1914 que en Alemania, Franck y Hertz, realizaron bombardeos electrónicos, es decir utilizando electrones originados de un cañón electrónico, que era capaz de darles energía cinética para bombardear el átomo. El cañón electrónico operó dentro de una cámara en la que se había hecho vacío. La cámara que contenía el gas, estaba hecha de un material conductor, de tal modo que estaba toda ella al mismo potencial y el campo eléctrico en su interior era nulo, no pudiendo por tanto variar la energía de los electrones. Así cualquier cambio energético que tuviera lugar surgiría en virtud de su interacción con los átomos del gas. Colocando gas de Mercurio dentro de la cámara se observó, que mientras el potencial acelerador en el cañón de electrones, era solo de unos pocos VOLTIOS; los electrones que llegaban al detector después de chocar con los átomos poseían casi exactamente la misma energía con que eran lanzados por el cañón (pues las colosiones con los átomos a estas bajas energías son elásticas), sin embargo cuando el potencial acelerador en el cañón sobrepasó los 5 voltios, los electrones que llegaban al detector no tenían la misma energía con que habían abandonado el cañón, sino que por el contrario, carecían prácticamente de energía cinética.

VOLTIO
1.6×10^{19} joules por carga elemental.

JOULE:
Es la unidad de trabajo, que se define como el producto de la unidad de fuerza por unidad de distancia.

Las medidas cuidadosamente realizadas sobre el voltaje del cañón y sobre la energía cinética en el detector demostró que en sus colisiones con los átomos los electrones habían perdido casi exactamente 4.9 electrón voltio. Para que esta pérdida tuviera lugar era necesario que los electrones bombardeantes tuvieran al menos 4.9 electrón-voltios y su valor se mantenía constante aunque se incrementara la energía bombardeante en un par de electrón-voltio. El átomo de mercurio, no aceptaba cantidades de energía inferiorea a 4.9 electrón voltio y aunque se le ofreciera una cantidad mayor seguía aceptando sólo esa cantidad. Sin embargo, no es ésta la única cantidad de energía que podía aceptar, pues si la energía bombardeante se subía a 6.7 electrón- voltio o mayor, los electrones podían perder 4.9 o 6.7 electrón voltio. Si se seguía aumentando todavía más la energía bombardeante, se encontraron otros umbrales para los cuales podían ocurrir mayores pérdidas. Esta es la propiedad esencial que investigaron Franck y Hertz; los átomos podían variar su energía interna, pero los cambios venían restringidos a cantidades bien definidas. Por lo que se denominó PRIMERA ENERGIA DE EXCITACION, a la cantidad menor de energía que podía aceptar un átomo. Para el Mercurio este valor es de 4.9 electrón volts y

para el Helio (el mayor de todos) es de 19.8 electrón-volts. La más baja energía de excitación atómica es la que corresponde al Cesio con 1.4 electrón-volts. Estas energías de excitación son características de la clase de átomo. Con esta experiencia se demostró que los átomos solo pueden aceptar cantidades discretas de energía y precisamente a las energías internas sucesivas que un átomo puede aceptar se les identificó como sus NIVELES ENERGETICOS. (16).

Otras experiencias realizadas con un prisma hacia el cual incide un haz luminoso, proveniente de un foco que podría ser originado por un elemento simple o por una composición cualquiera, demostraron que la luz blanca constaba de diferentes colores y que éstos se dispersaban cuando ésta pasaba a través de un prisma. El espectro de rayas correspondientes a los diferentes colores, mostró tonalidades que pasaban gradualmente de un color a otro, correspondiendo a distintas energías luminosas, pues al pasar por el prisma, la luz de mayor contenido energético (la violeta) es la que más se desviaba, mientras que la de menor energía (la roja) era la menos desviada. Si esta experiencia se repetía utilizando como foco luminoso una llama a la que se le había añadido una sal volatilizable, el espectro que se obtenía no era ya contínuo. Esto evidenció que cada elemento contribuye con un espectro de rayas característico, que estas rayas presentan una distribución regular, y por último, que los espectros de unos elementos se relacionan con los de otros. Estos espectros de rayas, consisten en un conjunto de líneas de colores muy finas, cada una de las cuales corresponde a una clase de luz de determinada energía. La existencia de un espectro de rayas indicó: QUE LOS ATOMOS SOLO PUEDEN RADIAR CIERTAS CANTIDADES DE ENERGIA, o en otras palabras, que no emiten energía en cantidades cualesquiera, sino en valores definidos y discretos. (47).

En el estudio de las partículas luminosas, Planck llegó a definir al fotón como la partícula luminosa mínima indivisible que poseía o transportaba una energía, que era siempre la misma para una frecuencia o longitud de onda definida. La energía de un fotón visible, sería aproximadamente 2.5 electrón volts. Estas energías de unos pocos electrón-volts, caen en el límite de energías mínimas capaces de producir importantes cambios químicos, pues su valor es suficiente para perturbar los electrones atómicos o incluso de lanzarlos fuera de los átomos. Para estas energías (pero no para valores inferiores) son sensibles los productos químico-fotográficos, las superficies fotoeléctricas y la retina del ojo. El intervalo energético de los fotones de luz visibles, se extiende desde unos dos electrón volts para el rojo hasta tres electrón-volts para el azul. (16) (1)

En 1903, el físico danés Niels Bohr, propuso una teoría que no solo explica los espectros de rayas mencionadas anteriormente, sino también la causa de que los edificios atómicos propuestos por Rutherford no se desmoronen (47). Aplicó las ideas de la teoría cuántica de Planck (1900) a

la interpretación de las rayas observadas en los aspectros, dando con ello lugar a una nueva explicación del átomo de Rutherford. (11).

LA TEORIA DE BOHR, establece que los electrones giran con enorme velocidad alrededor del núcleo, describiendo órbitas circulares concéntricas que corresponden a diferentes NIVELES ENERGETICOS, poseyendo menor energía potencial las más próximas al núcleo. Es decir que la energía total de cada electrón (cinética más potencial) esta CUANTIFICADA, esto es, restringida a determinados valores, lo que equivale a admitir que los electrones del átomo no pueden poseer cantidades cualesquiera de energía, sino sólo ciertos valores específicos. Con esta teoría se explica satisfactoriamente lo fundamental de los espectros atómicos, relacionando las radiaciones que en ellos se observan con saltos electrónicos entre las diferentes órbitas o niveles. Bohr postula que sólo son posibles ciertas órbitas definidas y que los electrones al moverse alrededor del núcleo, describiendo esas órbitas, no absorben ni emiten energía (PRIMER POSTULADO), en tanto que al saltar de una de esas órbitas a otra, cualquiera, absorben o emiten una cierta cantidad de energía, ya que al pasar de una exterior a otra más próxima al núcleo, los electrones pasan de un nivel energético a otro más bajo, y LA DIFERENCIA DE ENERGIA ENTRE AMBOS NIVELES SE EMITE EN FORMA DE RADIACION LUMINOSA, (SEGUNDO POSTULADO), cuya longitud de onda depende de la diferencia energética correspondiente a las órbitas o niveles relacionadas con el salto electrónico. (11).

Según esta teoría, el átomo está en ESTADO NORMAL, cuando el electrón se encuentra en el estado estacionario de la menor energía; los ESTADOS ESTACIONARIOS corresponden las órbitas en las cuales los electrones extranucleares giran sin irradiar energía. Se dice que un átomo está ACTIVADO cuando el electrón, debido a una causa exterior salta a otra órbita mayor, de más alto contenido energético, para retornar "por saltos" nuevamente a otra estable o menos activada, de menor energía, dando por resultado la emisión de energía radiante y la formación de rayas espectrales.

La energía liberada al caer el electrón de una órbita superior activada a otra de menor activación, se emite bajo forma de una onda electromagnética elemental, un FOTON o CUANTO de luz. La energía de los fotones así como la de los elementos constituyentes del átomo, se mide corrientemente en electrón voltios, ésta vale 1.59×10^{-12} ergios.

El número n, que designa un nivel energético, se designa número cuantico principal. Otro principio de la mecánica cuántica es que la cantidad de electrones (población electrónica) de un nivel enérgético n, en un átomo no puede ser superior a $2n^2$. Esto significa que para el nivel más bajo ($n=1$) el número máximo de electrones es $2x1^2 = 2$ y para el segundo

nivel (n=2) es 2 x 2^2=8. En esta forma se puede construir el llamado diagrama de niveles energéticos. La línea más baja representa el mínimo nivel de energía, el nivel que exige mayor aportación de energía si se quiere expulsar al electrón del átomo. Las demás líneas corresponden a niveles superiores. En principio existen infinitos niveles, pero en general, sólo se necesita tener en cuenta los ocho inferiores. Así, la teoría de Bohr exige que el número máximo de electrones (población electrónica) sea 2 para el primer nivel, 8 para el segundo, 18 para el tercero, 32 para el cuarto, etc. Los electrones del mínimo nivel energético (n=1) se dice que están en la capa k, en la órbita k ó en la órbita más interna, y son los más solidamente unidos al núcleo. Los electrones del segundo nivel, (n=2) se dice que se halla en la capa L o en la órbita L. Los niveles superiores se enumeran (n=3, 4, 5, ...) o bien se designan por letras (M, N, O, . . .) y así sucesivamente. Los de mayor contenido energético se denominan niveles exteriores. (11) (16).

Si bien la teoría de Bohr explicó satisfactoriamente el espectro del átomo de hidrógeno, no estableció con claridad el número de electrones que podrían agruparse en cada uno de los niveles, ni la multiplicidad de niveles energéticos más numerosos de los que la teoría podía prever, y aún cuando significó un positivo progreso en la explicación de los fenómenos experimentales, fue necesario para poder explicar convenientemente los espectros de átomos más complejos, suponer que las órbitas descritas por los electrones en sus movimientos alrededor del núcleo no eran todas circulares, sino que la mayor parte eran elípticas. Esta modificación fue propuesta por Sommerfeld, quien además afirmó que el movimiento de un electrón en el recorrido de su órbita elíptica va acompañado de un pequeño movimiento de la órbita alrededor del núcleo, produciendo una especie de revolución (MOVIMIENTO EN ROSETA), admitió también: LA EXISTENCIA DE SUB-NIVELES DE ENERGIA. (11).

Esta afirmación se dedujo del estudio detenido de los espectros de distintos elementos, observándose que cada nivel energético se componía en realidad de varios niveles intimamente agrupados. Fue esto lo que en el lenguaje técnico se llamó CAPA PRINCIPAL sub dividida en SUBCAPAS, o que cada NIVEL PRINCIPAL tenía uno o varios SUBNIVELES DE ENERGIA. El número de subniveles en cada nivel es igual al número CUANTICO PRINCIPAL de éste (n). En esta forma, la capa K (n=1) consta de un nivel sencillo, y la L (n=2) incluye dos subniveles. Esto significa que no todos los electrones de la capa L poseen exactamente la misma energía, sino que hay un grupo de ellos que son algo más energéticos que los del otro grupo. En la capa M (m=3) existen tres subniveles, cuatro en la N (n=4) y así sucesivamente. Tales subniveles se designaron de diferentes maneras, estimándose la más conveniente, representar el subnivel más bajo de un nivel dado, con la letra S, y los sucesivos cada vez mayor energía, con las letras p, d, y f. (47).

Los datos acerca del comportamiento magnético individual de los átomos se pudieron obtener de un experimento semejante al que, por vez primera realizaron Stern y Gerlach en 1921. Hicieron pasar un chorro de átomos neutros de plata procedentes de la vaporización de este metal, entre los polos de un imán especialmente diseñado y vieron que al haz se escindía en dos, ésto es, la mitad de los átomos se desviaba hacia un lado y la segunda mitad hacia el otro. (47)

Para interpretar el resultado del experimento se supuso que el electrón era una carga negativa giratoria y como quiera que una carga en estas condiciones crea un campo magnético, se dedujo que el electrón se comportaba como un diminuto imán. Fue necesario admitir que los electrones, además de trasladarse alrededor del núcleo, giran sobre sí mismos (rotación del electrón: spin), siendo este movimiento alrededor de su eje, el causante de la tendencia que manifiestan a formar pares constituidos por dos electrones girando en sentido opuesto. Se estableció entonces otro número cuántico denominado número cuántico de giro o de spin, s. (11).

Hay dos sentidos posibles para el giro, ya que un electrón puede girar en torno a su eje en el sentido de las agujas de un reloj o en el opuesto. Ambos sentidos del giro corresponden a dos imanes de orientaciones contrarias. Es lógico que dos electrones de opuesto giro se atraigan, cual lo hacen dos imanes, pero la repulsión eléctrica debida a sus cargas, ambas negativas, es mucho mayor que la atracción magnética. Cuando los electrones han de estar reunidos, como sucede en una subcapa completa del átomo, cada uno se empareja con otro de giro opuesto. El par de electrones así formado en un orbital no es magnético, ya que el campo producido por un electrón se anula con el creado por el giro contrario. (47).

La configuración electrónica de los átomos de plata, muestra que todos los electrones, excepto el 5s, se encuentran en subcapas completas. Indudablemente este electrón 5 s no tiene pareja, por lo que su giro no compensado comunica magnetismo al átomo de plata. Los dos chorros desviados del experimento de Stern-Garlach, proceden casi con seguridad de dos tipos distintos de átomos de plata, que difieren en el sentido del giro de su electrón no emparejado, los unos con giro en el sentido de las agujas de un reloj, y los otros en sentido opuesto.

Aquellos átomos que, al igual que los de la plata, contienen un número impar de electrones deben de ser paramagneticos, é incluso pueden serlo también los que tienen número par con tal que exista una subcapa electrónica incompleta.

El giro de la cuarta condición que permite caracterizar por completo, cada electrón de un átomo. Las otras tres son el nivel cuántico principal, el tipo de la subcapa y el orbital a que pertenece el electron dentro de dicha subcapa. Se acostumbra utilizar un número cuántico para cada una de estas cuatro condiciones, lo que quiere decir que cada uno de los electrones de

un átomo, está caracterizada por un conjunto de cuatro números cuánticos. Wolfgang Pauli enunció en 1925, la ley que hoy se conoce como principio de exclusión de Pauli: dos electrones de un mismo átomo no pueden tener jamás iguales sus cuatro números cuánticos (11).

3) PARTICULAS FUNDAMENTALES DE LOS ATOMOS

A) Partículas estables

B) Partículas inestables

C) Partículas compuestas

a) **Partículas Estables:** En este grupo sólo se aceptan tres: El electrón negativo, el protón y el neutrón.

a) **Electrón:**

Es la partícula más pequeña conocida de electricidad negativa que puede encontrarse aislada. Se denomina también negatrón y electrón negativo. Es la misma partícula eléctrica que forma los conocidos rayos catódicos de los tubos Crookes, y la llamada partícula "beta" del radio y demás elementos radioactivos. su masa es 1,840 veces más pequeña que la masa del átomo de hidrógeno, correspondiente al valor 9.10×10^{-28} gramos, o sea 1/1840 unidades, tomando 16 como la masa de un átomo de oxígeno. Su diámetro es de 1840×10^{-15} cm. lo que nos permite calcular que el diámetro del electrón es 1840 veces mayor que el del protón. Su carga eléctrica negativa es igual en magnitud a la del protón, pero de signo contrario, es decir -4.803×10^{-10} unidades electrostáticas, o -1.602×10^{-19} coulombios.

b) **Protón:**

Es la partícula más pequeña de electricidad positiva libre que se conoce y es la misma partícula que constituye los rayos canales de los tubos Crookes; coincide con la carga eléctrica del núcleo del átomo de hidrógeno. Su masa es aproximadamente igual a la masa del átomo de hidrógeno y ha sido calculada en gramos, encontrándose un valor de 1.6603×10^{-24} gramos, o 1.008 unidades tomando 16 como la masa de un átomo de oxígeno. El diámetro del protón ha sido calculado, dándose un valor de 1×10^{-16} cm. y su carga eléctrica positiva igual a 4.803×10^{-10} unidades electrostáticas (u.e.s.) que son las unidades fundamentales de cargas eléctricas.

c) **Neutrón:**

Es una partícula neutra de aproximadamente la unidad de masa generada como una radiación penetrante, capaz de atravesar grandes espesores de elementos pesados, originados al bombardear elementos ligeros (tales como litio, berilio, boro) con partículas alfa, y también en la fisión nuclear de elementos más pesados. Se considera constituido, teóricamente, por un protón y un electrón, de aquí su masa sea aproximadamente igual a la unidad a la unidad (1,0090) y su carga nula. El diámetro del mismo es del orden de 10^{-13} cm.

b) **Partículas Inestables:** Entre estas partículas están el positrón, el neutrino y el mesón.

a) **Positrón:**

Constituye un electrón positivo de masa igual a la del electrón, es decir 1,840 veces menor que la del protón, y su carga es la misma del electrón pero con signo cambiado; es la unidad de carga positiva.

b) **Neutrino:**

Constituye un electrón neutral formado por un positrón y un electrón (negatrón), por tanto de carga cero y masa despreciable con respecto a la unidad de masa o núcleo de hidrógeno.

c) **Mesón:**

Llamado originalmente mesotrón, es una partícula de masa intermedia entre el electrón y el protón. Se conocen dos tipos de mesones, uno más pesado (equivalente a 285 veces la masa del electrón) que el otro (equivalente a 216 veces la masa del electrón). Se distinguen por las letras griegas y respectivamente. Ambos tipos pueden estar positiva o negativamente cargados y poseen la unidad de carga eléctrica: 4.803×10^{-10} u.e.s. También se cita la existencia de mesones de mayor masa que los citados anteriormente, así como mesones neutros. Fueron descubiertos por Anderson (1936) en la acción de los rayos cósmicos, procedentes del Espacio, sobre la materia; recientemente (1948) se han logrado producir artificialmente.

c) **Partículas Compuestas:** Las únicas partículas compuestas que tienen importancia son el deuterón y la partícula alfa.

