

07.59.03

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| C.N.E.A. Biblioteca   |             |
| ARCHIVO PUBLICACIONES |             |
| Nº<br>2               | AÑO<br>1959 |

REPUBLICA ARGENTINA

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

CURSO DE APLICACION DE RADIOISOTOPOS

APLICACION DE RADIOISOTOPOS

R. I. 22 p

## APLICACIONES DE LOS RADIOISÓTOPOS

Durante los últimos años se ha producido una expansión notable en el empleo de los materiales radioactivos artificiales en las más diversas disciplinas científicas y técnicas.

Estas aplicaciones constituyen, en realidad, las primeras manifestaciones concretas del aporte que la energía nuclear promete realizar al mejoramiento de las condiciones de vida de la comunidad.

Tal circunstancia explica que el uso de radioisótopos integre un cuerpo científico, técnico y legal perfectamente diferenciado del correspondiente a la generación de electricidad, que es el segundo campo de actividades en que la energía nuclear viene encontrando posibilidades de utilización pacífica.

Los materiales radioactivos, tanto en forma de elementos como constituyendo compuestos, son empleados por su propiedad de emitir radiaciones ionizantes.

Tanto las radiaciones electromagnéticas como las que resultan en emisión de partículas tienen, en cuanto interesa al tema de su utilización, las siguientes características :

- a.- Son detectables, esto es, resulta posible atestiguar su presencia y medir ciertos valores específicos relativos a su tipo, energía e intensidad, empleando equipos adecuados.
- b.- Son penetrantes, es decir, son capaces de atravesar los materiales interpuestos en su trayectoria en forma y con alcances que varían con el tipo de radiación de que se trate y con las propiedades de absorción del material sobre el que inciden.
- c.- Interactúan con la materia, afectando su constitución en forma que a menudo puede hacerse objetiva.

Las dos primeras características señaladas no son otra cosa que derivaciones particulares de la tercera, pero ordinariamente se prefiere mantenerlas en la forma expresada porque constituyen la base de los tres grandes sectores de utilización en que suelen dividirse las aplicaciones de los radioisótopos.

Sobre este tema de la clasificación de los tipos de empleo, que tiene solamente importancia formal desde el punto de vista del orden de exposición, se han elaborado diversos sistemas que obedecen a criterios distintos.

El primero de los sistemas empleados tiene en cuenta el tipo de radiación, y se basa sobre las diferencias existentes entre la radiación alfa, constituida por partículas de gran masa, alto poder ionizante y de muy pequeña penetración; la radiación beta, también formada por partículas pero en este caso de masa muy reducida, capacidad ionizante intermedia y alcance mayor que la radiación alfa, y la radiación gamma, emisión electromagnética de escaso poder ionizante y gran penetración.

Otro sistema consiste en una especie de división de intereses, realizada por campos de aplicación. Si bien el análisis descriptivo se facilita, el clasifi-

car los usos de los radioisótopos en función de las disciplinas y técnicas en que se los emplea - diagnóstico médico, investigación agrícola, usos industriales, etc.-, no suministra una idea adecuada sobre las posibilidades de desarrollo posterior.

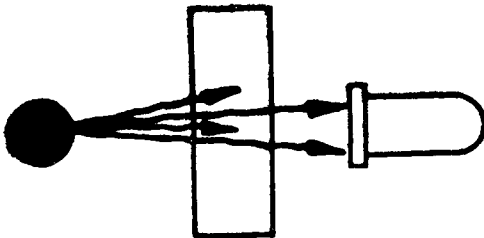
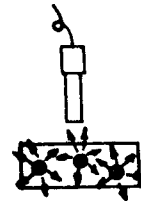
En este folleto se ha adoptado un tercer sistema, muy difundido, según el cual las aplicaciones de los radioisótopos se estructuran en base a las características de las radiaciones que se enumeraron más arriba. De acuerdo a ellas, los tres grandes sectores son :

I.- Empleo de trazadores radioactivos.

II.- Efecto de los materiales sobre las radiaciones.

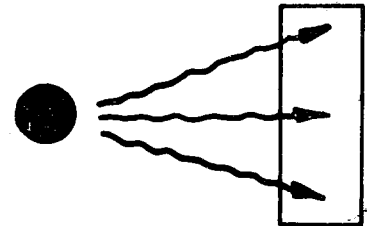
III.- Efecto de las radiaciones sobre los materiales.

El empleo de trazadores se refiere a la posibilidad de seguir la evolución de un conjunto de átomos a través de un cierto proceso físico, químico, biológico o industrial, registrando la radiación emitida por átomos radioactivos que acompañan a aquel durante todo el proceso. El material radioactivo sirve así como una marca identificadora para el conjunto en todas y cada una de las etapas de interés.



El uso de los efectos de los materiales sobre las radiaciones está basado en la capacidad de éstas de penetrar aquellos, y en la limitación que a ese poder de penetración ponen las características propias de los materiales sometidos al ensayo. La medición de la fracción emergente del haz radiante suministra información muy valiosa en el control de producción industrial, sobre las condiciones en que esos materiales se están elaborando.

Los efectos de las radiaciones sobre los materiales, finalmente, están siendo utilizados en diversas actividades destinadas a obtener modificaciones de determinado carácter en los materiales irradiados, y abarcan temas tan dispares como la destrucción de tumores en el tratamiento del cáncer y la polimerización de plásticos para uso industrial. Sin embargo de esta diversidad, el común denominador de los efectos ionizantes de las radiaciones aparece en todos los trabajos efectuados en este tipo de aplicaciones.



En las páginas que siguen, la división según estos tres sectores ha sido completada con fines didácticos utilizando la tipificación del segundo sistema, de manera que para cada gran campo de aplicación se suministran ejemplos correspondientes a las diversas disciplinas.

En su mayor parte, los ejemplos han sido tomados de las siguientes publicaciones :

Isotopes... An Eight-Year Summary of United States Distribution and Utilization.

Primera Conferencia Internacional sobre los Usos Pacíficos de la Energía Atómica- Ginebra, 1955.

Segunda Conferencia Internacional sobre los Usos Pacíficos de la Energía Atómica. Ginebra, 1958.

En cuanto al Atlas de Aplicaciones que figura como apéndice de este folleto, ha sido confeccionado sobre la compilación y los diseños originales de Howard F. Gunlock en su ilustración mural Chart of Radioisotope Applications.

## I.- EMPLEO DE TRAZADORES RADIOACTIVOS

Las técnicas por las cuales los radioisótopos se utilizan como indicadores de la evolución de una sustancia o material dado en un determinado proceso mecánico, físico, químico o biológico son varias, y sus múltiples posibilidades de aplicación en los problemas planteados a investigadores y técnicos solo reconocen como límites los de la imaginación humana.

Suele clasificarse tales técnicas en cuatro grandes grupos : técnicas de trazadores localizados, técnicas de trazadores dispersos, técnicas de visualización y técnicas analíticas. En la breve enumeración que sigue se darán ejemplos de todas ellas, aplicadas a una u otra disciplina.

### a.- Investigación biológica y médica.

Probablemente este haya sido el campo de actividades en que más fecundo resultó el empleo de trazadores radioactivos, por su adaptabilidad para el estudio de los procesos biológicos fundamentales. Es un hecho que, en muchos casos, los radioisótopos han sido la única respuesta ofrecida a la demanda de herramientas de investigación capaces de abordar los complejos y dinámicos mecanismos vitales.

Entre las esferas de acción en que los trazadores han sido más utilizados figuran los estudios de metabolismo, de acción de drogas y de acción de agentes perjudiciales a la salud.

Sobre el primer tema mencionado se realizaron numerosos trabajos sobre metabolismo del calcio, de las proteínas, del ácido nucleico, del ácido cítrico, de las hormonas y del colesterol. Por ser muy ilustrativos, se describirán los efectuados en materia de metabolismo del hierro y vida de los glóbulos rojos.

Es sabido que el 65 por ciento del hierro en el cuerpo humano se encuentra en la hemoglobina de los glóbulos rojos, mientras que alrededor del 25 por ciento se conserva en el hígado, bazo y médula ósea; el 10 por ciento restante forma parte de otros tejidos. De esta forma, si se administra una dosis de hierro radioactivo, prácticamente toda la actividad se concentrará en la sangre y en los órganos hematopoyéticos, y su presencia podrá ser detectada mediante la radiación emitida.

La medición puede efectuarse sobre muestras de sangre o médula, o bien mediante la aplicación de un detector adecuado sobre las zonas del cuerpo que resultan de interés. El primer método se emplea para medir la velocidad con que el hierro llevado por el plasma sanguíneo desde el tracto digestivo es utilizado en la formación de glóbulos rojos o es reservado para su empleo ulterior; el segundo método sirve para dar la magnitud de la captación de hierro por un tejido determinado.

Uno de los resultados de estos trabajos fué el de demostrar que, a pesar de ser la médula ósea el principal productor de glóbulos rojos, en algunos casos de policitemia vera el bazo producía un exceso de tales células. Si a un sujeto normal se le administra Hierro 59, un contador direccional colocado directamente sobre el bazo indica que la acumulación de hierro en este órgano alcanza un modesto volumen y luego decrece lentamente al ser metabolizado el hierro. La captación en la policitemia es anormalmente alta y rápida, por el mayor empleo de hierro en la producción de glóbulos rojos.

En otros estudios se encontró que en la misma enfermedad, caracterizada por la superproducción de glóbulos rojos, el elevado consumo de hierro no se debía solamente al incremento de aquellos, sino también a la disminución de la vida de los glóbulos.

Este fenómeno se encontró además en las anemias que tan frecuentemente acompañan al cáncer. El uso de Hierro 59 mostró que la pérdida de glóbulos rojos se debía a la muerte más rápida de estas células, y no a una disminución de la producción por la invasión de los órganos hematopoyéticos por el tumor maligno.

Estas mediciones fueron posibles porque el marcado de los glóbulos rojos con el hierro radioactivo subsiste a lo largo de la vida de la célula, de manera que la disminución de la radioactividad con el tiempo está directamente relacionada con la velocidad de destrucción de los glóbulos rojos.

En materia de estudio de la acción de drogas, las técnicas de trazadores radioactivos se emplearon principalmente en el análisis de agentes anticancerígenos. En la larga lucha contra esta enfermedad, se trató a menudo de sacar partido de las diferencias entre las células cancerosas y las normales. Uno de los caminos posibles era el de retacear el suministro de sustancias que fueran más necesarias a las células cancerosas que a las normales, para eliminar o reducir las primeras por mala nutrición; otra de las direcciones en que se encaminó el trabajo fué la de brindar en forma radioactiva los materiales por los que fueran especialmente ávidos los tejidos afectados por el cáncer, para provocar su destrucción desde dentro por efecto de las radiaciones.

El primer método no ha llevado hasta ahora a soluciones aceptables, y el segundo ha tenido aplicación en uno que otro tipo de cáncer, como ocurre con algunos carcinomas de tiroides frente al Iodo 131; una tercera posibilidad es la de interrumpir una etapa en el proceso metabólico, cuando resulte especialmente perjudicial para las células cancerosas, por medio de drogas en el tratamiento quimioterápico.

Para estudiar el comportamiento de estas drogas en el bloqueo de la síntesis del ácido nucleico, por ejemplo, que debido a que el proceso de crecimiento es más rápido en los tejidos cancerosos que en los normales puede resultar en mayor daño para aquellos que para los sanos, se han utilizado trazadores radioactivos. Así se analizó el comportamiento de la amenopterina, cuya acción antienzimática le da propiedades terapéuticas en ciertos casos de leucemia, y los trazadores continúan empleándose para determinar los efectos metabólicos de otras drogas.

En cuanto a la acción de agentes perjudiciales a la salud, también una porción substancial del trabajo realizado hasta ahora se ha concentrado en el estudio de los cuerpos cancerígenos.

La aplicación de los trazadores radioactivos en estos casos se realizó generalmente con el propósito de seguir la evolución de los agentes cancerígenos o de sus productos derivados en el organismo de los animales de experimentación, para obtener información sobre sus mecanismos de acción. Por ejemplo, si a la piel de un ratón se aplica dibenzantraceno marcado con Carbono 14, al poco tiempo puede identificarse la presencia de esas moléculas o de moléculas derivadas ligadas químicamente a la proteína de las células epiteliales.

## b.- Diagnóstico médico.

Los trazadores radioactivos han alcanzado gran difusión en estas disciplinas relacionadas con la identificación de enfermedades, y se han transformado en auxiliares de rutina en muchos establecimientos asistenciales y consultorios médicos.

Varias aplicaciones de los radioisótopos en el diagnóstico médico están relacionadas con la acumulación selectiva de las dosis trazadoras en determinados tejidos. El ejemplo típico de absorción selectiva es la captación de yodo en la tiroides, que utiliza grandes cantidades en la elaboración de tiroxina, la hormona tiroidea; normalmente, la glándula absorbe y utiliza la mayor parte del yodo que ingresa al cuerpo. Esta acción selectiva crea las condiciones ideales para el uso de trazadores en el estudio de las funciones tiroideas.

El empleo de Iodo  $^{131}$  en pequeñas dosis trazadoras permite efectuar el diagnóstico de hipertiroidismo o hipotiroidismo midiendo con un detector adecuado colocado sobre la garganta del paciente la actividad en la tiroides luego que aquel ha ingerido la dosis administrada. El cuadro clínico puede completarse por el análisis de la presencia del Iodo  $^{131}$  en orina y sangre.

Esta misma afinidad del yodo por la tiroides puede ser utilizada para emplear un detector direccional que permita ubicar geoméricamente el tejido tiroideo, para delinearlos con fines quirúrgicos o con el fin de evaluar su magnitud a efectos de cálculo de dosis terapéuticas. Este método de localización puede automatizarse empleando dispositivos por los cuales el detector barre en recorridos paralelos la zona a examinar, mientras sus pulsos actúan sobre una punta marcadora que a su vez se mueve sobre un papel también en recorridos paralelos. La mayor cantidad de pulsos que resulta de toda concentración de actividad se traduce así en una mayor densidad de líneas marcadas por la punta, que va delineando sobre el papel una silueta de la glándula con la representación visible de las zonas que han captado el material radioactivo.

Tales localizadores han sido usados en la ubicación de metástasis de cáncer tiroideo diseminadas en todo el cuerpo, que hubieran pasado desapercibidas en otro tipo de examen. El trabajo se apoya sobre la conocida característica de las metástasis cancerosas de poseer algunos de los rasgos de los tejidos originarios. En algunas metástasis de cáncer de tiroides, las células continúan siendo ávidas por yodo, y el empleo de Iodo  $^{131}$  que es captado por aquellas permite, al concentrarse la actividad en la zona, que el detector del localizador que va barriendo lentamente todo el cuerpo las ubique.

Un método similar permite la localización de tumores cerebrales, aprovechando el hecho de que la barrera que en el cerebro impide la transferencia de ciertas sustancias de la sangre al tejido cerebral es lesionada por los tumores, permitiendo la acumulación transitoria de tales sustancias en la zona afectada. La inyección de seroalbúmina humana marcada con Iodo  $^{131}$  hace que, al producirse la acumulación mencionada se concentre en el tumor la mayor parte de la actividad suministrada, posibilitando la localización por medio de detectores direccionales.

El rápido recambio del fósforo y el potasio en los tejidos de metabolismo acelerado, como los cancerosos, hacen que la administración de Fósforo  $^{32}$  (en caso de tumores superficiales) o de Potasio  $^{42}$  (para los profundos) sea un método para medir, con un detector sensible, la evolución del mal.

Las técnicas de dilución han proporcionado otro fértil campo de acción a los trazadores en el diagnóstico médico. La medición del volumen sanguíneo con seroalbúmina humana marcada con Iodo 131, por ejemplo, se realiza midiendo la dilución experimentada por la sustancia marcada en muestras extraídas luego que ha transcurrido un cierto tiempo a partir de la inyección.

Para determinar la masa total de los glóbulos rojos se suele utilizar Cromo 51 en forma de cromato de sodio, que se mezcla con una muestra de la sangre a estudiar. Luego de un tiempo prudencial para permitir que el trazador marque las células, se centrifuga y lava la muestra, reinyectando los glóbulos rojos en el paciente observado para el análisis de la dilución. Este método es más simple que otro, también empleado, en el que el marcado de los glóbulos rojos debe hacerse con Hierro 59 en el cuerpo y por el cuerpo mismo. Dado que las técnicas de dilución exigen que la sangre del paciente esté libre de toda actividad que no sea la contenida en los glóbulos marcados, debe emplearse una segunda persona para la inyección del Hierro 59. Una vez que el hierro activo se ha incorporado a la hemoglobina, se extrae una muestra de la cual se separan los glóbulos rojos para reinyectarlos al paciente.

La medición del volumen total de agua en el cuerpo humano, y la determinación del agua en los espacios intracelulares y extracelulares es de suma importancia en ciertas condiciones patológicas. La primera puede efectuarse por la dilución de agua marcada con Hidrógeno 3, luego de permitir la mezcla del trazador en todo el cuerpo. La última se determina por las mismas técnicas de dilución, pero empleando un trazador como el Sodio 24, que ingresa y se mezcla rápidamente en el fluido extracelular pero entra muy lentamente a las células. Efectuando la medición de las muestras al poco tiempo de la administración del trazador, de manera de impedir su ingreso a las células, se tiene idea del volumen de agua extracelular, determinándose el intracelular por diferencia entre este último y el volumen total.

Por fin, un tercer grupo de técnicas es el de las que emplean mediciones de flujo o difusión, cuya utilidad se basa en la cualidad de dinámicos que tienen los procesos vitales, y que en definitiva consisten en la determinación de los cambios en la cuenta obtenida en un dado lugar del cuerpo.

La eficiencia cardíaca puede ser valorada en esta forma, de acuerdo al flujo sanguíneo que impulsa. A tal efecto, se inyecta como trazador una dosis de seroalbúmina humana marcada con Iodo 131. El registro gráfico del pico de actividad detectado en una cierta arteria, luego que la sangre ha sido bombeada por el corazón, permite deducir el flujo analizando el área de la curva y su duración.