Deuterón: Constituye el núcleo del deuterio (hidrógeno pesado) y se considera formado por un protón y un neutrón, por tanto de cara 1 y de masa 2.01416.

Partícula Alfa: Es un núcleo de helio doblemente cargados, que se supone constituido por la asociación de dos protones y dos neutrones. Se desprende de los núcleos de los elementos radioactivos, de aquí su importancia de ser considerada como un constituyente fundamental del átomo; aunque realmente hay poca o ninguna evidencia de que ésto sea cierto. Su masa es 4.00279 y su carga eléctrica de 2 unidades. (11)

4) NATURALEZA DE LA RADIOACTIVIDAD

La Radioactividad es el proceso mediante el cual ciertos nucleídos se desintegran espontáneamente liberándose energía en forma de radiación.

Cuando Becquerel y los Curies descubrieron la radioactividad, las radiaciones provenientes del uranium y del radium parecieron ser una fuente continua e inextinguible. Entre 1899 y 1902 Owens, Rutherford y Soddy descubrieron que algunos elementos perdían sus propiedades radioactivas y pasaban a formar otros elementos estables. A la pérdida de radioactividad le llamaron "DECAIMIENTO".

Ruhterford también reconoció que algunas fuentes de elementos radioactivos se convertían en muestras de otros elementos radioactivos, razonó que estás sufrían "DESINTEGRACIÒN", produciendo otros átomos radioactivos, electrones, particulas alfas, y radiaciones gamma. Así Rutherford acuñó los términos: "Decaimiento", Desintegración" a principios de 1900.

El núcleo ocupa una porción del átomo de un radio aproximadamente igual a 10^{-13} cm. y está formado según se cree, por Z protones y (A-Z) neutrones, siendo Z el número y A el número de masa del átomo considerado. Resulta difícil comprender cómo las cargas positivas pueden hallarse empaquetadas en tan reducido espacio sin que la repulsión eléctrica las disperse. Los neutrones deben ser la causa de que la cohesión del núcleo se conserve, y éste por dos razones: 1a., porque no existe ningún núcleo que esté formado sólo por protones, y 2a., porque cuantos más protones hay en un núcleo mayor es la cantidad de neutrones por protón que la estabilidad del conjunto requiere.

Una cuestión más importante permanece esencialmente incontestada:

El modo como los neutrones actúan para mantener unidos en el núcleo a los protones.

En el momento actual se utilizan dos modelos nucleares: El de la gota líquida y el de la estructura en capas, que, si bien no se excluyen mutuamente, destacan aspectos diferentes del núcleo. El modelo de la gota líquida propuesto primeramente por Bohr en 1936, imagina el núcleo constituido de protones y neutrones mezclados al azar, de manera desordenada que recuerda cómo se hallan las moléculas en una gota líquida. El argumento más fuerte en apoyo de este modelo viene de la casi constancia de la densicad nuclear en todos los átomos de la tabla periódica (alrededor de 10^{14} g/cm^3). El modelo de las capas concéntricas se debe principalmente a Mayer (1950), quien estima que las partículas nucleares están dispuestas en niveles dentro del núcleo, como los electrones lo están fuera del mismo. Se presentan complicaciones debidas a la necesidad de alojar dos clases de partículas (protones y neutrones), pero el modelo gana considerable apoyo basándose en la estabilidad de ciertos núcleos.

Uno de los modos de indicar la estabilidad relativa de los núcleos no radioactivos es especificar la cantidad de energía necesaria para descomponerio en protones y neutrones aislados. Esta cantidad de energía se calcula comparando la masa (determinada experimentalmente) de un núcleo dado con la masa total reducida3 sumando las de las partículas elementales que contiene. En el caso del helio, se precisan 650 millones de kilocalorías para descomponer en protones y neutrones un mol del elemento.

a) **Radioactividad Inducida.**— Se produce cuando se bombardea un núcleo estable con otras partículas. Si la energía de éstas tiene un valor adecuado, el núcleo bombardeado se combina con las partículas incidentes para formar un nuevo núcleo, que, en el caso de ser inestable, se desintegra radioactivamente. debido a su inestabilidad, se produce un reajuste interno que da lugar a la emisión de un **positrón, ésto es, de un electrón positivo.**

b) **Radioactividad Natural.**— Como indica su nombre, se refiere a la desintegración de los isótopos inestables existentes en la Naturaleza. Estas especies naturalmente inestables son de vida media larga, o bien el resultado de otras desintegraciones radioactivas, en cuyo caso es posible seguir la pista hasta su origen, que será cierto isótopo de vida larga. (47).

c) **Unidades de Radioactividad:**

Hay dos formas de expresar la taza de desintegración atómica.

1) Desintegración por segundo (o por minuto)

2) En curies, millicuries, o microcuries.

El Curie abreviado C ó Ci es una unidad práctica para expresar la actividad de una cantidad de material radioactivo.

Se acepta que:

1 curie (c)
1 curie (c)=37,000,000,000 desintegraciones/sec.

1 millicurie (mc)=37,000,000 desitegraciones/sec.

1 microcurie (c.)=37,000 desitegraciones/sec.

Esta unidad fue acoptada porque se llegó a determinar que un gramo de Radium sufría 37 x 10^9 desintegraciones por segundo. (59)

La radioactividad, que es una propiedad atómica de la materia, presenta como propiedades características: la de hacer conductores al aire y otros gases, es decir, ionizarlos, la de impresionar las placas fotográficas, la de provocar la fluorescencia de algunos cuerpos, la de desarrollar calor de modo permanente, debiéndose estos efectos a la emisión de radiaciones de índole especial, designadas originalmente con los nombres de rayos alfa, beta y gamma, de acuerdo con su naturaleza.

5. **Propiedades de Partículas Alfa, Beta, Gamma.**

El fragmento de radio que emite estas radiaciones se coloca en un recipiente de plomo de paredes gruesas, para evitar que los rayos pasen a través de las mismas, y sólo lo hagan hacia arriba. Estas radiaciones al pasar por un campo magnético son desviadas, hacia un lado las partículas alfa, hacia el lado opuesto, más fuertemente las beta y, finalmente los gamma pasan sin sufrir desviación.

Las partículas alfa están constituídas por núcleos de helio, de masa 4, con dos cargas positivas, expulsados con una velocidad que varía (1/10 a 1/20 de la velocidad de la luz) con el elemento radioactivo emisor. Análogos en su esencia a los rayos canales, debiéndose a ellos la mayor parte de la energía radiante de los cuerpos radioactivos. Son fácilmente absorbidos por láminas metálicas delgadas (por ej. de aluminio de 0.05 mm.). Obran sobre las placas fotográficas, excitan la luminiscencia al actuar sobre ciertos cuerpos (sulfuro de zinc, platino-cianuro de bario), ionizan el aire y lo hacen por tanto, conductor de la electricidad. (11)

Siendo una partícula alfa su energía es cinética. Debido a su pequeña masa, las partículas beta se desplazan a velocidades relativas de casi la velocidad de la luz. Generalmente, las partículas beta tienen energías máximas que varían entre 0.017 y 4 Mev. Las velocidades de las partículas beta varían usualmente entre 0.93 y 0.99 de la velocidad de la luz. A diferencia de las alfa, las beta poseen una distribución energética continua que varía entre cero y un valor máximo (E máx.) característico del emisor beta (32).

Tienen poco poder de penetración, pero mayor al de las partículas alfa, pues son capaces de atravesar láminas delgadas de aluminio. (11).

Gamma y Rayos X. Radiación electromagnética (Fotones).

a) Los fotones son de naturaleza electromagnética e incluyen tanto a los rayos X como a los rayos $-\gamma$.

b) Los rayos X los rayos $-\gamma$ difieren en su origen:

1) Los rayos $-\gamma$ se originan en el núcleo atómico.

2) Los rayos X se originan fuera del núcleo, ejemplos:

a) Los rayos X característicos.

b) Los rayos X Bremsstrahlung.

AMBOS SE DEBEN A INTERACCIONES CON LOS ELECTRONES ORBITALES MAS INTERIORES O MAS FUERTEMENTE LIGADOS EN EL ATOMO. (32)

Son esencialmente haces de gran energía muy parecidos a los rayos X (también de enorme contenido energético), y suelen acompañar a las emisiones de partículas beta y de positrones. Representan el modo más frecuente de que dispone un núcleo excitado para desembarazarse del exceso de energía. (47)

Los rayos gamma son análogos a los rayos X, no están constituidos por materia como los alfa y beta, empleándose la palabra rayo en el sentido dado a esta palabra por Huygens, es decir, en el de rayo de luz. Son ondas electro-magnéticas que tienen, en general longitudes de onda más corta y un poder de penetración mucho mayor que los rayos X, constituyendo la parte activa en las aplicaciones radioterápicas. Son capaces de atravesar una capa de plomo de varios centímetros de espesor. (1)

6. DEFINICIONES DE:

Isótopo

Isóbaro, e

Isótono

Los átomos son clasificados de acuerdo al número de protones "Z", el número de neutrones "N" y el número de núcleones "A" en el Núcleo.

Isótopos: El concepto de Isótopo (del griego isos, igual y tipos, lugar) fue introducido en la ciencia por F. Soddy (1910), quien denominó así a los elementos que presentaban distintos pesos atómicos y diversas propiedades radioactivas (si las tuvieran), pero conservaban las mismas propiedades químicas y la mayor parte de sus características físicas. Los isótopos se diferencian, además, en el número de sus cargas positivas y negativas del núcleo, pero poseen la misma carga nuclear, idéntico número atómico igual número de electrones en la envoltura y ocupan, por consiguiente, un mismo lugar en la clasificación periódica.

Los elementos isótopos se encuentran mezclados en distintas proporciones en gran número de elementos químicos, que hasta la introducción del concepto de isotopía, se creían formados por átomos semejantes entre sí e iguales en peso. Así, por ejemplo, el elemento cloro está formado por dos isótopos de masas 35 y 37 dominando el primero y dando para la mezcla una masa de 35.46, que representa su peso de combinación y no su peso atómico como antes se creía. Los isótopos que constituyen estas mezclas, por tener propiedades químicas idénticas, no pueden ser separados químicamente, teniéndose que acudir a procedimientos físicos, basados en sus diferentes densidades y en la distinta desviación que sufren los rayos canales (rayos positivos del tubo Crookes) por un campo eléctrico o magnético, cuando los átomos que los constituyen tienen igual o distinto peso atómico. (11)

Isóbaros: Steward (1918) denominó isóbaros (del griego isos, igual y baros, peso) a los elementos que tienen el mismo peso atómico, distintas propiedades químicas y diferente número atómico, ocupando, por consiguiente, diversos lugares en la clasificación periódica. Presentan igual número total de cargas positivas en el núcleo, pero desigual número de cargas negativas y por consiguiente de neutrones.

Entre los distintos isótopos de los elementos argón, potasio y calcio, vecinos en la clasificación periódica, se encuentran átomos que poseen la misma masa atómica, 40, y diferentes números atómicos, 18, 19 y 20, por lo que entre sí resultan elementos isóbaros. De acuerdo con la notación de los isótopos se presentan de la siguiente manera:

$^{40}_{18}A$	$^{40}_{19}K$	$^{40}_{20}Ca$

Los isóbaros se rigen por la regla de Mattauch, según la cual no existen isóbaros estables cuya carga nuclear difiere solamente en una unidad. De acuerdo con esta regla son estables, por ejemplo, los isóbaros $^{40}_{18}A$ y $^{40}_{20}Ca$, mientras que el isóbaro intermedio $^{40}_{19}K$ es inestable, pues difiere de cada uno de los otros dos en una sola unidad.

En las desintegraciones radioactivas resultan los isóbaros al desprenderse una partícula beta, pues no se modifica esencialmente el peso atómico, mientras que la carga nuclear resulta aumentada en una unidad. Así por ejemplo, el torio, de peso atómico 234 y carga nuclear 90, procedente de la desintegración del uranio ordinario, se transforma por pérdida de un electron en el protactinio, de peso atómico 234 y carga nuclear 91, el cual por emisión de otro electrón, se transforma en uranio II de peso atómico igual que los anteriores, 234, pero de carga nuclear 92. Por consiguiente, estos tres elementos son isóbaros entre sí. (11).

Isótonos: Son los nucleídos que tienen el mismo número de neutrones "N" pero diferente número de protones "Z". (61).

Ejemplos de los elementos que coinciden con los términos expuestos anteriormente son los siguientes:

Isótopos de carbono son: $^{11}_{8}C$, $^{12}_{6}C$, $^{13}_{6}C$, $^{14}_{6}C$,

Isóbaros de número de masa son: $^{12}_{5}B$, $^{12}_{6}C$, $^{12}_{7}N$.

Isótonos de número de neutrón 6 son: $^{9}_{3}Li$ $^{10}_{4}Be$, $^{11}_{5}B$,

$^{12}_{6}c$, $^{13}_{7}N$, $^{14}_{8}O$.

Nucleido: es una especie distinta de átomo que está dado por las combinaciones del número de protones "Z" y el número de nucleones "A". (Solo se necesita saber 2 números, "Z" y "A", porque número de neutrones es "N" = A-Z.

Si los átomos están constituidos por núcleos inestables son elementos radioactivos, los cuales como especie determinada son llamados radionucleidos. (59)

7) **Tendencia a usarse el Término Radionucleido:**

En 1913 Soddy mencionó por primera vez la palabra "isótopo" explicando que la había adoptado por tratarse de sustancias que ocupan el mismo lugar en la tabla periódica.

la medicina nuclear se hubiera iniciado poco después de 1913, la denominación "medicina isotópica" habría sido correcta; sin embargo en 1921 Otto Hahn, en Alemania, introdujo una nueva complicación al descubrir que el uranio-Z ($^{234}_{91}$Pa) no sólo era isotópico del uranio X_2 ($^{234}_{91}$m Pa) sino que tenía además el mismo número másico. Un siglo antes Von Liebig había demostrado que el fulminato de plata sustancia sumamente explosiva, tenía exactamente la misma composición que el de plata, desprovisto de todo poder explosivo. Tales sustancias habían sido denominadas "isómeros" por Berzelius, pero en este caso se trataba de isómeros químicos. Al descubrirse nuevos casos del fenómeno de Hahn (sustancias del mismo peso y del mismo número másico) Lisa Meitner (en 1936) propuso la denominación "isómeros nucleares". A partir de entonces la física nuclear ha superado la utilísima noción del isótopo ideada 25 años antes por Fajans y Soddy. En 1939 el físico holandés Belinfante propuso la expresión "nuclón" que, por razones etimológicos, fue transformada en "nucleón" por el físico danés Moller. En 1944 un físico americano, Jeffries, propuso el término "nucleónica" para designar a la nueve disciplina. A partir de 1934, el grupo italiano de Fermi había obtenido en sus estudios sobre captura de neutrones una cuarentena de isótopos radioactivos artificiales. La entrada en escena del ciclotrón produjo nuevas transmutaciones. Aunque el objetivo principal del físico era estudiar los neutrones y las transmutaciones, también fueron estudiados, especialmente en California, algunos de los isótopos obtenidos como subproductos. La lista de 40 radioisótopos de Fermi, aumentó con tanta rapidez que en 1940 Seaborg y sus colaboradores pudieron publicar una tabla de isótopos de 17 páginas. En 1944 fueron ya necesarias 32 páginas para albergar la lista. El número de páginas aumentó a 82 en 1948, a 182 en 1953 y a 319 en 1958.