El Sodio 24 ha tenido vasto empleo en el estudio de los desórdenes del sistema vascular periférico. La inyección de una dosis trazadora constituida por una solución salina marcada con ese nucleído en una vena del brazo, seguida por la posterior detección de actividad en el pie con un contador adecuado, muestra que en el sujeto normal se produce un equilibrio en la actividad registrada luego de transcurrir un determinado tiempo. Este equilibrio se alcanza por el intercambio del sodio entre la sangre y el fluido extracelular, cuando el número de átomos de sodio que abandona los vasos sanguíneos es igual al que retorna a ellos desde los líquidos del pie. En los pacientes con alteraciones en el sistema periférico, el valor de equilibrio es menor y se alcanza más lentamente.



### c.- Investigación agrícola.

La trascendencia del progreso experimentado en esta materia, en base al empleo de trazadores, solo puede medirse adecuadamente cuando se recuerda que los problemas alimentarios de la población del mundo ya no pueden resolverse por la ampliación de la superficie cultivada. En realidad, el porvenir mismo de la humanidad parece depender de que los investigadores obtengan éxito en su trabajo destinado a aumentar el rendimiento de las especies animales y vegetales explotadas por el hombre, y esa mejora solo puede alcanzarse como fruto de un conocimiento más profundo de todos los aspectos relacionados con la agricultura.

Los estudios de metabolismo, relacionados con el movimiento de los elementos nutritivos minerales en las plantas, han avanzado en forma insospechada merced al uso de Fósforo 32, Azufre 35, Calcio 45, Hierro 55, Zinc 65, Carbono 14 y otros nucleídos. Entre numerosos trabajos realizados hasta ahora, puede mencionarse el estudio de la absorción de calcio en las plantas de maní, que demostró que tal absorción se realiza a través de las raíces y los frutos, y que la cumplida por medio de las primeras no basta para el desarrollo de la planta.

El uso de los fertilizantes, tanto los comerciales como los abonos verdes, está recibiendo un aporte considerable de la investigación efectuada con trazadores. El estudio del adecuado suministro y localización de los fertilizantes ha llevado a aumentar la eficiencia de su empleo; se pudo así llegar a conclusiones claras sobre las mejores condiciones para el agregado de substancias nutritivas. Un ejemplo sobre el particular lo constituye la demostración de que las plantas absorben elementos nutrientes no solo por medio de las raíces, sino que utilizan también el follaje, los frutos, el tronco, las ramas y aún las flores. Estos trabajos se realizaron empleando Fósforo 32.

Otras investigaciones con trazadores mostraron que las hojas son órganos de absorción muy eficientes; la aspersión de compuestos solubles de Zinc 65 permitió verificar por detección posterior que el movimiento del trazador en las ramas era muy rápido, aun en invierno y a bajas temperaturas.

También se han utilizado trazadores radioactivos en investigaciones de la fertilidad de los suelos, tema éste de vital interés para la agricultura. El intercambio cinético del calcio en varios tipos de arcilla ha sido analizado con Calcio 45, mientras que el Carbono 14 se está empleando para obtener información sobre la velocidad de descomposición de diversas substancias orgánicas y su disponibilidad como elementos nutritivos para las plantas.

La acción de los reguladores de crecimiento, sobre todo en el aspecto de la evolución de estas substancias en los procesos metabólicos, es estudiada en la forma que muestra el siguiente ejemplo. Un determinado regulador se marca con Iodo 131 y se aplica en forma de pasta sobre una hoja de la planta en estudio; la translocación del regulador hacia las partes en desarrollo puede ser seguida paso a paso, ilustrando sobre todas las características de su influencia sobre el crecimiento de la planta.

Los trazadores radioactivos se utilizan también para ilustrar sobre la acción de los herbicidas sobre las cizallas, con el objeto de incrementar su eficacia y eliminar los riesgos de efectos secundarios perjudiciales de tales productos químicos sobre las plantas nobles y las personas que se alimentan de ellas; en estos problemas ha tenido uso preferente el Carbono 14.

En la compleja tarea de combatir las enfermedades de las plantas y mejorar la acción de los fungicidas ha constituido una ayuda inapreciable la disponibilidad de los trazadores radioactivos en los institutos de investigación agrícola. En el primer tema se ha empleado Carbono 14, Azufre 35, Fósforo 32, Calcio 45, Molibdeno 93 y 99 y Hierro 55 y 59, entre otros nucleidos; en la mayor parte de los casos, el objetivo de estos trabajos era el de estudiar los procesos metabólicos en condiciones patológicas. Así, por ejemplo, el molibdeno radioactivo se utilizó para determinar qué concentración de este elemento, indispensable en la nutrición vegetal, alcanzaba a bloquear la absorción de hierro provocando la deficiencia que se conoce como clorosis.

Los trazadores radioactivos han llegado a ser una herramienta de investigación inapreciable en el desarrollo de mejores técnicas de producción agrícola. Es ya clásico el trabajo realizado con Fósforo 32 sobre crecimiento de raíces, con el cual se obtuvo no solo un cuadro detallado de la relación entre el crecimiento de las raíces y el de la planta, sino una información completa sobre la contribución de cada zona del sistema radical al suministro de fósforo para la planta.

Hasta las técnicas de ingeniería relacionadas en alguna forma con la agricultura han llegado los trazadores radioactivos a prestar su colaboración. Puede bastar para ejemplificar citar los estudios de correlación entre las lluvias inducidas artificialmente y la concentración y distribución en área y en altura de los cristales de yoduro de plata sembrados en las nubes para provocar aquellas precipitaciones, en que se empleó Plata 111, y el análisis de los sistemas de irrigación llevado a cabo por la medición de caudales con Oro 198.

Para cerrar esta rápida enumeración de programas de utilización de radioisótopos como trazadores en el estudio de fenómenos relacionados con los vegetales, debe mencionarse la contribución fundamental aportada al conocimiento de las diversas etapas de la fotosíntesis por el Oxígeno 18 y el Carbono 14, el primero para establecer que la fuente del oxígeno implicado en la fotosíntesis era el agua, y el segundo para explicar las reacciones químicas del anhídrido carbónico.

La explotación animal constituye otro de los campos de acción principales en la actividad agrícola, y si bien no con la intensidad con que se emplearon en la faz vegetal, los trazadores radioactivos también han ingresado a los laboratorios de experimentación sobre el tema.

Los estudios sobre nutrición animal y fisiología animal llevados a cabo con trazadores son similares a los efectuados en materia de fisiología vegetal. Pocos ejemplos bastarán para dar idea de la flexibilidad y capacidad de adaptación de los radioisótopos a las características de los innumerables problemas planteados.

El estudio del metabolismo de los micronutrientes, elementos minerales esenciales para la crianza que evolucionan en cantidades sumamente pequeñas, es un campo ideal para los trazadores radioactivos por sus notables características de sensibilidad. El descubrimiento de que la deficiencia de cobalto en el ganado es en realidad deficiencia de vitamina B 12 fué alcanzado por la administración oral de Cobalto 60, que permitió probar que la vitamina es sintetizada en los estómagos de los rumiantes, y que la administración oral de sales de cobalto es el mejor camino para remediar esa deficiencia. En forma similar pudo constatarse que el sulfato iorgánico, marcado con Azufre 35, es la base que utiliza el ganado para la síntesis de los aminoácidos cystina y metionina, lo que significa que

los sulfatos inorgánicos pueden ser un elemento nutritivo muy económico.

El empleo de los metabolitos orgánicos puede ser analizado muy a fondo con los trazadores. En la búsqueda de ganado apto para la cría en zonas de elevada temperatura y gran humedad se procedía en forma muy empírica hasta que el empleo de Iodo 131 demostró una relación directa entre la capacidad de adaptación y la depresión de la actividad de la tiroides, con lo cual comenzó a facilitarse la tarea de selección de reproductores, por la identificación de los más resistentes mediante estudios de captación tiroidea.

También se han utilizado los trazadores para resolver cuestiones vinculadas con los coeficientes de digestión de diversos alimentos, imposibles de determinar exactamente por el análisis comparativo del ingreso y egreso de los mismos del organismo animal. El empleo de Fósforo 32 hizo posible demostrar que la antigua creencia de que el fósforo del heno de alfalfa solo era digerido en un 20 por ciento por el ganado lanar era errónea. Las técnicas de trazado que probaron que el coeficiente real era del 90 por ciento convirtieron a la alfalfa en una fuente inmejorable de suministro de fósforo al ganado.

La circunstancia de ser la leche uno de los alimentos fundamentales ha prevalecido para que los estudios bioquímicos de los procesos corporales se hayan centralizado alrededor de las características de su producción, sobre todo en el análisis de las relaciones entre la alimentación y la formación de leche. El empleo de Carbono 14 en el estudio de los fenómenos bioquímicos según los cuales evolucionan los carbohidratos ha suministrado considerable información para incrementar la producción láctea en base a la selección de alimentos más adecuados, métodos más perfeccionados y razas más aptas.

Las enfermedades de los animales, por fin, están comenzando a ser estudiadas mediante trazadores radioactivos. Aun que existen diversas causas que influyen para demorar la difusión de estos métodos, sobre todo desde el punto de vista de la protección radiológica y el relativo costo de operación, es indudable que en ciertos casos puede obtenerse una definida utilidad, como en el diagnóstico de ciertas deficiencias hormonales.

Para terminar con la aplicación de trazadores radioactivos en temas relacionados con la agricultura, conviene mencionar la trascendencia que su empleo ha tenido en los estudios relacionados con insectos, cuya acción puede llegar a determinar las condiciones de vida en una comunidad.

En esta materia, los trabajos sobre insecticidas marcados han resultado de probada utilidad; el empleo de Carbono 14, Iodo 131, Azufre 35 y Fósforo 32 han brindado mucha información sobre el área cubierta en la aplicación, duración de sus efectos, acción sistémica sobre las plantas, absorción por los insectos, fisiología en los insectos, causas de resistencia, toxicidad sobre animales útiles y otros fenómenos, que permitirán mejorar la producción y el uso de insecticidas.

El Fósforo 32 y el Estroncio 90 han sido muy utilizados en los estudios efectuados de los hábitos de migración e hibernación de los insectos, por la ventaja que el marcado con sustancias radioactivas tiene sobre otros métodos anteriormente empleados para analizar el movimiento de los insectos, ya que no requieren la inspección individual.

Métodos parecidos se usan para investigar la difusión de enfermedades por ejemplares portadores entre colonias de insectos útiles, como las abejas, suministrando jarabes marcados con Fósforo 32 a los habitantes

de una colmena. En igual forma se estudian los hábitos alimentarios de las abejas y su relación con los cultivos vecinos.

d.- Investigación física y química.

Quienes descubrieron las propiedades y posibilitaron la producción en gran escala de los radioisótopos, también los emplean como auxiliares en sus trabajos de investigación, aprovechando sus cualidades como trazadores.

En la observación de ciertas muestras con el microscopio electrónico se recurre a la preparación previa de las mismas por la técnica del sombreado, que consiste en evaporar al vacío átomos de un metal pesado calentado, como el cromo, y depositarlos bajo un ángulo dado sobre el espécimen a observar, de manera de formar sombras que pongan de manifiesto las características de la superficie.

El espesor de la película depositada es crítico, en cuanto a que debe asegurar buen relieve sin enmascarar el detalle. El control de esos espesores se efectúa a menudo utilizando material radioactivo, por medición comparativa de la actividad de la película marcada con Cromo 51 con la de muestras patrones de película con el mismo trazador.

Los estudios de autodifusión gaseosa, líquida o sólida son de importancia fundamental para la comprensión de la dinámica molecular, y para el desarrollo de muchos procesos químicos y metalúrgicos. Prácticamente el único método de distinguir los átomos o moléculas que se están difundiendo en el material que los rodea, químicamente idéntico, es el empleo de trazadores radioactivos.

La autodifusión de metal sólido bajo la acción del calor se analiza, como en el caso del cobre, depositando sobre una placa de ese metal una fina capa de Cobre 64 y midiendo la actividad superficial antes de someter la placa a la acción del calor. Luego que la muestra ha sido calentada, una nueva medición superficial demuestra que los átomos de la superficie han migrado hacia el interior, siendo reemplazados por átomos estables que proceden del seno de la placa. El método permite valorar la velocidad y la magnitud del fenómeno, y su relación con la temperatura.

La química orgánica ha recibido un aporte considerable del empleo de trazadores radioactivos, y naturalmente, del Carbono 14 en primerísimo lugar.

El mecanismo de una infinidad de reacciones químicas, sin una manera adecuada de seguir la evolución de los átomos de carbono, no hubiera podido ser resuelto, y una serie de hipótesis hubiera reemplazado al conocimiento concreto que se ha adquirido por las modernas técnicas.

Durante un siglo, por ejemplo, se trabajó sobre la reacción Crossed Cannizzaro, entre el formaldehído y un aldehído aromático. El formaldehído es oxidado a ácido fórmico, y el aldehído aromático es reducido a un carbinol.

Para preparar un carbinol marcado en el átomo de carbono se pensaría en comenzar con el correspondiente aldehído aromático marcado con Carbono 14, realizando luego la reacción Crossed Cannizzaro con formaldehído, pero esto conduciría a encontrar toda la radioactividad en el ácido fórmico, pues al parecer el carbono del formaldehído cambia posiciones con el grupo aldehído marcado con Carbono 14. Este mecanismo era desconocido antes del uso de trazadores radioactivos.

#### e.- Usos industriales.

El empleo de trazadores radioactivos en el campo industrial ha sido fructífero, sobre todo en lo que se refiere al estudio de procesos de producción y a su utilización como elementos de control.

Dada la objetividad de la mayoría de las aplicaciones industriales, se tratará de hacer referencia a una variedad de métodos y procedimientos, como guía para el análisis de posibilidades de adaptación de tales técnicas a otros campos de la ciencia.

En todos los casos en que se emplean trazadores localizados, el material radioactivo no se dispersa, y en general el trabajo no implica medición de actividad sino, simplemente, detección.

Las técnicas de trazadores localizados son varias, pero las principales pueden circunscribirse a dos grandes grupos : técnicas de indicación de presencia y técnicas de trazado de movimiento. Se hará mención de algunos ejemplos del primero.

Durante el trabajo normal de los oleoductos suele irse depositando en las paredes internas del conducto una capa de materiales residuales que poco a poco va reduciendo la sección útil de transporte. Para eliminar esas incrustaciones perjudiciales se introduce periódicamente en el conducto un dispositivo raspador provisto de hojas metálicas que van separando por corte el material depositado sobre las paredes del tubo. Ese raspador se mueve a lo largo del oleoducto por centenares de kilómetros, impulsado por la presión de los equipos de bombeo.

En ocasiones, la presencia de una masa excesiva de material a eliminar provoca el atascamiento del raspador, que queda así detenido en su recorrido obstruyendo el oleoducto en un lugar desconocido del trayecto, siendo necesario encontrarlo para solucionar la interrupción del servicio.

La búsqueda del raspador se facilita enormemente si el mismo lleva una pequeña fuente radiactiva. Basta entonces con recorrer el trayecto del oleoducto con un detector, hasta que éste denuncie la presencia de la fuente y, por ende, del raspador. La disminución del tiempo requerido para ubicar el sitio de la interrupción, posibilitando la apertura del oleoducto y la eliminación de la dificultad en el lugar indicado se traduce en considerables beneficios económicos.

Sobre un principio completamente similar se basan los dispositivos de localización de instalaciones que pueden ser cubiertas por tierra o nieve, y a las cuales puede ser necesario hallar sin dificultad en caso de emergencia, como las cámaras de acceso a las líneas telefónicas subterráneas de larga distancia. En estos casos, se suele disponer una fuente radioactiva en la tapa de la cámara, que puede ser ubicada con un detector a través de las capas de material de cobertura.

Pueden considerarse también casos de trazadores localizados los medidores de nivel de líquidos en tanques herméticos que funcionan sobre la base de una fuente colocada sobre un flotador en el líquido, cuya proximidad a un detector exterior en posición fija atestigua que se ha alcanzado el nivel de aquél.

Entre las técnicas de trazado de movimiento, son muy objetivas las utilizadas en el transporte múltiple de productos líquidos por una única cañería de conducción.

Muy a menudo, los oleoductos están constituidos por una tubería por la que deben enviarse desde los yacimientos hasta la destilería petróleos crudos de características diversas, que a su llegada a la planta se someten a distintos procesos de destilación. De ahí que se conjugué la necesidad de utilizar el mismo conducto para enviar sucesivamente líquidos distintos, con la de separar eficientemente tales líquidos para evitar que a su llegada puedan ser erróneamente destinados a los tanques que no les corresponden.

Se mantendrá presente que al entrar el oleoducto a la destilería, el destino final de los crudos es decidido por válvulas de derivación que deben ser accionadas oportunamente para separar los líquidos que se destilarán según uno u otro proceso, y que tal accionamiento oportuno depende del conocimiento de la llegada de la interfase de separación.

Ese conocimiento se obtenía, hasta hace poco tiempo, por el muestreo periódico del líquido que iba entrando a la destilería por el oleoducto, lo que producía indefectiblemente un retardo entre la identificación del líquido y su derivación a destino, ocasionando así mezclas inadecuadas de crudos en los tanques. Esa dificultad ha quedado obviada por el simple expediente de inyectar una solución radioactiva, generalmente de Iodo 131, en el extremo inicial del oleoducto al finalizar el bombeo de un crudo dado y comenzar el del siguiente.

La solución radioactiva viaja por el conducto como interfase entre los dos crudos hasta llegar a la destilería. Un detector adecuado colocado sobre el oleoducto a la entrada del mismo a la planta servirá para detectar la llegada de la interfase, lo que coincidirá con la oportunidad de accionar la válvula de derivación.

En las técnicas que utilizan trazadores dispersos se exigen normalmente tareas de medición sobre el material radioactivo diseminado en un medio. Entre ellas están las técnicas de transferencia física, las de transferencia físico-química y los procesos químicos.

Probablemente uno de los empleos típicos de la primera sea el estudio de procesos de desgaste de piezas metálicas. En una de estas aplicaciones, se trata de determinar el comportamiento de los aros de pistón de un motor de combustión interna, y su desgaste comparativo con diversos tipos de aceite lubricante.