En 1947, un físico norteamericano Kohlman, en vista de la creciente complejidad y la menguante precisión de la terminología, propuso la palabra "nuclidos" para designar a las especies de átomos. La simple caracterización de un isótopo en función del número de neutrones y el número de protones resultaba insuficiente. Hacia 1949 el problema

había adquirido tal complejidad con la entrada en escena de isótopos, isotones, isóbaros, isómeros e isodiasferos, que Sullivan se vió obligado a publicar una carta trilineal de nuclidos a fin de codificar todas las posibilidades. En 1961 existían 1582 isótopos conocidos con arreglo a la antigua definición, pero muchos de ellos eran isómeros múltiples. Así pues, el término isótopo había dejado de ser aplicable. (37).

CONCEPTOS DE:

a) **TIEMPO DE VIDA MEDIA: T 1/2**

Es el período en el cual la mitad de población de átomos se desintegra. (61). Está basada en la velocidad de desintegración radioactiva. Es decir que tiempo de vida media: es el tiempo necesario para que se desintegre la mitad de un número dado de átomos, así, en el caso de 100 partículas de "N^{13}, la vida media (que se representa por T 1/2), es de 10.1 minutos. Esto significa que a los 10.1 minutos se habrán desintegrado 50 partículas, y dentro de 10.1 minutos, las 50 que habían quedado, sólo quedarán 25, y así sucesivamente (47).

b) **VIDA MEDIA:**

La vida media de un radionucleido es diferente a su tiempo de vida media, ya que éste indica el período en que la totalidad de una población atómica llega a la mitad de su valor; ésto por supuesto, trae consigo la disminución en el promedio de cantidad de radiación que emite el radionucleido, pero si se supone que ésta no disminuirá, se obtendrá entonces una cantidad de radiación contínua como la inicial, hasta que el radionucleido se desintegre totalmente, y al tiempo requerido para que ésto suceda se le llama vida media.

c) **VIDA MEDIA BIOLOGICA:**

Es el tiempo que requiere un sistema biológico (tal como un hombre o un animal), para eliminar por procesos naturales la mitad de una substancia radioactiva que se le haya introducido. (2).

d) **VIDA MEDIA EFECTIVA:**

Es el tiempo requerido por un radio nucleido en un sistema biológico, (tal como un hombre o un animal), para reducir su actividad a la mitad, factor que resulta de la combinación del

decaimiento radioactivo y su eliminación biológica. (2).

III ANTECEDENTES IMPORTANTES EN MEDICINA NUCLEAR:

De los ya referidos en las teorías de la concepción de la estructura nuclear, se hace aquí una descripción sencilla, cronológica de hechos importantes en el desarrollo de los fundamentos de la medicina nuclear.

En 1903: Crookes, usó el ESPINTARISCOPIO para medición de particulas alfa.

1913: HEVESY, G.: Principió a usar a los radioelementos como TRAZADORES en química y física. En 1923 introdujo las técnicas de RASTREO, usando un contador GEIGER, logrando obtener información respecto a ciertos aspectos del metabolismo del calcio en las plantas.

1930: Hevesy, G., Wagner, O.H. reportan estudios de rastreo.

1934: Curie, I, Joliot, F. descubren la producción artificial de una nueva clase de elementos radioactivos.

Livingston, M., S. Henderson M.C. inducèn la radioactividad por bombardeo con neutrones.

1937: Martin L.C. y Wilkins T.R. descubren una emulsión fotográfica para evidenciar las huellas de partículas.

Hamilton J.G. y Stone, R. hacen uso clínico del sodio radioactivo.

1938: Hertz S. Roberts, A. Evans R. D., usan el yodo radioactivo en el estudio de la fisiología tiroidea.

Hamilton, J.G., determina la absorción de isótopos radioactivos de sodio, potasio, yodo en sujetos humanos normales.

1939: Lawrence, J.H, Scott, K.G. estudia el metabolismo del fósforo en animales normales y con linfomatosis. y estudian también la leucemia con fósforos radioactivos.

1941: Hamilton J.G., Soley, M.H. estudian el metabolismo del yodo por la glándula toroidea in situ usando el yodo radioactivo en sujetos

normales y en pacientes con varios tipos de bocio.

La rence, J.H. informa un nuevo tratamiento de la leucemia y policitemia.

1941: Hamilton G.H. aplica los trazos de partículas radioactivas a la biología y la medicina.

Urey, H.C., lleva a cabo la preparación y el uso de isótopos estables.

1942: Hertz, Roberts A., hace una aplicación del yodo radioactivo en la terapia de la enfermedad de Graves.

Treadwell A. de G., Low-Beer, B.V.A., realiza los estudios metabólicos de neoplasias del hueso, con Stroncium radioactivo. (59).

Por los años 40, el grupo de George Moore (Universidad de Minnesota) logró diagnosticar tumores cerebrales usando un pequeño tubo de Geiger-Muller en el cerebro a fin de descubrir una captación excesiva de fósforo-32. Poco tiempo después sustituyeron este isótopo por un núclido del yodo emisor de rayos gamma, cuya presencia podían detectar desde el exterior.

La captación tiroidea se ha medido casi desde el principio con ayuda del radioyodo; sin embargo se trataba de un método fisiológico cuantitativo. Varios médicos ingleses, mediante un detector de gran precisión, lograron localizar las regiones de mayor actividad. Haciendo mediciones en puntos uniformemente expaciados y conectando los resultados mediante líneas de isorrespuesta trazadas a mano obtuvieron una imagen del tamaño y de la forma aproximada de la glándula. Benedict Cassen (Los Angeles) sustituyó el trazado manual por un "Scanning" o trazado mecánico con registro automático. El "cuadro" así obtenido daba una imagen bastante exacta aunque no muy precisa de la posición, el tamaño, la forma y la distribución de la actividad de la glándula tiroidea en lo referente a su capacidad para concentrar el yodo radioactivo.

Poco después, Hal Anger (Universidad de California) ideó un procedimiento gráfico más rápido para todo el cuerpo basado en un registro fotográfico. Al poco tiempo empezó a utilizar un colimador puntiforme que le permitía examinar una zona pequeñísima con un gran poder de resolución. El grupo de Gorden Brownell (Massachusets Institute of Technology) introdujo luego un colimador bicéfalo que aumentaba la precisión de la localización y en el que los núcleidos emisores de positrones enviaban simultáneamente rayos gamma en dirección exactamente opuesta.

Sobre esta base y a partir de 1950 fueron apareciendo diversos

procedimientos de localización visual. Cualquier localización dentro del organismo de un isótopo emisor de rayos gamma podía descubrirse desde fuera, siempre que la cantidad del radionucleido depositada fuera suficiente para contrarestar el factor distancia fuente-detector y tuviera suficiente actividad para permitir una colimación extrema.

George Moore ha descubierto un compuesto, la diyodofluoresceina, que parece localizarse con gran especifidad en los tumores cerebrales; por otra parte, los sencillos compuestos de radioyodo satisfacen plenamente las necesidades de la exploración tiroidea y han contribuído a la gran difusión alcanzada por gammagrafía de tiroidea. El rosa de bengala y el oro coloidal radioactivo ha permitido a su vez la exploración hepática.(37).

IV GENERADORES

Un generador está basado en el principio de que el nucleído hijo puede ser separado repetida y prontamente del nucleído padre que por lo regular tiene una larga vida. Las diferencias en la conducta química de ambos ha sido la base para que éstos puedan ser separados. La relación general entre la radioactividad del nucleído padre y el hijo puede ser derivada de la interacción de las constantes de decaimiento de los dos radionucléidos. Después de que el nucléido hijo ha sido removido del padre la concentración del radionucleído hijo aumenta progresivamente así como disminuye la del padre, hasta que la actividad del nucléido derivado alcanza su máxima concentración. Se establece así un equilibrio de las dos actividades que permanecen constantes.

De los típicos generadores usados han sido ^{132}I, ^{99m}Tc, ^{68}Ga, y ^{87m}Sr. y consisten de una pequeña columna de vidrio conteniendo oxído de aluminio, al cual están firmemente absorbidos. El aluminio es retenido en el tubo por un disco de vidrio poroso. La actividad del radionucleído hijo es eluído desde el generador por derramamiento del eluyente a través de la columna y colectada en un vaso de tamaño aceptable. (61)

V INSTRUMENTAL

a) Movil, b) Fijo, c) Cuerpo completo

Los primeros investigadores que trabajaron con radioactividad, utilizaron para la medición de partículas, el instrumento llamado

ESPINTARISCOPIO, el cual estaba constituido por una pantalla de sulfuro de zinc, que servía de centellador, ya que debido al corto alcance de la partícula alfa, al ser absorbida por dicha pantalla, su energía se depositaba en un volumen muy pequeño y parte de ella se convertía en centelleo. La intensidad de éste era muy debil, por lo que la observación debía realizarse en un cuarto obscuro, los ojos del observador debían haberse adaptado a la oscuridad. La pantalla de sulfuro de zinc podía observarse con un microscopio. Como la energía de los rayos beta y gamma son menores que los de la alfa, ésto hacía imposible la detección de las beta y las gamma con este aparato.

Actualmente se usan detectores de centelleo más efectivos, pues son el resultado del desarrollo de un instrumento que reemplaza al ojo en la observación de los centelleos: EL TUBO FOTOMULTIPLICADOR. (32).

Existen dos tipos de instrumentos que dibujan la imagen de un estudio. El primero es:

a- Detector móvil o explorador (scanner) en el cual la distribución de la radioactividad es inscrita por medio de un movimiento relativo entre el detector y el sujeto, sobre la región completa que interesa al estudio.

b- Un detector fijo, o cámara, la cual no tiene movilidad pero las imágenes que produce son completas y la distribución de la radioactividad es registrada o inscrita desde todos los puntos en forma simultánea.

Un ejemplo de este último aparato es la cámara "Anger," y ofrece la gran ventaja de que todas las partes de una región estudiada pueden ser examinadas simultáneamente. Su descubrimiento fue hecho precisamente por Anger en 1956, pero sus principios básicos son muy antiguos, pues Roënger (1895) reportó el uso de un film fotográfico y un ánodo con un agujero fino, para hacer imágenes en su tubo de rayos X. Ambos, el detector móvil y el fijo son esencialmente la combinación de un "colimador", para producir una imagen de la radiación, y convertir por cambios de esta misma imagen en un cuadro visible; pero en el detector móvil la información de INTENSIDAD y POSICION son transferidos en procesos separados.

Estos datos son transferidos simultáneamente en el detector fijo.

c- DETECTOR DE CUERPO COMPLETO (WHOLE BODY COUNTER)

Este es un aparato usado para medir la radioactividad completa de un cuerpo humano.

Primeramente fueron desarrollados para medir la radioactividad contenida en los cuerpos de personas que habían ingerido dosis de radium. Schlundt 1929.

Las ventajas de este aparato son principalmente: Facilidad en el estudio de balances metabólicos, con medidas precisas, evitando las iniciales colecciones de: Orina, heces, sudor, o aire respirado. En esta forma dice gran número de estos estudios pueden ser practicados en el Hospital. Además esos estudios resultan en muy baja radiación para el paciente, permitiendo así seguridad en el estudio de niños normales en madres embarazadas. Entre sus desventajas se encuentra equipo muy complejo el cual es muy dificil de obtener y de mantener. Hay dificultad en su calibración.

Un tipo común de este aparato, consiste en un cristal largo y único o múltiples cristales pequeños montados dentro de un cuarto, construido con paredes gruesas de acero. El paciente entra al cuarto y es colocado en una silla especial u otro soporte adecuado. El aire de este cuarto es continuadamente filtrado, enfriado y cambiado. Un circuito cerrado de televisión permite la observación del paciente; está provisto de luz suave, con música en frecuencia modulada, y dos bocinas para comunicación entre el sujeto y el examinador. Además posee un equipo electrónico que permite leer en forma precisa el peso y pulso del paciente. (59) (23)

VI RADIOFARMACOS:

Las drogas radioactivas difieren de las otras drogas, en que ellas son usualmente dadas para obtener información, a diferencia de las otras en que se persigue obtener una respuesta farmacológica. Por ellos no se les pueden aplicar los principios farmacológicos, tales como relación Dosis respuesta; sin embargo los problemas de esterilidad, pirogenicidad y estabilidad química son aplicables a todas las drogas sean o no sean radioactivas.

Los radiofármacos están divididos en dos grandes categorías: en la primera las drogas pueden ser eventualmente usadas en forma no

radioactiva. En tales casos la droga marcada es usada como un trazador, para proveer información fundamental acerca de la estabilidad bioquímica farmacológica de las drogas.

En el segundo grupo los depósitos de radionucleidos forman parte esencial de la droga, la cual siempre se dará en forma radioactiva, ya sea para adquirir información o para suprimir una función biológica, tal como la función de la glándula tiroidea en el hipertiroidismo. Los radiofármacos han sido usados para el estudio de localización de drogas, mecanismos de catabolismo, promedios de excreción, absorción del tracto gastrointestinal, productos de metabolismo, homogenicidad de preparaciones. También han sido usados para identificar productos, la edad del mismo, etc. La utilidad de los radiofármacos depende de las características físicas del radionucleido, así como de la conducta química y biológica del material marcado. las sustancias pueden ser caracterizadas por cuatro grandes parámetros:

1- Conducta biológica
2- Tipo de decaimiento radioactivo.
3- Características de detección.
4- Factores que intervienen en la producción.

La forma en que puede ser seleccionado un radiofármaco sería la siguiente:

1- Establecer que el programa de diagnóstico para ser resuelto o el parámetro fisiológico para ser medido, requieren de uno o varios radiofármacos posibles.

2- Establecer la dosis de radiación máxima permisible, (en radios), la que puede ser razonada según la información que se desee obtener;

3- Determinación del período de tiempo que cada radiofármaco permanece en el órgano u objetivo a estudiar, así como en otras partes del cuerpo, particularmente en regiones vecinas.

4- Determinar la dosis de cada fármaco (en microcuries) que puede ser administrada sobre el máximum permisible de dosis (en radio).

Para obtener la información necesaria no es forzoso en la mayoría de los casos dar radiación en cantidades tan grandes como la dosis máxima permisible. En algunos casos sin embargo lo que se gana en información en el procedimiento hace que se exceda de la dosis máxima permisible, pero en casos muy raros.

VII CENTELLEOGRAFIA

La aplicación de radionucleidos consiste esencialmente en introducir el material radioactivo en el organismo y determinar seguidamente dónde se localiza y en qué proporción lo hace. Los primeros métodos consistían en introducir el radionucleido y se medía luego la radioactividad en la orina las heces o la sangre. Aunque estas técnicas siguen teniendo sus indicaciones, en la actualidad despierta más interés la detección y análisis cuantitativo de la radioactividad en el propio organismo, gracias a la introducción de aparatos de medición apropiados. (32).

Hasta hace poco la introducción de la radiología en el estudio de la Medicina, constituyó un marcado avance en la determinación de los órganos internos sin necesidad de hacer una incisión en el organismo. La reciente introducción de los radionucleidos en la realización de los centelleogramas ha constituido un avance mayor, con la ventaja de estudiar en forma efectiva la evaluación de la estructura y función de los órganos internos sin ocasionar molestia al paciente. (59)

Como se recuerda, la desintegración radioactiva de los átomos da lugar a la emisión de partículas alfa, partículas beta (electrones con carga negativa) y positrones (que son electrones cargados positivamente). También se libera una energía electromagnética denominada Radiación Gamma en cantidades que se miden en fotones.

Esta última penetra fácilmente en el organismo, a diferencia de las partículas Beta que pronto quedan detenidas; así pues, los modernos métodos de diagnóstico con radionucleidos consisten en introducir una fuente de fotones en el cuerpo y medir desde fuera la energía electromagnética desprendida, con un aparato capaz de expresarla en términos cualitativos o cuantitativos. Ellos suponen una conversión de la energía, cuya primera fase es una modificación de la longitud de onda destinada a transformar las cortas ondas Gamma en ondas más largas situadas en la zona ultravioleta o en el espectro visible. Para ello suele utilizarse un cristal de yoduro de sodio activado con talio, que transforma la energía en DESTELLOS O CENTELLEO. Pero como la energía luminosa emitida sigue siendo demasiado pequeña para ser perceptible, se utiliza además un foto multiplicador para transformar las señales luminosas en señales eléctricas mensurables. Estas son objeto de una nueva amplificación y pasan por último a través de un selector de impulsos que selecciona o "criba" los impulsos eléctricos y sólo cuenta los comprendidos entre ciertos voltajes. El resto del aparato, denominado espectrómetro, no es más que un sistema de registro de impulsos. Como cada radionucleido posee su propio espectro de emisión (es decir, emite fotones con una distribución característica de voltajes máximos) su diferenciación no ofrece dificultades. (32)

Usualmente es realizado para investigar presencia o ausencia de lesión, posición, límites, de un órgano normal o enfermo; más recientemente se ha aplicado para medir la cantidad de función orgánica.