Tradicionalmente estos ensayos, que se llevaban a cabo por pesadas diferencias que exigían desmontar el motor a intervalos predeterminados para verificar la disminución de material en función de las horas de trabajo y del aceite empleado, constituían tareas que demandaban mucho tiempo e insumían grandes sumas de dinero. Hoy día el procedimiento es bastante más sencillo y mucho más económico.

Los aros de pistón a ensayar se someten a una irradiación con neutrones en un reactor, con lo cual parte de los átomos de hierro estable que los constituyen se convierten en átomos de hierro radioactivo.

Colocados los aros en el pistón, se hace funcionar el motor y, periódicamente, se toman muestras del aceite del cárter. Al funcionar el motor, los aros comienzan a desgastarse y los átomos desprendidos son arrastrados por el aceite. La actividad medida en las muestras determina la presencia de los átomos radioactivos que integraban los aros, y su repetición sistemática permite seguir el desgaste de los aros con diferentes lubricantes.

o aun el desgaste de diferentes aleaciones con el mismo aceite.

El caso de los estudios de transferencias físico-químicas se observa en el análisis de las propiedades de los modernos detergentes. En estos trabajos, el material radioactivo se incorpora a la substancia que se va a utilizar para ensuciar experimentalmente los tejidos; por ejemplo, se emplea bicarbonato marcado con calcio radioactivo para determinar la eficacia de los agentes limpiadores para remover los iones de calcio de que se impregna la superficie del tejido.

La medición del Calcio <sup>45</sup> sobre las telas lavadas y enjuagadas sirve para establecer con seguridad qué limpiadores han actuado mejor en la tarea de eliminar la suciedad, pues quedará más actividad en las prendas tratadas con agentes menos eficaces, y viceversa.

Gran parte de los detalles de los procesos químicos de producción pueden ser estudiados a fondo utilizando trazadores radioactivos; en muchos casos, constituyen el único recurso para obtener una aproximación suficiente a la realidad de cada fenómeno.

Lo relacionado con el mecanismo de las reacciones químicas, el ritmo y rendimiento de cada proceso, el equilibrio de las operaciones, todo es un objetivo adecuado al enfoque con material radioactivo. En particular, las importantes reacciones químicas que requieren catalizadores para cumplirse en escala industrial y que presentan un considerable número de factores incógnitos han encontrado un auxiliar inapreciable en estas técnicas. Como ejemplo suele citarse los estudios con trazadores llevados a cabo sobre la síntesis Fischer-Tropsch de gasolina y otros hidrocarburos a partir de hidrógeno y monóxido de carbono.

Una aplicación típica de las técnicas de visualización es la autoradiografía, en la que se aprovecha la acción de las radiaciones sobre las emulsiones fotográficas. En el amplio campo de aplicación de la autoradiografía, interesa destacar el que tiene en la metalurgia. Por ejemplo, el estudio de la segregación interdendrítica del arsénico en acero, de importancia para el conocimiento del comportamiento de las aleaciones, puede llevarse a cabo utilizando arsénico radioactivo. Si la película sensible se pone en contacto con la placa metálica que se desea analizar, por el método llamado de macroradiografía, la radiación proveniente de los átomos de arsénico desencadena el proceso de movimiento de electrones que produce la formación de imágenes en la emulsión sensible, en la misma forma en que lo hace la luz en el proceso fotográfico.

Aparecen así áreas de obscurecimiento relativo, claramente visibles en la película, que dan la imagen de distribución del elemento radioactivo sobre la superficie estudiada.

En cuanto a los varios métodos de análisis introducidos por el uso de material radioactivo, deben citarse los de análisis por dilución isotópica y, paralelamente, los de análisis por activación, aunque probablemente sea el análisis por trazadores la más sencilla de las aplicaciones en este aspecto.

El análisis por trazadores está destinado a suministrar información sobre la distribución de un elemento o compuesto dado a lo largo de un proceso de fabricación, hasta llegar a los productos terminados.

En el uso de esta técnica de análisis tiene fundamental importancia la

sensibilidad obtenible en la detección de material radioactivo, que permite encontrar trazas del mismo en concentraciones imposibles de determinar por ningún otro método. Es así que, en ciertos casos y para algunos elementos, puede detectarse la presencia de proporciones diluídas hasta una vez en un billón.

La misma importancia tiene la especificidad de los trazadores radioactivos, que pueden ser seguidos a través de múltiples operaciones físicas y reacciones químicas hasta su destino final.

Un ejemplo muy simple de la utilización del análisis por trazadores puede encontrarse en el estudio de incorporación de agregados como sales minerales y vitaminas en la producción de alimentos para animales. En tales casos, cada bolsa del producto final pretende contener una determinada proporción de los citados elementos, siendo la única certificación de tal circunstancia el que, en los recipientes de molienda y mezclado, se agregue la cantidad adecuada a la masa total.

A pesar de esto, puede ocurrir que el proceso de producción tenga características tales que no se obtenga una distribución uniforme del agregado, o bien, por el contrario, que la operación de mezclado sea más larga de lo necesario para asegurar la uniformidad del producto envasado.

Para eliminar toda posibilidad de duda, puede hacerse una operación analítica en la cual se añade al agregado de una determinada sal o vitamina, una pequeña cantidad de la misma que ha sido marcada con material radioactivo, por ejemplo, vitamina B 12 marcada con Cobalto 60.

El material radioactivo seguirá el proceso total en la misma forma que su homólogo estable, y aparecerá en los envases al finalizar aquel con la misma distribución. Una medición relativa puede ya suministrar información suficiente sobre las características del proceso industrial, y permitir deducir si las operaciones que implica son capaces de proveer un producto de acuerdo a ciertas especificaciones, o requieren alguna modificación.

En conclusión, el empleo de trazadores radioactivos no es más que uno de los tres aspectos fundamentales en que los nuevos elementos pueden colaborar con el progreso de la ciencia y de la técnica, pero probablemente sea ahora y continúe siéndolo, el más vasto y multiforme. En realidad, los trazadores radioactivos son los sucesores directos del microscopio, como recurso incomparable para escrudifiar en lo más recóndito de los fenómenos.



## II.- EFECTO DE LOS MATERIALES SOBRE LAS RADIACIONES.

En este tipo de aplicación de los radioisótopos se utiliza la acción reflectora, absorbente o modificadora que sobre la radiación incidente tiene el material expuesto, tal como es registrada por medios de detección adecuados.

En general, esa acción de presencia deriva en la operación de equipos de control, destinados a verificar la permanencia de determinadas condiciones normales o su variación. Tal característica fundamental explica el que la mayoría de los usos de este tipo de aplicación tengan carácter industrial, por la incompatibilidad entre los fenómenos biológicos y todo lo que signifique control de permanencia.

No obstante ello, pueden exponerse algunos casos de aplicaciones basadas sobre los efectos citados en el campo biológico, aunque más no sea que con carácter completamente secundario.

### a.- Diagnóstico médico.

La única contribución de alguna significación que en el aspecto médico ha efectuado el aprovechamiento del efecto de los materiales sobre las radiaciones es la radiografía de emergencia.

Es ampliamente conocida la trascendencia que para el diagnóstico médico ha tenido el uso de los rayos X. El inconveniente que representa la necesidad de contar con equipos voluminosos y costosos, junto con los requerimientos de energía eléctrica planteados por el funcionamiento de tales instalaciones, no ha sido óbice para su universal difusión.

En ocasiones, sin embargo, esas desventajas que pasan generalmente desapercibidas crecen, hasta llegar a magnitudes que representan sencillamente la eliminación de todos los beneficios. Tal cosa ocurre en localidades que habitualmente carecen de servicio eléctrico, como los pequeños pueblos de campaña, o en situaciones de emergencia, como pueden ser las que tienen lugar en poblaciones más desarrolladas cuando son afectadas por catástrofes que suprimen temporariamente el abastecimiento de electricidad, o las derivadas de acciones bélicas.

Sobre todo en los dos últimos casos, en que la cantidad de seres humanos afectados simultáneamente puede ser muy grande, es del mayor interés disponer de instrumental que permita diagnosticar con rapidez y en las condiciones precarias que suelen darse.

La solución a este problema está dada por el empleo de radioisótopos que emitan radiación gamma muy blanda, de energía similar a la de los rayos X utilizados en radiografía, o radiación beta capaz de generar por bremsstrahlung los rayos X necesarios.

Ya se han construido, con carácter experimental, equipos cargados con Tulio 170 o Estroncio 90, cuya operación como fuentes de radiación destinadas a la radiografía de emergencia ha resultado en la obtención de placas que, si bien no son tan definidas como las obtenidas con los equipos convencionales, pueden muy bien reemplazarlos en trabajos de radiografía dental y, en especial, en la inspección de fracturas óseas.

#### b.- Investigación agrícola.

La explotación del campo solo se ha beneficiado con este tipo de aplicación de los radioisótopos en lo que se refiere a la ingeniería agrícola.

El papel jugado por el suministro de agua en la buena marcha de los cultivos o en el rendimiento de las especies animales no puede ser exagerado, y sería ociosa insistir en el tema. En cambio, no es tan conocida la importancia de una adecuada previsión de los caudales disponibles para el riego, basada en los datos de la precipitación de lluvia y de la caída de nieve en las zonas en que se originan las corrientes que luego serán aprovechadas para irrigar las sementeras.

Por las características de la mayoría de tales zonas, sobre todo las que integran los grandes campos nevados, es a menudo muy difícil recopilar una información detallada y completa de la altura de nieve caída por los métodos usuales de medición. Es aquí que el uso de equipos que funcionan en base a material radioactivo permite automatizar totalmente el trabajo, multiplicando a voluntad y con pequeñas inversiones el número de estaciones de determinación.

Esos equipos están formados por una fuente gamma, usualmente Cobalto 60, alojada en un pequeño depósito en la superficie del terreno. La radiación emergente alcanza un detector ubicado a una cierta altura sobre la fuente, cuyos pulsos son recibidos por un contador y transmitidos por radio automáticamente a una estación receptora central.

La caída de nieve sobre la fuente tiene, como consecuencia, la absorción parcial de la radiación emitida por la fuente y la disminución del número de pulsos en el detector. Esa variación es proporcional al espesor de la capa de nieve interpuesta entre la fuente y el detector, brindando así un registro permanente y completo de las masas de nieve disponibles para las corrientes de deshielo.

Otro empleo del mismo principio es la medición de la humedad contenida en los suelos, información de esencial interés para el buen desarrollo de ciertos tipos de cultivo, sobre la base de la radiación emitida por fuentes de Cobalto 60 y Cesio 137.

#### c.- Usos industriales.

Ningún otro campo de aplicación de los efectos de los materiales sobre las radiaciones ha resultado tan fértil como el industrial.

Para dar un panorama suficientemente ilustrativo es conveniente exponer un esquema de las diversas técnicas principales. Entre ellas figuran las de transmisión parcial, de transmisión y reflexión parcial, de interrupción de haz o absorción, de conversión de tipo y de difracción.

Algunas de estas técnicas, sobre todo las dos primeras, se han desarrollado muy rápidamente y han ingresado con pleno derecho al ambiente industrial, a grado tal que el consumo de material radioactivo implicado en el desarrollo de equipos basados en las mismas ha superado en muchos países el dedicado a todas las disciplinas médicas, desde la investigación y el diagnóstico hasta la terapéutica.

En lo que sigue, se detallan algunos ejemplos de aplicación de las diferentes técnicas, que no tiene carácter exhaustivo.

Dentro de los procesos basados en la transmisión parcial, figura en primer lugar la gammagrafía industrial. Su destino es la inspección no destructiva de piezas fundidas o soldadas, que tiene por objeto la ubicación y evaluación de defectos que, como las sopladuras e inclusiones en las primeras y las grietas o fisuras en las segundas, disminuyen las cualidades tecnológicas de los productos terminados permaneciendo inaccesibles al examen visual.

Esas fallas pueden hacerse aparentes durante el proceso de terminación, inutilizando el material y las horas de trabajo empleadas hasta ese momento o, lo que es peor, pueden traducirse en roturas prematuras durante el funcionamiento de los equipos e instalaciones en que se utilicen; de ahí que dicho análisis sea una exigencia de rutina en las piezas fundidas vitales de las máquinas y en las soldaduras de las grandes estructuras metálicas y de las conducciones de gases y líquidos a presión.

El principio de la gammagrafía industrial es similar al de la radiografía convencional; la interposición de un cuerpo en el haz emergente de una fuente de radiación gamma producirá una absorción proporcional al espesor y a la densidad del material atravesado. Si el flujo remanente se utiliza para impresionar una película sensible, se obtendrá en ésta una imagen de las zonas más o menos espesas y más o menos densas de la pieza gammagrafiada.

En estos momentos la gammagrafía, nacida con las fuentes de radium como modesta competidora de los equipos de rayos X industriales, está encaminada a desplazarlos completamente por reunir apreciables ventajas de carácter económico y operativo. En efecto, los equipos para gammagrafía industrial cargados con fuentes de Cobalto 60, Cesio 137, Iridio 192 y Tulio 170 agregan a su menor costo, su independencia de las líneas de suministro de energía eléctrica y una mayor flexibilidad.

Menor trascendencia individual pero mucha mayor diversificación tienen las técnicas de transmisión y reflexión parcial, que constituyen el tipo más utilizado en los procesos de control continuo.

Gran difusión han tenido los equipos para medición continua de espesores de productos laminados. En la elaboración de tales productos suele tener mucha importancia la tolerancia con que se ajusten a las especificaciones relativas a la constancia de espesor, y el mantenimiento del material dentro de esas tolerancias puede ser decisivo en cuanto a su calificación como producto de primera calidad.

Existen diversos métodos para determinar el espesor de la lámina, pero la mayoría de ellos solo brindan información sobre el producto terminado, es decir, cuando ya no es posible remediar la deficiencia. Así ocurre con los métodos de muestreo, pesada, etc.

Entre los métodos que permiten medir el espesor de la lámina en movimiento, cuando existe la posibilidad de variar las condiciones de fabricación, los más dúctiles y seguros son los basados en el empleo de material radioactivo. El producto cuyo espesor se desea medir circula entre una fuente radioactiva y un detector adecuado, cuyo registro del haz que atraviesa la lámina está condicionado por el espesor de material interpuesto.

Con este tipo de equipos se puede medir láminas de materiales muy diversos; plásticos, papel, vidrio, goma, metales, en condiciones de fabricación muy variables y en cualquier etapa del proceso.

Las indicaciones del detector, luego de amplificadas, pueden llevarse a paneles de registro en cabinas de comando, o aun utilizarse para accionar servomecanismos que corrijan automáticamente la posición de los cilindros laminadores para volver al espesor normal.

Las fuentes utilizadas dependen de la densidad y del espesor de la lámina a medir, habiéndose empleado Carbono 14, Estroncio 90, Cerio 144, Cesio 137, etc.

Otros equipos de control basados en la transmisión y reflexión parcial son los medidores de densidad. Así como en los medidores de espesores se presupone que el material examinado es de densidad uniforme, de manera que toda variación en la detección puede atribuirse a variación de espesor, el mismo principio aplicado a materiales de espesor uniforme deriva en la posibilidad de medir variaciones de densidad.

Una alternativa de éstos métodos la constituyen los equipos automáticos destinados a verificar el grado de compacidad del tabaco en los cigarrillos. Este es un problema de producción a muy alta velocidad que ha sido resuelto satisfactoriamente por la comparación de la ionización producida en dos cámaras de ionización por los haces emergentes de dos fuentes de radiación calibradas, que previamente atraviesan un cigarrillo patrón y el tubo continuo destinado a ser cortado en cigarrillos comerciales, respectivamente. Una unidad de control electrónico permite, según las indicaciones de las cámaras, modificar la alimentación del tubo continuo hasta obtener compacidad satisfactoria.

Algunos problemas de medición de espesores no pueden ser resueltos por los métodos de transmisión parcial, debido a que un lado de la lámina a medir es inaccesible. Esto ocurre en los casos en que es necesario verificar el grado de corrosión que afecta a tuberías de conducción de fluidos, o cuando se desea controlar el espesor de láminas de enchapado de un metal sobre otro.

En estos casos se aprovecha la reflexión parcial que ocurre en el fenómeno de retrodispersión, según el cual las partículas beta emitidas por un determinado radioisótopo inciden sobre el metal base y, en parte, son reflejadas. La intensidad del haz reflejado depende del espesor de la capa de enchapado, entre otras variables, y permite medirla con suma precisión.

Las técnicas de interrupción de haz tienen mucha aplicación en los sencillos equipos destinados a verificar el llenado de envases en una línea de empaque. La radiación de una fuente colocada a la altura a que normalmente debe llegar el producto dentro del envase, solo es recogida por un detector colocado en el lado opuesto cuando el envase no está debidamente lleno, permitiendo accionar alarmas o mecanismos de rechazo que separan de las cintas transportadoras los envases defectuosos.

Un proceso similar tiene lugar en los equipos destinados a controlar la presencia de partes vitales en piezas terminadas. Un haz de radiación atraviesa la pieza en una sección adecuada, de manera tal que la existencia de la parte que se desea controlar bloquea el haz. Su ausencia, por el contrario, permite que un detector reciba la radiación emergente y actúe sobre los mecanismos de alarma.

Otro ejemplo de aplicación de las técnicas de interrupción es el de los equipos detectores de nivel con fuente externa. Si se desea conocer la altura del metal fundido en un horno cubilote, la colocación de una fuente

radioactiva en una ubicación dada del exterior del horno y la de una batería de detectores dispuestos según una vertical en la zona diametralmente opuesta, permitirá obtener un registro permanente del nivel del material por la sucesiva interrupción de los haces que van desde la fuente hasta cada detector, producida por la variación en altura de la masa metálica fundida.

Un ejemplo típico de las técnicas de conversión de tipo lo representa la determinación de la humedad en suelos, realizada por el empleo de una fuente de neutrones. Cuando los neutrones rápidos suministrados por la fuente colisionan con los átomos de hidrógeno del agua contenida en el suelo como humedad, van perdiendo energía hasta transformarse en neutrones térmicos, que por sucesivos choques llegan hasta las proximidades del detector.