Ambas clases de información dependen del conocimiento específico de las diferencias que puede existir entre la acumulación selectiva de la radiación en un órgano sano o dañado. Los principales problemas en la centelleografía, están relacionados con las propiedades físicas y biológicas de los compuestos marcados, la configuración y localización de la estructura para ser visualizada, y las limitaciones del instrumento usado.

Por ello, el radionucleido usado debería emitir radiaciones gamma, con energía suficiente para penetrar en los tejidos y salir del cuerpo, pero no tanto que atraviece fácilmente el blindaje de protección de los aparatos. Estos requerimientos usualmente limitan la selección de fotones para centelleografía, que deberán tener un rango de energía que puede ir de 20 a 600 Kev. (Kilo electrón Voltio).

Idealmente los radionucleidos no deben emitir partículas alfa, partículas beta, o fotones de muy baja energía, ya que ellos tienen un recorrido extremadamente limitado a través de los tejidos y contribuyen a aumentar la dosis de radiación, sin que provean una información útil, y ésta, es tan importante que limita la cantidad de material radioactivo que puede ser dado al paciente. Las propiedades biológicas del compuesto, deberán permitir una distribución selectiva entre las estructuras que interesan. Una variedad de mecanismos fisiológicos han sido empleados para obtener esta diferencia de distribución: Transporte activo del yodo dentro de la glándula tiroidea, fagocitosis de coloide por las células del hígado, secuestro de glóbulos rojos en el bazo, bloqueo capilar con macromoléculas en región pulmonar, difusión de pequeñas moléculas en los compartimientos sanguíneos. La situación más favorable es aquella en la cual existe una gran cantidad de radioactividad en la estructura que se visualiza, y poco o nada en las áreas circundantes. (59)

VIII INDIUM 113m

a) Definición

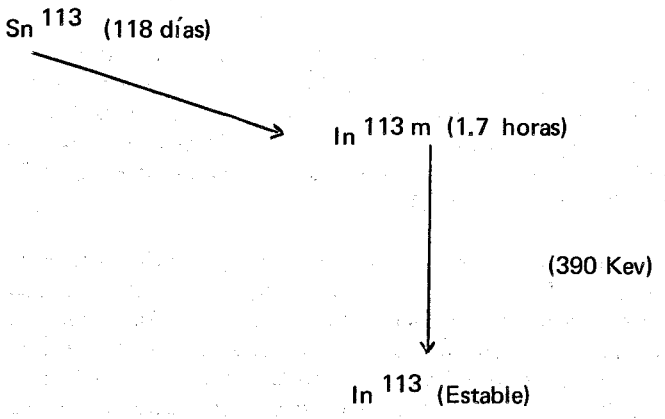
b) Características

c) Ventajas generales

d) Desventajas generales

e) Comparación del Indium 113m con otros radionucleídos de vida media.

a) **Definición:** El Indium 113 es un radionucleido, de reciente introducción en la medicina nuclear, por Stern y Goodwin en 1966. Es obtenido de un generador padre que es el estaño 113, el cual tiene una vida media de 118 días. Sus características físicas de decaimiento se exponen en el siguiente esquema:



b) **Características:** Para tener una idea general de sus principales características, se exponen a continuación sus ventajas y desventajas en su aplicación centelleográfica.

c) **Ventajas generales:**

A) Vida media larga del Sn-113 (118 días) (Radionucleído padre). Acumulación de vida en gran cantidad: esto trae como consecuencia:

a- Disminución del costo

b- Aprovechamiento continuo.

c- El problema de transporte disminuye.

d- Se le pueden hacer pruebas de control de calidad, en forma extensa antes de ser despachado y manufacturado.

e- Se le puede practicar pruebas locales en hospitales antes de ser usados.

B) Corta vida media del Indium 113m (1.7 horas)

a- Disminuye la dosis de radiación para el paciente.

b- Se simplifican los problemas de contaminación para el laboratorio.

C) Tipo de Decaimiento:

a- Fotón monoenergético gamma, 390 Kev.

b- Energía gamma posible de ser medida con la existencia del equipo detector diseñado para yodo 131

c- Alta penetración en los tejidos.

d- Transición isomérica, que disminuye la dosis de radiación al paciente.

e- La energía del fotón es de 390 Kev. (Kilo electrón volt.). Que aumenta la resolución intrínseca en la cámara Anger.

D) Química

a- Sólo un estado de oxidación.

b- No se acumula en la tiroides o n el plexo coroideo; por lo tanto no se requiere agentes bloqueantes.

c- Se une instantáneamente a la transferrina del plasma.

d- Forma prontamente quelatos estables.

e- Fácilmente se incorpora a las partículas.

f- No es necesario que se le estabilice como una gelatina.

E) Esterilidad del generador:

a- La elución ácida disminuye el riego del crecimiento bacteriano.

b- El eluído producido no es afectado por agentes bacteriostáticos, tales como el alcohol benzílico.

d) **Desventajas Generales:**

A) Larga vida del radionucleído padre (estaño):

a- La contaminación del laboratorio es difícil de corregir.

b- Si el generador es afectado por crecimiento bacteriano o arruinado por un eluyente equivocado, la pérdida económica es grande.

c- Si existe en el eluido estaño 113, que no fuera detectado, podría constituir un alto riesgo para el paciente.

B) Corta vida media del radionucleído hijo (indium):

a- Limita el uso de las mediciones fisiológicas que requieren una observación prolongada.

b- Requiere más de una preparación de radiofármacos por día.

C) Tipo de decaimiento:

a- La energía del fotón requiere un colimador de séptum grueso.

b- Disminuye la sensibilidad con los cristales finos tales como los de la cámara Anger.

c- Alta dosis de radiación para el técnico.

d- La alta penetración en los tejidos puede ser un problema, por ejemplo: la radiación del hemisferio cerebral o pulmón opuestos.

e- La fracción de conversión interna es aproximadamente 30 o/o lo cual aumenta la dosis de radiación.

D) Química:

a- No puede ser usado directamente como agente en centelleografía cerebral. (9).

Pra tener una mejor idea, en resumen se expone a continuación las características físicas, químicas y biológicas de los radionucleidos de vida media corta:

Indium 113, Tecnecio 99m, y galio 68.

	^{99m}Tc	^{113m}In	^{68}Ga
Vida Media (hora)	6	1.65	1.31
Vida media de su generador (días)	2.7	118.00	280.00
Emisión Gamma (Mev.)	0.140	0.393	0.51
Energía	0.095	0.55 ó 58	------
(Energía local de depósito, MeV).	0.0148	0.115 ó 0.138	0.55

El tiempo de vida media físico del indium ha sido formalmente considerado con valores de 104 a 105 minutos, pero recientes trabajos (10) indican que es más corto: 99.3 minutos.

IX ¿ES EL INDIUM UN RADIO NUCLEIDO CONVENIENTE PARA NUESTRO MEDIO?

Para llegar a la conclusión de que el Generador de Sn-113-In 113m, es conveniente para nuestro medio se analizaron diferentes factores, y principalmente costo de obtención, efectividad y precisión en las diferentes investigaciones, facilidad de incorporación en múltiples y variados estudios, facilidad de obtención. En este trabajo sólo se pudieron analizar parcialmente éstos, pues hasta ahora sólo se tiene experiencia en el manejo del In-113m, con la realización de los primeros trabajos de Centelleografía en Guatemala.

Desde el punto de vista económico, fue necesario revisar los datos proporcionados en un artículo publicado por el Centro de Medicina Nuclear de la Facultad de Medicina de Montevideo, Uruguay, en el que se analizan los estudios comparativos realizados con el generador de Sn-113 —In-113m, y el Mo-99 —To-99m, durante el año de 1969.

PRECIOS DE GENERADORES

$^{113}Sn - ^{113m}In$

GENERADOR	TIPO	ACTIVIDAD	COSTO
Generador A	Estéril	100 mCi	2,021 Doll.
Generador B	No estéril	100 mCi	2,220 Doll.
Generador C	Estéril	150 mCi	3,242 Doll.

Obtenido de:

New England Nuclear Corp.
Commissariat a l'Energie Atomique (France)

Durante el año de 1969, se practicaron en ese Centro, un total de 925 estudios con In-113. Se compraron durante el año dos generadores de 100 mCi, no estériles. Como se había iniciado ya el uso de un generador estéril de 100 mCi del que se había desechado más del 61 por ciento de su vida, hubo necesidad de comprar un segundo generador de 150 mCi para el mismo grupo de pacientes estudiados, del que solamente se desechó 30 por ciento de su vida.

El costo por Milicurie aparece en el siguiente cuadro:

TIPO DE GENERADOR	TOTAL COSTO PARA 1969	COSTO POR mCi USADO
Generador A Estéril 100 mCi	3,254	0.30
Generador B No estéril 100 mCi	4,440	0.41
Generado C Estéril 150 mCi	4,248	0.39

Seguidamente, revisaron los precios de los generadores de Molibdenotecnecio, cuyos precios de obtención, se exponen a continuación:

	TIPO	ACTIVIDAD mCi	COSTO EN DOLLARES
Generador A	Estéril	100	120
Generador B	Estéril	200	160
Generador C	Estéril	450	348

Otenido de:

Commissariat a l'Energic Atomique (France) N. V. Philips Duphar.

Para especificar los precios del Tecnecio, se hizo una comparación relativa entre los estudios practicados con él, y los 925 que se hicieron con Indium, haciéndose la suposición de que el Tc hubiera sido usado en lugar del último. Basados en ésto, se muestran a continuación los dos precios de los generadores y el costo por milicurie de Tecnecio-99m que pudieron haber sido usados en 1969.

Tipo de Generador	Costo de Generador por el año de 1969	Costo por mCi usado
Generador A 100 mCi	6,240	Doll. 0.76
Generador B 200 mCi	4,160	Doll. 0.50
Generador C 450 mCi	9,048	Doll. 0.82 (53)

En esta forma, si se hubieran usado generadores de 100 mCi, se habrían comprado 52 generadores al año, y los Centelleogramas para pulmón por inhalación sólo se podrían hacer durante los dos primeros días, y los estudios del espacio subaracnoideo durante los 3 primeros días.

Con el generador de 200 mCi, se habrían comprado 26 al año, uno cada dos semanas. Sin embargo, con este generador, los estudios mencionados sólo se podrían practicar durante los 5 primeros días-trabajo de la primera semana. Los estudios de cerebro, serían posibles de hacer sólo hasta el tercer día-trabajo de la segunda semana.

De los generadores de Molibdeno-tecnecio de 450 mCi, sólo que se hubieran comprado un promedio de 26 al año, uno cada dos semanas, habrían permitido realizar las diferentes clases de estudios y con la frecuencia con que se hicieron con el Indium-113m.

Para hacer una comparación más objetiva de los precios de estudio por unidad, por cada órgano específico, se expone el siguiente cuadro:

	Sn—113	Sn—113	Mc-99	Mo-99
Tipo de Centelleografía	Generador Est. de 100 mCi	Generador no Esterial de 100 mCi	Generador Est. de 200 mCi	Generador Est. de 450 mCi
Hígado	0.90	1.23	1.50	2.46
Perfusión PUlmonar	0.90	1.23	10.47	11.43
Inhalación Pulmonar	4.80	6.56	------	38.52
Cerebro	7.50	10.25	7.50	12.30
Espacio Sub-aracnoideo	6.30	8.61	21.86	32.74
Circuito sanguíneo cardíaco	1.50	2.05	3.21	4.81
Bazo	3.00	4.10	5.00	8.20
Médula Osea	6.00	8.20	10.00	16.40
TOTAL	3,254	4,440	5,720	10,608
(52) (53)				

De aquí se deduce, que desde el punto de vista económico, el generador de Sn-113-In-113m, de 100 mCi, estéril es el más conveniente, pues su precio es favorable en relación con los otros.

En este aspecto conviene hacer resaltar que los estudios centellográficos practicados en el Departamento de Radioisótopos del Hospital Roosevelt, se hicieron usando un generador no estéril de Indium 113m, de 100 mCi, pues hasta ese momento las instalaciones del laboratorio se encontraban en proceso de montaje, condición que no permitía mantener la asepsia necesaria para usar un generador estéril.

En cuanto a la facilidad de obtención del generador, es obvio que para Guatemala es mucho más fácil y conveniente adquirir un generador de Sn-113-In-113m más o menos cada 4 ó 5 meses que cada 15 días o un mes, como sería en el caso de Mo-99-Tc-99m, pues no existe un centro

cercano que pueda proporcionar los generadores necesarios, ya que los más próximos se encuentran en los Estados Unidos. Con la serie de problemas en cuanto a transporte, órdenes de pedidos, etc., el tiempo que tardaría en venir un generador sería más o menos 30 o 20 días, lo que en consecuencia, por lo menos hasta el momento hace que sea casi imposible trabajar con un generador o.-99m-Tc99m., en un hospital del Estado.

Además desde el punto de vista de efectividad en el diagnóstico y facilidad en el manejo, lo realizado hasta ahora, permite afirmar que los resultados han sido buenos. Los estudios comparativos entre el Indium 113m y el Tecnecio 99, en otras partes del mundo, (10) (26) han demostrado que el primero es tan bueno como el segundo, y en algunos estudios, tiene ciertas ventajas sobre el tecnecio, tal es el caso de la placentografía (58).

También como el Indium 113m, es posible usarlo en una gran variedad de compuestos, que pueden ser fácil e inocuamente incorporados al organismo, para una gran variedad de estudios, tales como: Hígado, cerebro, pulmón, bazo, médula ósea, espacio subaracnoideo, placenta, corazón.

X MATERIAL

El material usado para los procedimientos es el siguiente:

1- Detector móvil: (Pho/Dot. High Speed Medical Scanner. Modelo 1756.

2- Generador de Estaño 113---Indium 113m, de 100 milicuries.

3- Olla de presión con manómetro de 50 libras.

4- Películas de rayos X de 14- x 17".

5- Soluciones específicas para diferentes radiofármacos.

6- Cristalería: Beaker, pipetas, Erlen Meyer, etc.

7- Agitador magnético, y barra de agitación.

8- Contador Geiger

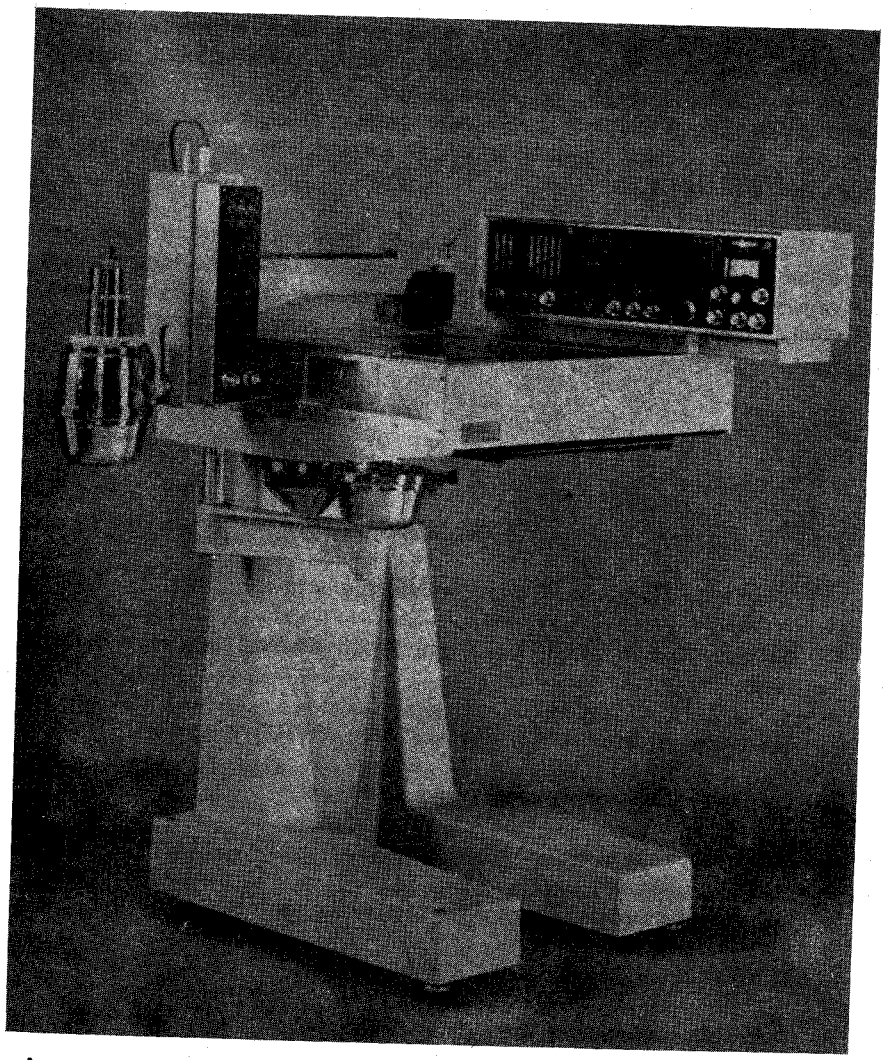
9- Sellador manual de frascos de penicilina.