Este se encuentra blindado contra la radiación directa procedente de la fuente, pero tiene una envoltura de plata en la que inciden los neutrones térmicos reflejados, para originar un isótopo radioactivo de la plata de corto período. La medición de este nucleído, realizada por el detector, está relacionada con la humedad contenida en el suelo.

Las técnicas de difracción, por fin, tienen aplicación en estudios de carácter físico, como el análisis cristalográfico.

### III.- EFECTOS DE LA RADIACION SOBRE LA MATERIA.

Se ha visto que el empleo de los radioisótopos como trazadores constituye el campo en que su aplicación es más diversificada y multiforme, mientras que la utilización de los efectos que la presencia de la materia produce en la detección de las radiaciones ha llevado a los desarrollos más concretos y divulgados.

El aprovechamiento de los efectos de la radiación sobre la materia tiene, por su parte, la característica esencial de prometer evolucionar a breve plazo en forma trascendental, trayendo la solución a una serie de problemas de gran magnitud.

Hasta el momento, el fruto de los trabajos llevados a cabo sobre el particular es muy limitado, en razón de la complejidad misma de los temas abordados y de los requerimientos en hombres y dinero que estos estudios implican. Sin embargo, la mención de algunos de los resultados efectivos ya alcanzados puede contribuir a tener idea aproximada de la real importancia que tendrán estas aplicaciones una vez que la investigación preliminar brinde conclusiones.

#### a.- Terapéutica médica.

El uso de radioisótopos artificiales en la terapéutica médica comenzó como una ampliación del empleo del radium, utilizado durante los primeros cincuenta años de este siglo como fuente de radiación interna y externa para el tratamiento del cáncer.

La posibilidad de destruir los tejidos malignos, o retrasar su desarrollo, fué haciéndose poco a poco más concreta a medida que nuevos elementos en nuevas formas ingresaban a las instituciones asistenciales procedentes de los laboratorios de producción de radioisótopos anexos a los reactores nucleares.

El uso terapéutico del material radioactivo recién comienza, y si bien el número de aplicaciones específicas es relativamente bajo, queda en pie la esperanza de que la intensa investigación que se realiza sobre el tema continúe brindando resultados positivos.

Existen diversas formas de encarar la descripción de los principales usos de los materiales radioactivos en el tratamiento paliativo y curativo de enfermedades, casi todas ellas basadas sobre el carácter del mecanismo de aplicación empleado en cada caso. Para los ejemplos que se incluyen en estas páginas, se seguirá la clasificación adoptada en los centros europeos, que por otra parte no ofrece diferencia fundamental con la americana.

De acuerdo a la primera deben considerarse tres grandes grupos : aplicación local, administración sistémica y teleterapia, que corresponden a otros tres de la segunda : emplazamiento físico, emplazamiento bioquímico y teleterapia.

El grupo de aplicación local está integrado por los subgrupos de administración intersticial (infiltración de tumores e implantación de tumores), administración intracavitaria (coloides, soluciones y fuentes sólidas) y terapia de contacto.

La infiltración de tumores con radioisótopos artificiales se realiza aprovechando las cualidades de los coloides. El material radioactivo en forma de pequeñísimas partículas sólidas inatacables por los fluidos corporales, permanece en suspensión en un líquido portador, que luego de la inyección es absorbido por los tejidos dejando las partículas en las vecindades del lugar de ingreso al organismo. De esta manera pueden tratarse muchos tipos de cáncer accesibles pero inoperables, en especial lesiones comparativamente localizadas como los carcinomas de cervix, de próstata y de mama.

Una ventaja secundaria de los radiocoloides consiste en que, dado que a menudo el sistema linfático se ve afectado en los casos de cáncer porque a través de sus canales se drenan las células y los fragmentos de tejido separados del tumor, el material radioactivo alcanza lentamente los mismos puntos de colección pues es también drenado por el mismo sistema.

El elemento más utilizado como coloide es el Oro 198, y se está comenzando a emplear el Fósforo 32 y el Ytrio 90, emisores beta que presentan menores problemas de protección.

La segunda forma de administración intersticial local es la implantación, que en el campo del uso de los materiales radioactivos artificiales no es otra cosa que la ampliación de las viejas técnicas de trabajo con las agujas y tubos de radium y las semillas de radón.

La disponibilidad de mayor número de elementos, con características propias y muy diversas en materia de formas físicas, energías y tipo de radiación y períodos de semidesintegración, ha influido para que en la implantación de tumores por vía intersticial se hayan obtenido considerables progresos.

Por esas mismas circunstancias los elementos empleados hasta ahora han sido varios; su elección y la forma de aplicación depende, naturalmente, de las características del tumor que se desea irradiar. El Cobalto 60, por ejemplo, en forma de alambres, perlas, agujas y tubos, se ha constituido en el reemplazante del radium, acompañado por el Tántalo 182 en forma de alambres u horquillas, y el Iridio 192 en horquillas o granos entubados en plástico.

Un lugar especial como sucesores de las semillas de radón tienen los granos de Oro 198 y las varillas de Ytrio 90.

En el subgrupo de administración intracavitaria figuran en primer lugar los coloides, empleados ahora para la irradiación de efusiones malignas en la cavidad pleural o peritoneal.

El Oro 198, así como coloides de Fósforo 32 e Ytrio 90 en segunda instancia, actúa en las cavidades como un delgado revestimiento radioactivo que irradia la superficie de los depósitos carcinomatosos. Aunque la supervivencia obtenida es poco significativa, el empleo de radiocoloides en la administración intracavitaria ha resultado muy efectiva en los tratamientos paliativos, por reducir grandemente la acumulación de fluidos.

Otras aplicaciones de los radiocoloides, actualmente en desarrollo, son la administración en los pulmones o en los bronquios, tendiendo a irradiar los nódulos linfáticos adyacentes a los pulmones afectados por cáncer, y el tratamiento del cáncer de vejiga por instilación. En ambos casos, el Oro 198 ha mostrado algunas ventajas sobre otros medios de trabajo.

En ocasiones se ha utilizado soluciones radioactivas para el tratamiento del ya citado carcinoma de vejiga. Dado que las soluciones no tienen las

condiciones de localización de los coloides, deben ser contenidas en recipientes especiales dentro de las cavidades a irradiar para evitar que sean absorbidas por los tejidos. Mientras que los tumores profundos de la pared muscular de la vejiga responden mejor a la terapia de implantación con horquillas de Tántalo 182 o granos de Oro 198, las lesiones superficiales de la mucosa han podido ser tratadas con soluciones de Bromo 82, Cobalto 60 y Sodio 24.

En cuanto al uso de fuentes sólidas en administración intracavitaria, son también una ampliación de los conocidos métodos de empleo del radium, cuyas agujas o tubos se solían acondicionar en dispositivos especiales para la irradiación de cavidades.

Las fuentes sólidas eliminan el peligro de contaminación representado por las soluciones radioactivas, y en ocasiones en que el uso de líquidos sería imposible son la única alternativa. Tal el caso del empleo de Cobalto 60 en forma de perlas en el tratamiento de tumores nasofaríngeos y cáncer de esófago.

También el Cobalto 60 se ha constituido en el sucesor del radium para la aplicación de los dispositivos arriba mencionados, como en el tratamiento del cáncer de útero.

La terapia de contacto es el tercer subgrupo dentro del grupo de aplicación local. Su objetivo es la irradiación de afecciones superficiales; tal el caso de muchas condiciones de la piel, incluyendo verrugas y tumores benignos y malignos.

La aplicación suele hacerse mediante placas embebidas en emisores beta, como Fósforo 32 y Estroncio 90. Este último es utilizado preferentemente en los aplicadores oftálmicos destinados al tratamiento de las lesiones de la córnea y la región epibulbar. Tales aplicadores manuales han obtenido éxito en casos de ulceraciones de córnea, así como en ciertos neoplasmas como el melanoma maligno.

El Estroncio 90, complementado con el Cobalto 60, se ha empleado también en la terapia de contacto mediante los aplicadores nasofaríngeos.

Pasando al grupo de administración sistémica, basado en los fenómenos de carácter bioquímico o biofísico, suele subdividirse en los subgrupos de terapia del yodo, terapia del fósforo, terapia del oro intravenoso y terapia de las grandes partículas.

La terapia del yodo está basada en la absorción selectiva de un material por un tejido, ya señalada en oportunidad de mencionar la afinidad entre la glándula tiroides y el yodo. La mayoría del yodo del cuerpo está concentrada en la tiroides, y el tránsito y renovación de este yodo es muy lento si se lo compara con aquellos del yodo contenido en la sangre y el resto del cuerpo. De esta manera, la administración de Yodo 131 tiene como consecuencia la irradiación selectiva de la glándula.

Este tratamiento se considera actualmente como muy eficaz para la terapia del hipertiroidismo, incluyendo la enfermedad de Graves, la tirotoxicosis, etc.

La conexión íntima entre el funcionamiento del corazón y la tiroides ha hecho que el tratamiento con Yodo 131 sea un auxilio considerable en los



casos de angina de pecho y fallas congestivas del corazón, en que aún un metabolismo basal normal significa una carga demasiado pesada para ese órgano. La producción de hipofunción en la tiroides por la irradiación con Iodo 131 no ofrece riesgos a pacientes que no están en condiciones de ser sometidos a la operación quirúrgica.