10- Papel pH.

11- Guantes y jeringas descartables.

12- Mechero

13- Gas propano



Aparato utilizado en la realización de los centelleogramas de este trabajo. Se encuentra en la planta del laboratorio de Radioisótopos del Hospital Roosevelt.

XI METODO Y DISCUSION

A) METODO:

Desde el mes de abril a septiembre del año de 1970, en la Sección de Radioisótopos del Hospital Roosevelt, se lograron practicar 53 estudios centelleográficos con el radionucleido: Indium-113m. Este se obtuvo de un generador de Estaño 113, de 100 millicuries. En todos los casos, se hizo pasar 10 cc de Acido Clorhídrico al 0.05 normal a través de la columna de Zirconium (a la cual se encuentra adherida el estaño-113-, en forma de cloruro de estaño), con el objeto de arrastrar el Indium 113m, que es soluble en él en cantidades acumuladas, por la constante producción en el proceso de decaimiento del radionucleido padre. Una vez pasado el ácido clorhidrico, (ELUYENTE), éste es colectado en un frasco adecuado (Beaker), y colocado en un frasco de penicilina corriente, en el cual ya se había introducido una barra de agitación, cubierta de teflón. En seguida este frasco se coloca dentro de una columna de plomo, con fondo muy delgado y ésta sobre el plato de un agitador magnético. En esta forma, la elución (ácido clorhídrico más Indium -133m) es constantemente agitada mientras se le agregan las respectivas soluciones, específicas para cada radiofármaco. Una vez que se ha controlado el pH de la mezcla final, el frasco de penicilina es cerrado con un sellador manual, y luego, la columna protectora de plomo con el frasco dentro, son puestos en una olla de presión, en donde son sometidos a un proceso de esterilización, durante por lo menos 20 minutos, y a una presión promedio de 15 libras.

Una vez que se ha calculado la dosis, tomando en cuenta el tiempo de decaimiento desde que se eluyó el indium, (que más o menos se lleva de 35 a 45 minutos), hasta que se inyecta la preparación que el rendimiento de la elución es un promedio de 80 por ciento, el peso en libras del paciente y los requerimientos de cada estudio en cuestión, se le inyecta por la via intravenosa.

B) DISCUSION Y DESARROLLO DE:

a) Antecedentes
b) Farmacodinamia
c) Toxicidad
d) Preparación del Radiofármaco
e) Presentación de casos estudiados y discusión.

Para facilitar la descripción de los 53 estudios, se le dividió en grupos según el órgano en cuestión, así:

1) CENTELLEOGRAFIA HEPATICA:	31 casos
2) CENTELLEOGRAFIA CEREBRAL:	12 casos
3) CENTELLEOGRAFIA PLACENTA:	6 casos
4) CENTELLEOGRAFIA DE PULMONES:	2 casos
5) CENTELLEOGRAFIA DE RIÑONES:	2 casos

1) CENTELLEOGRAFIA HEPATICA:

a) ANTECEDENTES:

El primer agente radioactivo que se usó para estudiar el hígado fue Rosa de Bengala, con el objetivo de localizar la célula poligonal del hígado y su función, y fue Taplin (1955) quien lo sugirió como agente que podía localizar tumores, abscesos, quistes, etc.. Harper y sus colaboradores (1965), introdujeron el uso de la forma coloidal de sulfuro marcado con Tecnecio-99 m para centellografía hepática, posteriormente, Goodwin, (1966) introdujo al Indium-113m como otro agente, con muchas ventajas para el estudio centelleográfico del hígado. (59) (20).

b) FARMACODINAMIA:

La captación del hígado para el material radioactivo que se inyecta I. V., se basa en la capacidad de las células de Kupfer en fagocitar partículas, al igual que las otras células del sistema retículo endotelial. Es muy importante señalar que esta fogocitosis es casi indefinida para la gran mayoría de partículas, a excepción de agregados de albúmina y ciertos coloides de hierro, que son los usados, precisamente en estos estudios. En esta forma, usando radionucleidos de vida media corta, la dosis de radiación para el hígado disminuye notablemente. (59)

c) TOXICIDAD:

Se ha establecido que la dosis letal del indium es de 3 mg Kl. de peso en ratones y 16 miligramos kl peso en conejos, siendo esta cantidad un millón de veces más grande que la dosis que usualmente se usa en los centelleogramas hepáticos. Los conejos inyectados con los 18 microgramos/kg. de peso y las ratas inyectadas con 180 microgramos/kg. no mostraron signos de toxicidad, y no se encontraron cambios patológicos en la mayoría de los órganos examinados 2 semanas después de la inyección. Esta dosis es 10,000 veces más de la dosis de protección que se usa en el hombre. (20) (57)

Después de la inyección intravenosa del Indium 113 en ratas y conejos, a los diez minutos se les sacrificó, encontrándose una

concentración de la radioactividad: 80 o/o en el hígado, menos del 3 o/o en sangre, riñones, menos del 2 o/o en pulmones, 10 o/o en bazo y 4 o/o en médula ósea. (22).

Se ha calculado que la dosis de radiación, aproximada que el hígado recibe es de 0.5 rad por milicurie con mucha menor cantidad para el bazo y médula ósea. (20) (59).

d) PREPARACION DE RADIOFARMACO:

Primeramente se hace pasar diez centímetros de ácido clorhídrico 0.05 normal, se le agita constantemente por medio del agitador magnético, en seguida se le agrega cloruro de hierro, ácido cítrico y se lleva el pH a 7.2 con hidróxido de sodio a 0.2 normal. Por último se le agrega un estabilizador que puede ser polivinilpirrolidona (P.V.P.) o gelatina.

Con esta preparación, las partículas que se forman tienen un tamaño aproximado de 10 a 15 micras, el que es adecuado para que ellas puedan pasar el sistema reticuloendotelial. (49).

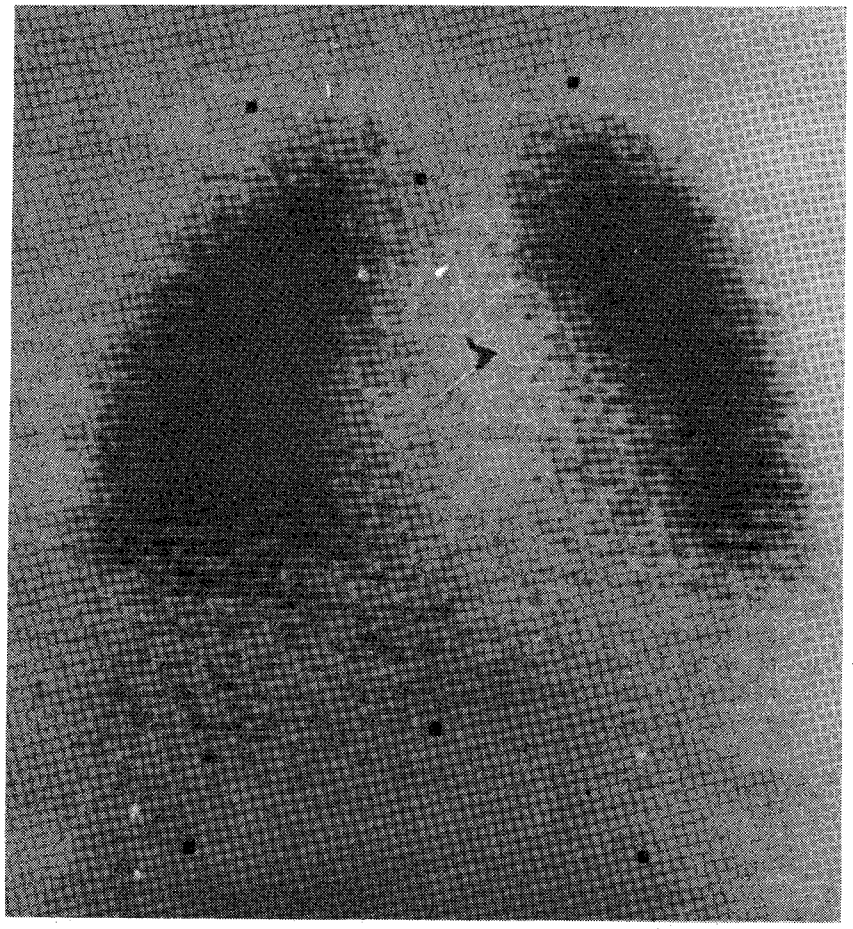
En esta forma es muy importante determinar con bastante precisición el pH en la mezcla resultante, pues a un pH de 8 o más las partículas que se forman adquieren un tamaño mayor, y como consecuencia pueden quedar atrapadas en los capilares del pulmón.

e) DESCRIPCION DE LOS CASOS ESTUDIADOS:

Se practicaron 31 centelleograma con los siguientes resultados:

Insatisfactorios	3
Normales	16
Proceso Substitutivo	8
Hepatomegalia	1
Transposición de hígado	1
Lesión Parenquimotosa difusa	2

Los 3 casos insatisfactorios, están en la serie de los 6 primeros estudios realizados, cuando no se tenía la habilidad necesaria en la preparación del radiofármaco, el error consistió fundamentalmente en la falta de determinación precisa del pH de la mezcla final. Una muestra de que el material radioactivo se quedaba en los pulmones, cuando realmente se quería visualizar el hígado nos lo demuestra la siguiente fotografía.



(Fig. 1) Distribución homogénea del material radioactivo de ambos pulmones. Muy poca visualización del hígado.

En los dos casos de lesión parenquimotora difusa los pacientes tenían un nivel de bilirubinemia alto, en los cuales existe un aumento en las resistencias vasculares que ocasiona una disminución del flujo porta, con la consiguiente disminución de la captación del coloide por la célula de Kupffer.

Esta hiperbilirrubinemia podría traducirse en una lesión hepatocítica grave o una ictericia obstructiva, con lesión secundaria del espacio porta y por lo consiguiente, disminución en su flujo. (54)

De los casos positivos vale la pena resaltar dos, los cuales son los siguientes:

CASO No. 20

Paciente de sexo masculino, de 33 años de edad, raza indígena.

Motivo de ingreso: Dolor de hipocondrio derecho y región epigástrica de 3 meses de evolución.

Examen físico: Abdómen: plano, tenso, doloroso a la palpación y percusión en región de hipocondrio derecho, por debado del reborde costal se palpó una masa dolorosa, fluctuante sus límites abarcan hipocondrio y epigastrio, y hasta ocho centímetros por debajo del reborde costal.

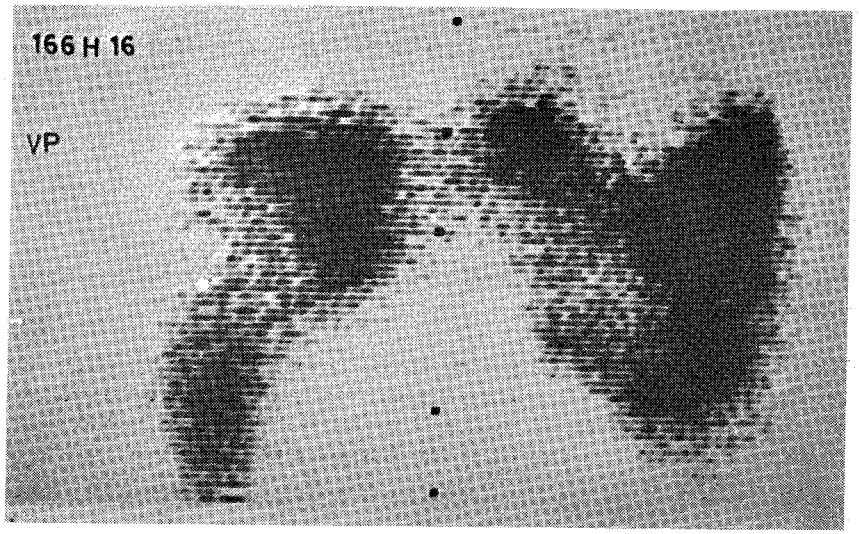
Diagnóstico de Ingreso:

a) Hepatoma a descartar

b) Cirrosis portal.

Se le prácticó centelleografía hepática y se encontraron múltiples áreas, de hasta 5 ó 6 centímetros de diámetro en lóbulo derecho medio e izquierdo del hígado, compatibles con un proceso sustitutivo del sistema retículoendotelial del hígado. Con esta guía, se le pudo practicar biopsia dirigida, la que fue informada como unlesión compatible con hepatocarcinoma.

La siguiente fotografía nos demuestra la imagen centelleográfica obtenida. (Ver página siguiente)



Vista Posterior

(Fig. 2) Obsérvese la irregularidad y disminución de la distribución de la radioactividad en áreas del lóbulo medio derecho e izquierdo.

No. 2. **CASO No. 25**

Paciente de sexo femenino, de 8 años de edad, raza ladina. Motivo de Ingreso: Hematemesis, melena de 3 días de evolución, y aumento de diámetro abdominal, sin especificarse tiempo de evolución.

Examen físico: Niña en muy malas condiciones generales y nutricionales co masas musculares de los miembros, atróficas. El abdómen globuloso, tenso con presencia de onda líquida y palpación de una masa de hipocondrio derecho, rebotante que llega hasta más o menos 7 cms. por debajo del reborde costal.

Diagnóstico de Ingreso:

1. Desnutrición infantil.

2. Hematemeses de etiología ? : Leucosis, várices esofágicas, hipoprotrombinemia ? .

3. Anemia secundaria.

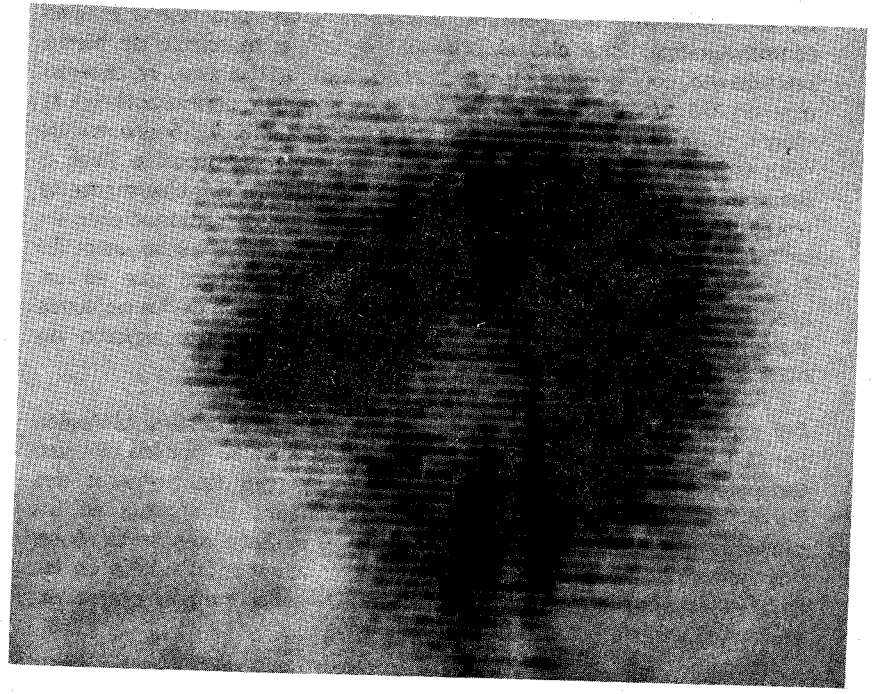
Al principio la niña fue tratada con medidas de sostenimiento sin tener diagnóstico específico. Se le practicó centelleograma que demostró un

área de menor concentración de material radioactivo, de más o menos 7 cms. de diámetro en la vista lateral derecha y anterior, compatible con proceso sustitutivo de lóbulo derecho.

Con la impresión de absceso hepático, (sin comprobación de punción al mismo) se le inició tratamiento con medicamentos amibiásicos extraintestinal. Aparentemente la evolución de la niña fue satisfactoria (y aunque persistía anorética) disminuyó la ascitis, circunferencia abdominal y disminuyeron sintomatología gastrointestinal, (que se creyó se debía a várices esofágicas sangrantes.

Por estudios realizados por P. Czerniak (10) se llegó a establecer, por controles periódicos en la evolución del tratamiento amebiásico, que desde el punto de vista centelleográfico la imagen de la lesión desparecía a los 3-6 meses.

Se le hizo un segundo control centelleográfico a los 24 días de iniciado el tratamiento, y se observó una disminución en su tamaño de 30-40 o/o. Desafortunadamente la paciente fue dada de egreso a solicitud de sus padres, quienes rehusaron la continuación del tratamiento.



(Fig. No. 3) Vista lateral derecha del hígado, en donde se observa una zona de menor concentración en lóbulo derecho. Esta zona también se visualizó en la vista anterior.

2) CENTELLEOGRAFIA CEREBRAL

a) Antecedentes:

Moore desde 1947 a 1951, usó la difluoresceina sódica marcada con yodo 131, pudo realizar 500 estudios estableciendo localización de neoplasias cerebrales por métodos radioisotópico.

Otras substancias han sido usadas posteriormente, así el bismuto 206 administrado como nitrato fue introducido por Mundiger 1961. Blau y Bender en 1959 introdujeron clomerodrin marcado con mercurio 203. En 1964 Harper y sus asociados introdujeron el tecnecio 99m con pernectato.

Stern y Goodwin introdujeron el indium 113. (59)

b) FARMACODINAMIA

Para la realización de centelleografía cerebral y de circuitos sanguíneos tales como: Placenta y corazón se necesita que el radionucleido permanezca en el torrente sanguíneo durante un tiempo, suficiente que permita localizarlo y dar una buena imagen centelleográfica. Para ello al principio se usó el hidróxido de hierro estabilizado con gelatina, luego llevado a un pH cuatro, se observó que un 60 o/o de la dosis inyectada radioactiva permaneció en la sangre durante tres horas, el resto 8 o/o en el hígado, 5 o/o en los riñones y 2 o/o pulmones. Por estudios electróforéticos se llegó a determinar que se unía a las proteínas del plasma, principalmente la fracción de beta globulina. Para impedir la unión de radionucleído en las proteínas plásmáticas se le preparó en un nuevo compuesto: El D.T.P.A. que es ácido dietyl triamino pentaacético, que es un quelado, el que se observó que penetraba en la masa de las neplasias intracraneanas, a diferencia del anterior, que en este aspecto no ofrecía ninguna información. (50).

Del estudio en ratones se llegó a determinar que el destino biológico del D.T.P.A. Indium-113m es rápidamente excretado por los riñones, desapareciendo rápidamente del plasma, pues en las primeras dos horas, el aclaramiento de vida media biológica se efectúa en los primeros 20 minutos, después la excreción se hace más lenta. A las dos horas por lo consiguiente, la mayor concentración estaba en los riñones seguido en orden descendente: Hígado, sangre, pulmones, músculos, esqueleto y cerebro. (39).

c) TOXICIDAD:

El Indium en forma metálica es biológicamente inerte, pero soluble es uno de los más tóxicos de todos los metales, pero en forma unida, tal el caso con el D.T.P.A. prácticamente esa desaparece. (10).

Se ha llegado a determinar que la dosis aceptable para centelleografía cerebral es de 20 a 25 milicuries, que comparados con la dosis de toxicidad mencionadas en el capítulo de Centelleografía hepática, resulta de límites muy aceptables. La dosis total de radiación corporal del indium 113-D.T.P.A. fue, a una dosis de 10 milicuries de 0.09 rad, en cambio con el tecnecio 99M pernectato fue a la misma dosis, de 0.13 Rad. Observándose que la mayor radiación se recibió en vejiga y ovarios. La dosis crítica de radiación por el Indium para el cuerpo es de 5.1 a 6 rads. (39)

d) PREPARACION

Se hizo pasar 10 cc. de ácido clorhídrico al 0.05 normal como eluyente, a través del generador Sn-113. En seguida se le agregó sucesivamente cloruro férrico D.T.P.A. o sea dietiltria minopenta acético, cloruro de sodio y luego se le llevó a un pH entre 5 y 6 con hidróxido de sodio; por último con previa adición de Buffer de citrato fue sometido a un proceso de esterilización. (14)

Inmediatamente que se le inyecta este preparado, se debe de prácticar la centelleografía, pues la excreción urinaria del mismo es alta y rápida, y por lo consiguiente la concentración cerebral disminuye rápidamente.

De los casos estudiados los resultados fueron los siguientes:

Normales	8
Insatisfactorio	1
Neos- cerebrales	4
TOTAL	13 casos

e) PRESENTACION DE CASOS ESTUDIADOS Y DISCUSION

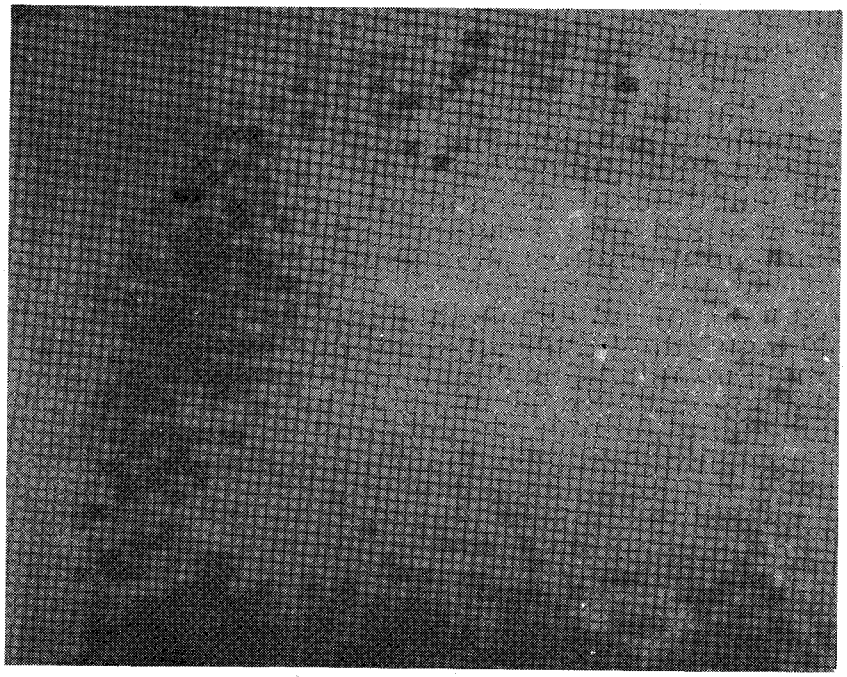
En el caso insatisfactorio se debió a poca concentración del radio fármaco en el cerebro, pues hubo error en la mezcla de los constituyentes de éste (proporciones).

De los casos interesantes se mencionan dos para ilustración:

1. **CASO No. 9**

Paciente de 25 años, de sexo femenino, raza indígena.

MOTIVO DE CONSULTA: Hemiplejía izquierda. Con antecedentes de tuberculosis comprobada radiológicamente y tratamiento específico. Fue referida a Centelleografía porque arteriografía cerebral sugirió presencia de una masa en lóbulo frontal izquierdo. Con la información de la arteriografía la paciente fue intervenida quirúrgicamente, no encontrándose ninguna área compatible con el proceso sugerido por el estudio radiológico. El centelleograma que se le practicó localizó más específicamente la masa identificándola en el lóbulo parietal izquierdo. Actualmente la paciente está pendiente de ser intervenida.

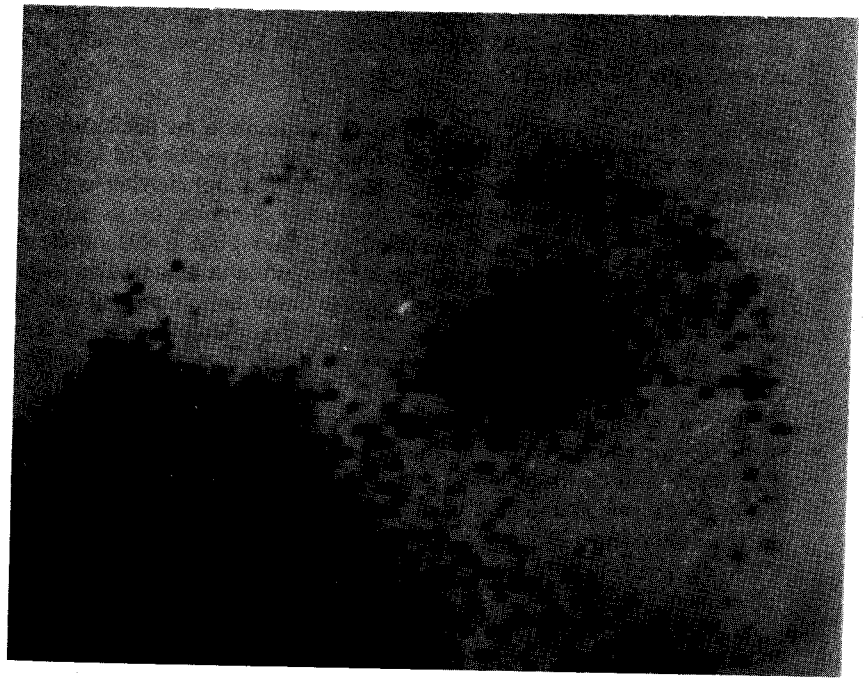


(Fig. 4) Vista P. A. muestra asimetría en la distribución del material encontrándose mayor actividad del lado izquierdo, comprueba la presencia de esa anormalidad, localizándola en el lóbulo parietal, descartando la situación izquierda frontal que había sugerido el arteriograma.

2. **CASO No. 13**

Paciente de 54 años de edad, de sexo masculino, raza ladina. MOTIVO DE CONSULTA: Movimientos involuntarios y contráctiles en miembro superior derecho de 30 días de evolución. Con evolución posterior a hemiplejía derecha y afasia.

Al examen físico se encontró hemiplejía derecha, desviación de comisura labial del lado derecho. También en este caso la interpretación de la arteriografía cerebral fue insatisfactoria, motivo por el que fue referido a centelleografía. Este examen demostró la presencia de una masa en el lóbulo parietal izquierdo. Paciente fue intervenido, comprobándose diagnóstico centelleográfico.



(Fig. 5) Vista lateral derecha, zona de más o menos 4 ó 5 cms. de diámetro, con mayor concentración radioactiva.

3) CENTELLEOGRAFIA DE PLACENTA

a) Antecedentes:

Winberg en 1957 usó albúmina sérica humana marcada con yodo 131 para localizar la placenta. Paúl en 1963 usó glóbulos rojos marcados con cromio 51, en 1964 Johnson usó el cromio 51 unido a la albúmina sérica humana; en 1964 Mcafee aplicó tecnecio 99m unido a la albúmina sérica humana y en 1967 Stern inició el uso del Indium 113 unido a la transferrina para placentografía. Desde entonces por las características físicas de los dos últimos, el tecnecio y el indium han sido usados como agentes electivos en este procedimiento. (59)

b) FARMACODINAMIA

La utilización de los radionucleidos para la visualización de la placenta está basada en la riqueza vascular de este órgano, que puede contener entre 175 a 250 ml. de sangre, una perfusión de 500-700 mililitros por minuto. (30)

Con el indium 113 por su corta vida, se puede dar a las pacientes sin excederse en la dosis de radiación a los órganos internos y al feto. Se inyecta a un pH. de 4 o menos, agregada a una transferrina o a un complejo proteínico transferrina, que circula a través de la sangre, incluso hacia la sangre de la placenta con muy poca transferencia a través de ella hacia el feto. La excreción urinaria es también baja (0.06- 0.1 o/o) de la dosis administrada; esta baja actividad en la vejiga no permite confusión en la visualización de la placenta, lo que puede suceder en el caso del tecnecio 99 unido a la albúmina. (38).

El tiempo medio de circulación biológica se determinó que es de tres horas, lo que resulta en un tiempo adecuado, pues lo que se necesita para hacer una Centelleografía de placenta es de más o menos una hora. En la preparación se hace énfasis en mantener el pH de la de la mezcla entre 3.5 y menos de cuatro, ya que cuando se inyecta a un pH cuatro o mas, el radio fármaco es excretado rápidamente por los riñones. (30)

c) TOXICIDAD

La dosis absorbida total del cuerpo de la madre se calcula tomando como promedio un peso de 65 kgs. y un volumen sanguíneo de 60 mililitros por kilógramo de peso obteniéndose un resultado de 0.0176 rads. El tiempo efectivo fue de 1.37 horas. La dosis absorbida en la sangre materna se determinó que era de 0.139 rads. La dosis absorbida por el feto fue de 0.008 rads. Por experimentos realizados

en dos mandriles embarazadas a quienes se les practicó cesárea, 30 minutos después de que se les inyectó material radiactivo se determinó, que la radiación en la sangre fetal fue menos de 0.1 o/o del de la sangre materna. Las dosis absorbidas inyectando un milicurie en la sangre materna, fue de 146 milirads, para la sangre de la madre y de 8 milirads para la sangre del feto. (58).

Desde 1920 y a principios de 1930 las radiaciones ionizantes fueron usadas ampliamente para el tratamiento de diversas enfermedades. En ocasiones se usaron altas radiaciones en madres embarazadas para exame pélvico, e incluso, en algunas ocasiones se usaron con propósitos de producir esterilización o aborto. Fue así como se aprendió que la irradiación dañaba principalmente el feto, y aunque no todos los niños supervivientes mostraban anormalidades y malformaciones, fueron los reportes Stettner, Zappert, Murphym Goldstein, y otros, los que trajeron a luz las principales secuelas en estos niños: Microcefalia, retardo mental, microftalmía y cataratas. Además estudios experimentales han demostrado que la dosis que puede causar daño fetal es de 200 a 300 rads. (12)

Las dosis que se reciben en un examen radiológico de una madre embarazada (regularmente pelvimetría), promedian 885 millirads, a diferencia de la dosis recibida de una centelleografía placentaria con indium 113 cuyo promedio es 17 millirads. (58)

d) PREPARACION DE RADIOFARMACO:

Se pasan 10 mililitros de ácido clorhídrico a 0.05 normal, colocando este eluido en un baño de maría más o menos a 50° C., se le agrega gelatina posteriormente cloruro de sodio y por último por adición de hidróxido de sodio, se le lleva a un pH de 3.5. Al final la mezcla es esterilizada.

e) DESCRIPCION DE LOS CASOS:

Se practicaron 6 placentografías de las cuales:

Inserción Normales	4
Placenta Previa	1
Mola hilatidiforme	1

CASOS INTERESANTES

CASO No. 1.

Paciente de sexo femenino, de 32 años de edad, raza ladina. Primigesta.

Motivo de ingreso: Hemorragia vaginal.

EXAMEN FISICO: Altura uterina 24 cms. Foco Fetal: Ausente?

DIAGNOSTICO DE INGRESO:

Embarazo de 31 semanas.
Desprendimiento prematuro de placenta.
Obito fetal?

Se le practicó centelleograma porque se pensó en placenta previa. El examen centelleográfico descartó el diagnóstico de placenta previa. Clínicos tomaron entonces la decisión de conducir el parto. Se obtuvo óbito fetal, sin ninguna complicación de hemorragia durante el trabajo de parto.

CASO No. 4

Paciente de sexo femenino, de 31 años de edad, raza ladina, con ocho hijos vivos, gestas 10, para: 9 y Ab. 1.

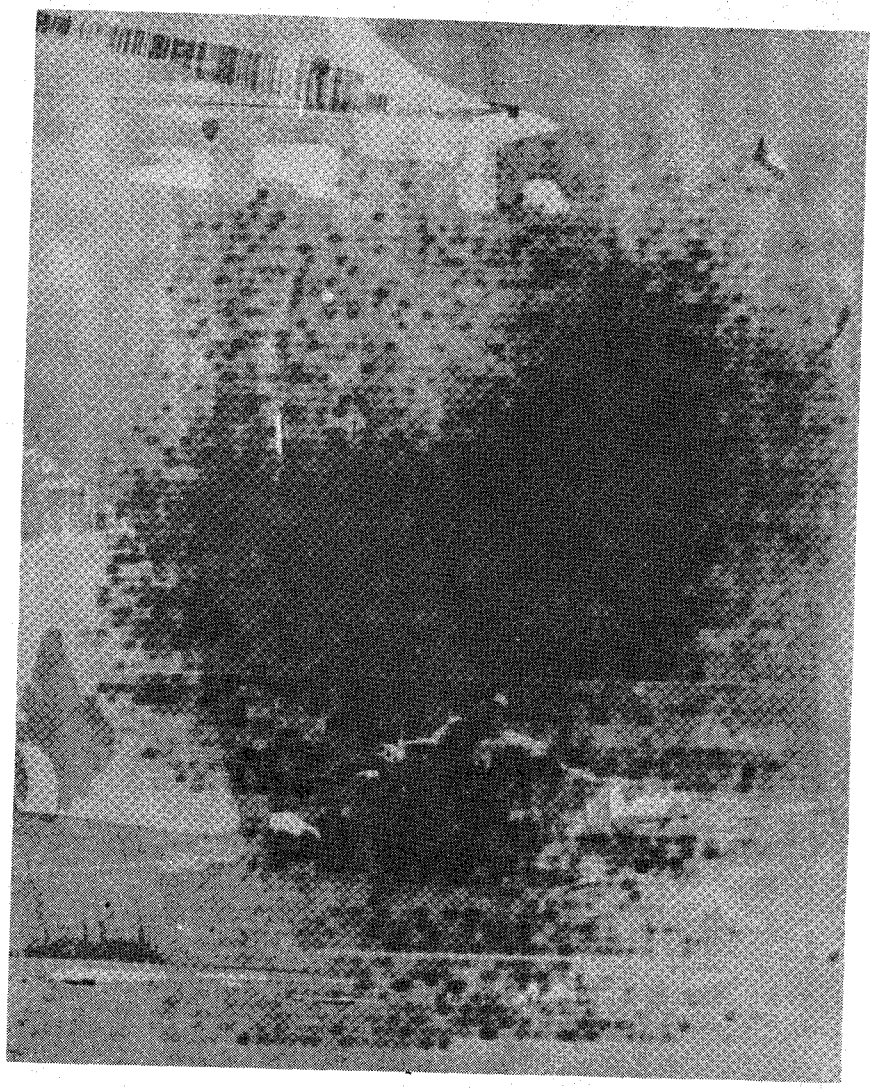
MOTIVO DE INGRESO: Hemorragia vaginal.

EXAMEN FISICO: Estado general bueno.

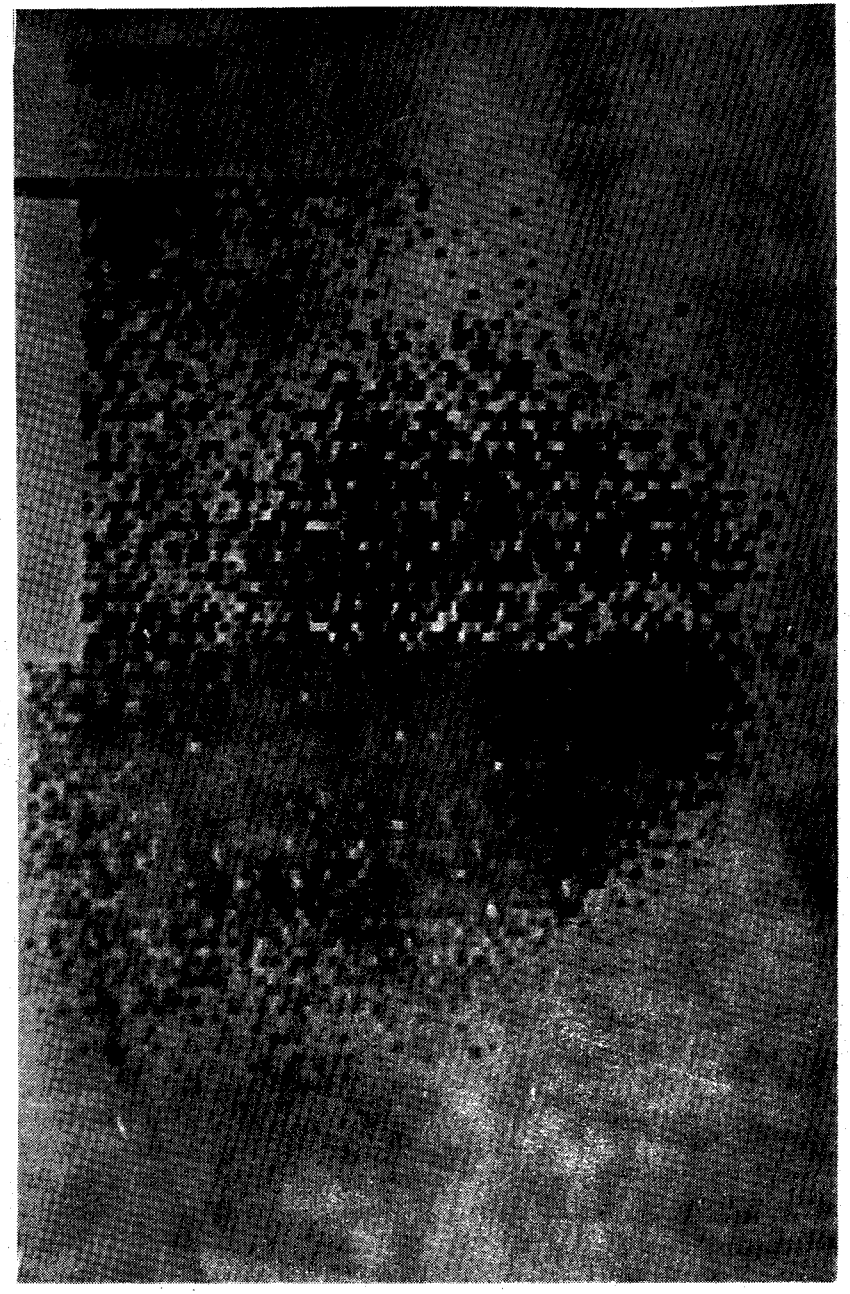
DIAGNOSTICO DE INGRESO: Amenorrea de 15 semanas por última regla. Por presentar altura uterina mayor de lo que correspondía a la última regla, y por persistencia de hemorragia vaginal, y en ocasiones obscura, se le sospechó embarazo molar.

Un examen centelleográfico, evidenció concentración del radiofármaco en cantidades elevadas, en más o menos el 85 o/o del útero. fue informada como compatible de mola hidatidiforme. Examen de gonadotropinas se reportaron elevadas.

También se le practicó un ecograma reportada como positivo para mola hidatidiforme. Días después se le extrajo a la paciente por legrado instrumental una mola hidatidiforme. Las siguientes fotografías, nos ilustran este caso.



(Fig. No. 6) Vista anterior en la que se observa material radioactivo a altas concentraciones, en la gran parte del útero. El fondo de la placa presenta defectos de revelado.



(FIGURA 7) Vista lateral derecha del centelleograma anterior, se observa distribución del material radiactivo en casi toda el área que corresponde al útero.

CASO No. 5

Paciente de 28 años de edad, de sexo femenino, con 6 embarazos, 5 hijos vivos, sin control prenatal.

MOTIVO DE INGRESO: Hemorragia vaginal.

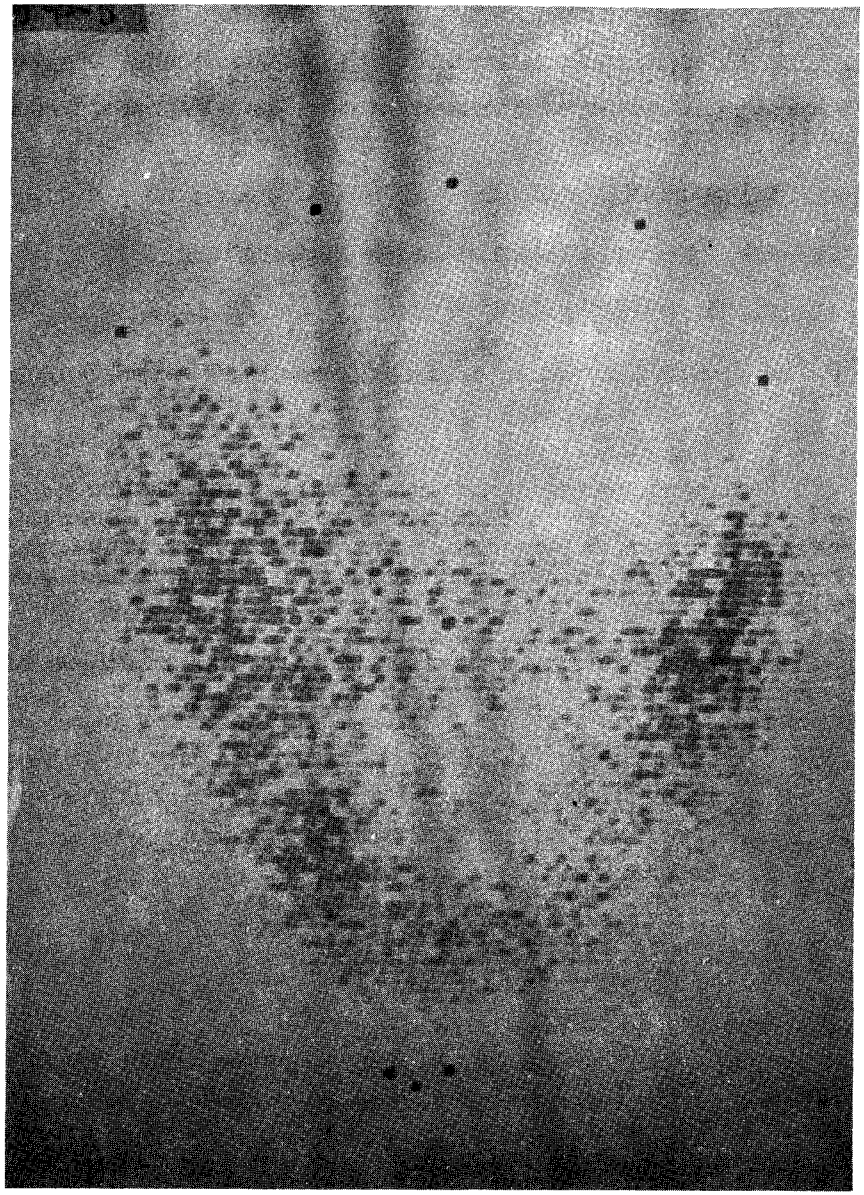
EXAMEN FISICO: PA: 116/70. Pulso: 86x'. Temp.: 37° C.

ALTURA UTERINA: 29 cms.

Dx de ingreso: Embarazo en curso de 36 semanas. Feto vivo. Placenta Previa? .

Se le practicó centelleograma, que demostró placenta en el trayecto del canal del parto, es decir, implantada en región anterior derecha y baja del cuerpo uterino. La paciente fue intervenida tres semanas después, por hemorragia vaginal de consideración, encontrándose placenta implantada en el segmento uterino.

La siguiente foto, nos demuestra la configuración de la placenta, su posición.



(Figura No. 8) Obsérvese en que la línea media está un punto de referencia, que es el pubis.

DISCUSION:

En el caso diagnosticado como mola hidatidiforme se observó un marcado aumento de la radioactividad en casi todo el cuerpo uterino dándonos así una pauta para hacer el diagnóstico ya mencionado. En esta forma este procedimiento como otros autores lo han afirmado Lewithus, Ludwin, Rechnic, (30) confirma que es un importante coadyuvante en el diagnóstico de esta entidad, principalmentesen aquellos casos, en que existe duda, en la interpretación de las cantidades desgonadotropina. La imagen que se obtiene se debe a la hipervascularización de las paredes uterinas en caso de mola hidatidiforme. (30)

En los demás casos a excepción de los dos primeros, los procedimientos, en cuanto a delineación de la imagen placentaria son de excelente resultados.

4. CENTELLEOGRAFIA PULMONAR.

a) Antecedentes:

Ariel en 1963 introdujo el uso de macroagregados de albúmina, para estudiar el flujo sanguíneo pulmonar, regional. En 1964 Taplin y Wagner usaron macroagregados a la albúmina sérica, marcada con yodo 131. En 1965 Chernick concluyó que la centelleografía pulmonar podía usarse como un método seguro en las medidas de espirometría pulmonar. Recientemente Stern en 1966 usó partículas de hidróxido de hierro marcadas con indium 113 con magníficos resultados. (59)

b) FARMACODINAMIA:

Para que el material radioactivo permita visualizar áreas pulmonares, es necesario que las partículas tengan un tamaño promedio entre 20 a 40 micras de diámetro. Ya que este tamaño hace que las partículas sean capturadas en los capilares pulmonares. Si éstas tienen un diámetro menor de 10 micras pasan directamente al sistema reticuloendotelial, y principalmente al hígado y si son mayores de 70 micrones pueden quedar atrapadas en las arteriolas pulmonares. (49).

c) TOXICIDAD:

Se puede considerar la misma que para un centelleograma hepático que ya fue descrito anteriormente.

d) **PREPARACION DEL RADIOFARMACO**

En el único centelleograma pulmonar que se practicó se usó el mismo procedimiento que para la preparación en la centelleografía hepática, a excepción de que el pH se llevó a 8.2. Por falta de equipo tal como el millipore, equipo para inhalación pulmonar no se llevaron a cabo más estudios de este órgano.

e) PRESENTACIÒN DE CASOS Y DISCUSION

La centelleografía pulmonar es un procedimiento valioso en el diagnóstico de embolia pulmonar. (31) Wagne y colaboradores describieron la imagen gammagráfica EN MEDIA LUNA como típica embolia pulmonar. Hay que tomar en cuenta que las partículas radioactivas deben ser metabolizadas como ocurre con los macroagregados y las micraesferas de albúmina para que se restituya la permeabilidad de los capilares que las retuvieron. (21) (31).

La imagen que se obtuvo de ambos pulmones fue normal.

5) **CENTELLEOGRAFIA RENAL**

a) **Antecedentes:**

En 1956 Taplin y sus colaboradores usando detector externo para evaluar la función renal, introdujo el uso de driodrast marcado con yodo -113. En 1960 se introdujo el yodo hipurato marcado con yodo 131 que tiene una gran excreción eficiente por los riñones, casi en forma similar que para el amino hipurato (PAH).

En 1960 McAfee y Wander usaron el clormerodrin marcado con mercurio 113.

b) **TOXICIDAD:**

Como el material que se usó fue el mismo que para centelleografía cerebral, la toxicidad se puede leer en la sección correspondiente a toxicidad cerebral.

c) **FARMACODINAMIA:**

El Indium 113 en forma de quelato es fácilmente excretado por las células renales, y este flujo es el que se para visualizar la función renal e integridad del parénquima renal (61). También como el indium 113 es catión trivalente, tiene la ventaja de que puede medirse el filtrado glomerular en casi igual forma que la inulina. (35)

d) **PREPARACION DEL RADIOFARMACO:**

Como se aprovechó el Radiofármaco utilizado en centelleografía cerebral, se obvia la descripción.

e) **PRESENTACION DE CASOS ESTUDIADOS Y DISCUSION:**

Solamente se practicaron dos centelleogramas de riñón, como un complemento de estudios cerebrales, aprovechando que el material inyectado para el estudio del sistema nervioso central (DTPA) es excretado por los riñones. (50) (25)

La imagen que se obtuvo, aparentemente satisfactorias, con distribución homogénea en ambos riñones. La figura siguiente nos muestra una imagen centelleográfica renal.

(Fig. No. 9) Vista anterior con: Visualización renal homogénea, de material radiactivo.

XII SUMARIO

1. Se practicaron 53 procedimientos centelleográficos con Indium 113m.

2. Su distribución por órganos fue así:

Hígado:	30
Cerebro:	13
Placenta:	6
Pulmón:	2
Riñón:	2
	53

3. El Indium 113m se obtuvo de un Generador de Sn-113 de 100 milicuries.

4. Para la preparación de todos los radiofármacos se usó como eluyente el HCL al 0.05 N.

5. Al inyectarse por vía intravenosa la dosis específica del radiofármaco, no se observó en el paciente alguna reacción secundaria.

6. Al practicarse el estudio, cada paciente fue colocado en una camilla adecuada, en posiciones; Decúbito dorsal, ventral o lateral, según las necesidades de cada procedimiento.

7. Se citaron casos interesantes de cada grupo centelleográfico así:

a) HIGADO:

a) Caso No. 20 imagen centelleográfica compatible con proceso substitutivo en diferentes zonas del parénquima hepático. Biopsia dirigida: Hepatocarcinoma.

b) Caso No. 25 Imagen centelleográfica evidenció zona única de sustitución de S. R. E. en lóbulo derecho. Paciente fue tratada como quiste Amebiano. Tratamiento específico antiamebiano con buena evolución clínica y centelleográfica.

b) CEREBRO:

a) Caso No. 9. Se encontró zona de mayor radioactividad en

lóbulo parietal izquierdo, compatible con masa ocupando espacio. Previo estudio de arteriografía cerebral, seguido de trepanación craneana, habían sido fallidas. Paciente pendiente de ser reintervenida.

b) Caso No. 13 Centelleográficamente se evidenció zona hiperradioactiva en lóbulo parietal derecho, compatible con masa ocupativa. Previo arteriograma cerebral no fue satisfactorio. Impresión centelleográfica fue confirmada al intervenirse al paciente.

c) PLACENTA:

a) Caso No. 1. Imagen centelleográfica con distribución del material radioactivo aumentada en la mayor parte del cuerpo uterino. Compatible con Mola Hidatiliforme, se comprobó al ser extraída ésta con legrado uterino.

b) Caso No. 4. Se encontró placenta en el trayecto del canal del parto, en el segmento uterino. Paciente fue intervenida. Se encontró inserta en el segmento.

8. Se recalcó la importancia de fijar el pH de cada radiofármaco. Se ejemplificó uno en el cual se quería hígado y el material quedó en su mayor parte atrapado por los pulmones.

9. En los primeros capítulos se mencionó reseña histórica, conceptos y definiciones importantes en Medicina Nuclear.

10. Los resultados que se obtuvieron fueron satisfactorios.

XIII CONCLUSIONES

1. El Indium 113 es un radionucleido conveniente para Guatemala, en el campo de la centelleografía.

2. La centeleografía es un procedimiento efectivo e innocuo para diagnóstico de múltiples enfermedades, complementa los estudios radiológicos y en su defecto, los sustituye.

3. La centelleografía hepática es un procedimiento de ayuda diagnóstica para procesos neoplásicos o quísticos, lesiones parenquimatosas

difusas, y ectopias.

4. La centelleografía cerebral tiene alto porcentaje de exactitud en localización de masas, y principalmente en aquellos en que la arteriografía cerebral falla.

5. La centelleografía de placenta es un procedimiento con alto índice de seguridad para localizar la placenta.

6. La dosis de radiación para el feto y la madre es una centelleograma de placenta es mucho menor que en un procedimiento de pelvimetría radiográfica corriente.

7. El pH de la mezcal final es indispensable que sus mediciones sean exactas.

8. El generador del Indium tiene la ventaja de proveer material radioactivo (Indium), en forma adecuada durante por lo menos 5 meses.

9. La centelleografía placentaria es un medio coadyuvante para diagnóstico efectivo de la mola hidatidiforme.

10. La centelleografía con los diferentes radiofármacos del Indium, en todos los casos estudiados no originó reacción alguna en los pacientes.

XIV RECOMENDACIONES

1. Para que funcione adecuadamente un Centro de Medicina Nuclear hospitalario, recomiendo hacer conciencia en las demás instituciones que podrían salir beneficiadas, tales como: I.G.S.S., INCAN, INCAP, Hospitales Privados, etc., para que le ayuden económicamente.

2. Organizar conferencias y cursillos pequeños para divulgar la naturaleza, beneficios y limitaciones de la medicina nuclear.

3. Hacer resaltar la importancia de una adecuada protección contra la radiación en todo el personal que labora en un laboratorio de medicina nuclear

4. Hacer tramitaciones ante el estado para recibir apoyo económico, con objeto de llevar la medicina nuclear en investigaciones de problemas de gran interés nacional.

5. Aumentar el número de personal médico y paramédico en el laboratorio de radioisótopos, con objeto de aprovechar al máximo la actividad de los generadores, y por consiguiente, disminuir así, su precio de obtención pues a mayor número de estudios realizados disminuye el valor individual de ellos.

6. Introducir dentro de la enseñanza sistematizada de la Facultad de Medicina, cursillos de medicina nuclear.

7. Promover intercambio científico: invitar conferencistas de otras partes del mundo, solicitar literatura, asistencia a congresos internacionales de medicina nuclear.

8. Mantener una amplia comunicación con criterio de discusión y aprendizaje sobre los principales problemas que resultan de la aplicación de la medicina nuclear.

9. Se debe usar en Guatemala, por ahora, generadores de Estaño 113.

XV BIBLIOGRAFIA

1. Alonzo Marcelo, Acosta Virgilio. Introducción a la Física. 2a. edición. Habana Cuba. Cultural S. A. 1953 pp. 317-336.

2. Atomic Energy Commission. Vienna. Nuclear terms, a brief glossary. January, 1969. pp. 1-80.

3. Bekerman, C., et al. La centelleografía cardíaca. El tórax. 17 (4): 224-247. Dic. 1968

4. Bekerman, C., et al. La centelleografía cardíaca con indium-113m en el diagnóstico de aneurisma de la aorta intratorácica. El tórax. 17 (4): 248-252. Dic. 1968.

5. Boyd. Kristensen, Trott and Tubis. Definition of radiopharmaceuticals as drugs. IN Panel on preparation and control of radiopharmaceuticals from generator-produced radioisotopes in medical radioisotopes laboratories. Vienna, 11-15 May. 1970. (Draft of the official publication). Vienna, International Atomic Energy Agency, 1970. pp 1-6.

6. Braverman J. B., Bioquímica de los alimentos. Traducción por Bernabé Sáenz Pérez. Barcelona. Ed. Omega S. A. 1967. pp 51-52.

7. Burdine, H., A., Jr., Werch, A., Ryder L. In-113m gelatin complex for placental localization. Journal of Nuclear Medicine. 1969. 10 (6): 324-325.

8. Castronovo, F. P., Stern H. S., Goodwin, D. A., Experiences with the Sn-113m generator, Nucleonics. 25: (2) 62.65. 1967.

9. Cooper, James and Wagner. Preparation an control of indium-113m radiopharmaceuticals. IN Panel on preparation and control of radiopharmaceuticals from generator-produced radioisotopes in medical radioisotope laboratories. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1970. pp 1-14. (Mimeografiado).

10. Czerniak, P. Scanning study of 700 livers evaluation of existing diagnostic procedures. IN: Medical Radioisotope scanning, procedings of a symposium, Athens. 20-24, April 1964. Vienna pp 401-430. (vol: 2).

11. De la Carrera, F. y Vargas, F., Conocimientos fundamentales de Química General. 4a. ed. Habana, Cuba. Cultural S. A. 1954, pp 1-188.

12. Dekaban, Anatole. Abnormalities in children exposed to a radiation during various stages of testation. Journal of Nuclear Medicine. 9 (9): 471-477, Sep. 1968.

13. Dubini, N. P. Mecanismo de acción de las radiaciones sobre la herencia y el problema de la radiosensibilidad. IN Actas de la segunda Conferencia internacional de las Naciones Unidas sobre la utilización de la energía atómica con fines pacíficos. 1-13 Sep. 1958. X: Los isótopos radioactivos en biología y en medicina; efectos biológicos de las radiaciones. Ginebra. Naciones Unidas. 1958. pp. 429-437.

14. Ferrari, Manlio. Instructivo para la preparación de radiofármacos. Montevideo, Uruguay. pp: 1-4. s,f, (*).

15. Ferrari, Manlio, Páez A. y López Soto R. Modelos fisiopatológicos fundamentales de la Centelleografía pulmonar por perfusión e inhalación. El tórax. 17 (1): 22-30. Marzo, 1969.

16. Física. Traducida por J. Aguilar Peris. Zaragoza (España). Editorial Luis Vives. S. A. 1963. pp 469-673.

17. French, Rosemary J., Johnson P. F. and Trott N. G. Dosimetry of indium-113. IN Medical Radiosotope Scintigraphy. Proceedings of a symposim, Salzburg. 6-15. August, 1968. Vienna, international Atomic Energy Agency, 1969. pp 843-862. (vol: 1).

18. Ganatra, Lewitus, Touya, and Wagner. Preparation and control of indium-113m radiopharmaceuticals in medical radioisotope laboratories. IN Panel on preparation and control of radiopharmaceuticals from generator-produced radioisotopes in medical radioisotope laboratories. Vienna, 11-15 May 1970. (Draft of the Official publication). Vienna, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1970. pp 1-6. (Mimeografiado).

19. Geminil, W. J., Scott, D. M. and Kramer H. H., Alternative way to produce IN-113m macro iron hidroxide. Journal of Nuclear Medicine, 9 (4): 170-171, April 1968.

20. Goodwin, D. A., Stern, H. S., Wagner, H. N., Jr., A new radio pharmaceutical for liver scanning nucleonics 24 (11): 6 5-58, 1966.

21. Goodwin, David Stern., Howard S. and Wagner H. N. Jr. In-113m a short lived radioisotope for lung scanning. Journal of Nuclear Medicine. 8 (5): 346, May 1967.

---

* Sin fecha

22. Gross, W., Schlesinger, E. B. and De Boves, S. A. A scintillation camera for dinetic studies of the distribution of radioactive nuclides in the brain. IN: Medical radioisotope scanning. Proceedings of a Symposium, Athens, 20-24 April 1964. Viena . International Atomic Energy Agency, 1964. pp 401-410. (Vol. 1).

23. Hander P. V., et al. The use of Technetium-99m as a clinical scanning agent for thyroid, liver and brain. IN: Medical radioisotope scanning. Proceedings of a symposium, Athens, 20-24 April 1964. Vienna. International Atomic Energy Agency, 1964. 1964. pp 33-45.

24) Hill, t. et al. Simply metod for preparation of Indium-DTPA for brain scanning. Journal of Nuclear Medicine, 11 (1): 28-30. January, 1968.

25. Kishkin, Fred, S., et al. Indium-113m for scanning bone and Kidney. Radiology. 91 (1): 161, July, 1968.

26. Koslova, A. V. Empleo clínico de isótopos radioactivos con fines terapéuticos y de diagnóstico. IN Actas de la segunda Conferencia internacional de las Naciones Unidas sobre la utilización de la energía atómica con fines pacíficos. Ginebra, 1-13 sep, 1958. X: Los isótopos radioactivos en biología y en medicina; efectos biológicos de las radiaciones. Ginebra. Naciones Unidas. 1958. pp: 241-248.

27. Kramer, H. H., and Stern H. A. Indium-113m as a scanning agent. Journal of Nuclear Medicine, 7 (5): 365-370, 1966.

28. Lathrop, Merlin and Nosslin, Raban. Preparation and control of 99m Tc radiopharmaceuticals in medical radioisotope laboratories. In Panel on preparation and control of radiopharmaceuticals from generator produced radioisotopes in medical radioisotope laboratories. Vienna, 11-15 May 70. Viena. International Atomic Energy Agency. 1970. pp 1-6. (Mimeografiado)

29. Lebedinski, A. V., Sobre la acción biológica de las radiaciones. In Actas de la segunda Conferencia Internacional de las Naciones Unidas sobre la utilización de la energía atómica con fines pacíficos. Ginebra 1-13 Sep. 1958. X: Los isótopos radioactivos en biología y en medicina: efectos biológicos de las radiaciones. Ginebra. Naciones Unidas. 1958. pp 301-312.

30. Lewitus, Z., Lubin E., and Recnnic, J., Escintigraphy of placenta with In-113m. In: Medical Radioisotope Scintigraphy, proceedings of a Symposium. Salzburg. 6-15 August 1968. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1969. pp 657-662. (Vol. 2).

31) López Majano, Vicente. Diagnóstico de la embolia pulmonar. Revista de Biología y Medicina Nuclear. (Montevideo, Uruguay) 1 (1): 34-41, Oct. 1969.

32. Lombardi, Max H., y Akers, K., Radioisotopos en diagnóstico médico; Curso dmostrativo. Tennesse. Oak Ridge, Institute of Nuclear Studies. s. f. (*) pp 3-112.

33. MacDonald, Norman S., Hayes, Michael, and Figueroa, M. G. Medical utility of a total body counter a four year assessment. Journal of Nuclear Medicine. 8 (8): 588-600. Aug. 1967.

34. Martinez Villaseñor, D., y Busch, p., La centellografía con radioisotopos de vida media corta en el diagnóstico de los padecimientos de las articulaciones. In: Medical Radioisotope Scintigraphy. Proceedeings of a symposium, Salzburg. 6-15. August, 1968. Vienna International Atomic Energy Agency, 1969. pp 295-305. (Vol: 1).

35. artinez Villaseñor, D. y Busch P. La determinación del filtrado glomerular con el quelato ácido dietiltriaminopentaacetico In-113m y con el Yodotalamato de Sodio marcado con I-131. Revista de Biología y Medicina Nuclear. (Montevideo, Uruguay) 2 (1): 37-47, Febrero 1970.

36. Mazzuche, Nelson., Touya, Eduardo., y Touya, Juan, J. (h). Radioisótopos en la hipertensión. Sístole, (Montevideo, Uruguay). 21 (102): 1-9, Enero-Agosto 1968.

37. La Medicina Nuclear. Basilea, Suiza, J.R. Geigy, 1968, pp 1-8.

38. Nienoff, Roger D., et al. Centellography of placenta with In-113m. Journal of Nuclear Medicine. 2 (1): 15-17, January 1970.

39. O'Mara, Robert E., and Mcatee, John G. Scintillation scanning in the diagnosis of hepatic abscess in children. The Journal of pediatrics. 77 (2): 211-215, Aug. 1970.

40. Osorio, Alvaro., y Touya, Juan José h., La gammagrafía en la hidatidosis hepática del niño. Archivos de Pediatría del Uruguay. 39 (3): 189-193. Mayo-Junio de 1968.

41. Osorio, Alvaro. et al. Un nuevo procedimiento en el diagnóstico de los procesos expansivos intracraneanos de pediatría. Archivos de Pediatría del Uruguay. 40 (4): 271-277. Julio-Agosto de 1969.

42. Pauling, Linus., Química General. 7a. edic. Madrid, Ed. Aguilar S. A. 1964, pp 20-75.

43. Penkoske, P., Potchen, E.J. And Welch, M. J. Chemistry clinical of generator Sn-In. Journal of Nuclear Medicine. 10 (10): 646-650, Oct. 1969.

44. Resnick, Robert y Halliday, David. Física para estudiantes de ciencias e ingeniería. Traducción por Mosdveira Salvador R. 7a. ed. México. Editorial Continental, S. A. 1965, pp 19-34.

45. Robles, Ana María, Servian, Jorge L., and Touya, José, J. h. Tests for elution and eluate: from In-113m generators. Montevideo, Uruguay, Facultad de Medicina. 1969, pp 1-7. (Mimeografiado).

46. Ronai, Peter., Winchell, H. S. and Hanger, H. O. Skeletal survey for metastatic tumors of bone using F-18 and Sr-85 with scintillation camera and whole body scanner. Journal of Nuclear Medicine. 9 (10): 517-522, Oct. 1968.

47. Sienko, Michell J., y Plane, Robert. Química. Traducción por Federico Portillo García. 3a. ed. Madrid. Ed. Aguilar, S. A. 1965. pp 20-77, 591-604.

48. Stern, S., et al. Cardiac and placental scanning with Indium-113m. Journal of Nuclear Medicine. 8 (5): 351-354., May 1967.

49. Stern, H. S. et al. In-113, a short lived isotope for lung scanning, Nucleonics. 24 (10): 57-60, 1966.

50. Stern, H. S., In-113m for blood pool and brain scanning. Nucleonics, 25 (2): 62-65. 1967.

51. Touya, E., Osorio A., y Touya, Juan J., (h). El diagnóstico centellográfico de los tumores infratentoriales en el niño. Revista de Biología y Medicina Nuclear. (Montevideo, Uruguay). 11 (1): 42-48. Octubre, 1969.

52. Touya, E. et al, Un nuevo radiofarmaco para centellografía del espacio subaracnoideo: In-113m coloidal. Revista de Biología y Medicina Nuclear, (Montevideo, Uruguay) 11 (1): 25-36, Feb. 1970.

53. Touya, Juan J., (h)., Bononi, Julio César, y Touya, Eduardo., Practical problems in the selection of generators and radiopharmaceuticals. Montevideo, Uruguay, Centro de Medicina Nuclear, Facultad de Medicina, 1970. pp 1-20 (Mimeografiado).

54. Touya, Juan J., h, et al., Fisiopatología de la función cromagoga del hígado, en las ictericias. Estudio con Rosa de Bengala radioactivo (RBI-131). Anales de la Facultad de Medicina de Montevideo, 49 (1-2): 192-204, 1964.

55. Touya, Juan J. (Jr.), Osoria A., Touya E. F. Scintigraphy of the liver, lungs, spleen, Kidneys, Brain, heart and bones in the diagnosis of Hydatid Cysts. In: Medical Radioisotope Scintigraphy. Proceedings of a Symposium. Salzburg. 6-15 August, 1968. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1969. pp 459-487. (Vol: 2).

56. Touya, Juan J. h., Mazzuchi, N. y Touya, E., Gammagrafía renal. Anales de la Facultad de Medicina de Montevideo, Uruguay, 51 (1-6): 110-116, 1966.

57. Usher, Michael S., et al. Effect to long time with Indium administrated in rats. Journal of Nuclear Medicine. 2 (4): 155-160. April 1970.

58. Vander, M., et al. Calculate of dosis absorbed in scanning of placenta with In-113m. Journal of Nuclear Medicine. 2 (1): 30-35, 1970.

59. Wagner, Henry N., Jr. Principals of Nuclear Medicine. Philadelphia, W. B. Saunders, 1968. pp 1-22, 75-240, 259-301.

60. Wagner, H., N., Jr., et al. Diagnosis of massive pulmonary embolism in man by radioisotope scanning. In: Medical Radioisotope Scanning, Prodeedings of a Symposium, Athens, 20-24, April 1964. Vienna, International Atomic Energy Agency. 1064. pp 303-324. (Vol: 2).

61. Wilson, B. J., Ed. The radiochemical Manual. 2nd. ed. Amershan, The RAdiochemical Centre, 1966, pp 9-18.

Vo.Bo.

Ruth R. de Amaya
Bibliotecaria

Br. Rafael Enrique Sigüenza Vielman

Dr. Riyad Muadi
Asesor

Dr. Juan Carranza
Revisor

Dr. Julio De León
Director Fase III

Dr. Carlos Alberto Bernhard
Secretario

Vo.Bo.

Dr. César Augusto Vargas M
Decano