Finalmente, la terapia del Iodo 131 se suele utilizar en el tratamiento del cáncer de tiroides, especialmente en los tumores bien diferenciados como los adenocarcinomas. La dificultad principal reside en que si bien en general puede llevarse a cabo la destrucción del cáncer primario, las metástasis quedan casi siempre indemnes. El único recurso es el de fomentar la captación de iodo por las metástasis, por diversos métodos accesibles al médico.

La terapia del fósforo ha sido desarrollada sobre las características de tránsito y renovación diferencial del fósforo en diversos tejidos. Dado que el fósforo es necesario en todas las células vivas, una dosis de Fósforo 32 es, a la larga, distribuida uniformemente en todo el cuerpo; pero los huesos, los órganos hematopoyéticos y los tejidos de crecimiento rápido tienden a concentrarlo.

La excesiva formación de glóbulos rojos que caracteriza a la policitemia vera ha podido ser controlada con pleno éxito mediante la administración oral de Fósforo 32. La leucemia crónica, definida por la superproducción de glóbulos blancos, ha evidenciado poder someterse en gran número de casos a un control satisfactorio por un tratamiento similar, pero las formas agudas de esta enfermedad no parecen haber sido afectadas.

Otras afecciones en que se ha utilizado Fósforo 32 con variado éxito son el linfosarcoma, el retículo sarcoma y la micosis fungoide, en general con carácter paliativo, al igual que en problemas de metástasis óseas.

En cuanto a la terapia del oro intravenoso, su fundamento es de carácter biofísico, pues su eficacia radica en la captación de las pequeñas partículas del coloide por el sistema retículo-endotelial, especialmente en el hígado, bazo, médula ósea, etc.

La inyección intravenosa de Oro 198 coloidal resulta así en una irradiación intensa de esos órganos de captación, lo que se utiliza en el tratamiento de la leucemia linfática crónica, la enfermedad de Hodgkin y el linfosarcoma, así como en la leucemia mielógena crónica.

La absorción del Oro 198 coloidal en partículas de carbón, demasiado grandes para pasar los capilares del pulmón, constituye la base de la terapia de las grandes partículas, extendida luego al empleo de partículas de Ytrio 90 y de Oro 198 revestidas con plata. La irradiación de ciertas partes del pulmón, como las afectadas generalmente por el carcinoma broncogénico, puede obtenerse por la administración de la suspensión en la rama apropiada de la arteria pulmonar, o por la instilación bronquial.

El último gran grupo en la terapéutica médica es el de la teleterapia, con sus dos grandes subgrupos de irradiación gamma y terapia de captura de neutrones.

Ambos subgrupos han sido considerados los avances más espectaculares en materia de aplicación de radiaciones al tratamiento de enfermedades, en parte a causa de la magnitud de las instalaciones necesarias para su uso.

La teleterapia con emisores gamma, como el Cobalto 60 y el Cesio 137, constituye un tipo de tratamiento que comenzó con el empleo de los equipos de rayos X. Dedicada fundamentalmente a la lucha contra las afecciones cancerosas, está basada en la destrucción a distancia de los tejidos malignos por la acción de un intenso haz de radiación.

En el caso de los emisores gamma, la radiación proviene de una fuente contenida en un recipiente adecuado, dotado de un diafragma que permite colimar el haz emergente.

En general, las actividades utilizadas son del orden del kilocurie, lo que unido a la elevada energía de los nucleídos de que se trata explica que los recintos de irradiación deban estar fuertemente blindados.

Diversas ventajas obtenidas en la operación de los equipos de teleterapia cargados con material radioactivo justifican la preeminencia que están adquiriendo, a expensas de las unidades de teleterapia convencional.

En primer lugar, existen razones de carácter económico que deben tenerse en cuenta en la elección de equipos de tan elevado costo. Así, el rendimiento de las fuentes de Cobalto 60 es comparable al de equipos de rayos X del orden de los dos millones de voltios, en cuanto a la disponibilidad de haces útiles de gran penetración, y es sabido que tales equipos de rayos X son instalaciones muy especializadas; esta circunstancia se debe a que la energía del Cobalto 60 está concentrada prácticamente en un solo rango muy alto, mientras que los haces de rayos X tienen una gama muy extensa, gran parte de la cual debe ser filtrada para evitar efectos perjudiciales sobre los tejidos sanos superficiales.

Además, el mantenimiento de las unidades de teleterapia de Cobalto 60 es mucho más sencillo y accesible, sobre todo en lo que se refiere a reposición de partes vitales.

En segundo lugar, hay algunas ventajas desde el punto de vista del tratamiento, entre las cuales figura la posibilidad de alcanzar dosis tumor más elevadas por la menor reacción en piel, y la ausencia casi total de complicaciones en hueso o cartílagos. Esto se combina con la posibilidad de administrar dosis más precisas y con mayor seguridad, para hacer que estos equipos hayan traído un avance efectivo en la teleterapia.

El Cesio 137 ofrece algunas ventajas complementarias, tales como la de su mayor período de semidesintegración y las menores exigencias de blindaje en equipos e instalaciones, balanceadas con su menor energía. En general, se considera que ambos nucleídos se complementan para formar una línea adecuada para el tratamiento de tumores profundos, o ubicados en las cercanías de huesos o cartílagos.

En cuanto a la teleterapia por captura de neutrones, es un tratamiento nuevo en proceso de desarrollo, en que la irradiación se produce en el seno del tumor por inducción a distancia.

El mismo fenómeno de ruptura de la barrera de la sangre en el cerebro, que se produce en ciertos tumores y se aprovecha para su localización con material radioactivo, hace posible provocar la concentración de Boro en estas lesiones. Sometido a un flujo de neutrones térmicos en un reactor, el Boro estable contenido en esas zonas del cerebro absorbe neutrones y emite radiación alfa altamente ionizante, que destruye los tejidos cancerosos.

## b.- Investigación agrícola.

Los efectos de la radiación sobre la materia han sido utilizados de diversas formas en el campo agrícola, pero tal vez ninguna de ellas tiene la trascendencia que parece haber adquirido el trabajo realizado en materia de genética vegetal.

Es sabido que la búsqueda de nuevas variedades de especies vegetales que presenten características favorables desde el punto de vista del rendimiento, la resistencia a las enfermedades, la adaptabilidad a condiciones climáticas adversas, etc., se ha apoyado siempre sobre el aprovechamiento de las mutaciones naturales. Estos cambios en las células germinales que transmiten por herencia los caracteres de la especie, adecuadamente encaminados por el cultivo posterior, efectuando repetidas selecciones, hacen posible la obtención de resultados dentro de un cierto ritmo.

Ese ritmo está graduado por la frecuencia de ocurrencia de las mutaciones naturales, y puede ser acelerado notablemente por el empleo de radiaciones ionizantes, cuya acción mutágena está totalmente comprobada.

Se han instalado, en base a ese conocimiento, campos destinados a la irradiación sistemática de vegetales, no solo para incrementar los frutos del trabajo en materia de obtención de nuevas variedades, sino también para acumular información sobre las innumerables incógnitas que los problemas básicos de la genética vegetal han planteado.

Las consecuencias económicas de estos estudios no puede ser exagerada, ya que el bienestar de pueblos enteros depende de su producción agrícola, cuando no su misma existencia. Algunos ejemplos concretos sobre los primeros resultados efectivos son la obtención de una avena resistente al tizón, un maíz con una productividad treinta por ciento mayor, una cebada para climas muy fríos, etc.

Tales estudios de genética son útiles también para determinar la peligrosidad futura de algunas enfermedades de las plantas, como los hongos. La irradiación de estos hongos apresura el ritmo de mutación natural, y permite disponer por anticipado de variedades que solo el tiempo pondrá sobre las plantas como amenaza real.

En materia de genética animal, los trabajos tendientes a producir mutaciones beneficiosas se han desarrollado a un ritmo mucho más lento, y no pueden citarse aun resultados efectivos. La explicación reside en las propias dificultades relacionadas con los fenómenos de reproducción animal, el mayor costo de las experiencias en gran escala, etc.

Una aplicación de los efectos de la radiación sobre la materia que ha brindado excelentes resultados en un campo aún al de la agricultura, es el de esterilización de insectos, como parte de la lucha contra las plagas.

Un ejemplo que se ha tornado clásico es la eliminación casi total de una variedad de moscas en una isla del Caribe, cuyas larvas causaban graves daños al ganado. Se aprovechó al efecto el hecho de que las hembras solo acoplaban con un macho, para esterilizar una gran cantidad de éstos que luego se liberaron. Los huevos procedentes de la unión de las hembras con los machos estériles no fructificaron, produciendo la disminución de la población en la generación siguiente; sucesivas irradiaciones llevaron la especie al borde de la extinción total.

### c.- Usos industriales

Se suele justificar la importancia asignada al papel que desempeñará en el futuro la energía nuclear, mencionando el agotamiento paulatino e irremediable de las reservas de combustibles fósiles de que dispone el mundo.

Esa referencia es legítima, pues no puede discutirse que la civilización con sus actuales características depende del suministro de electricidad para su subsistencia.

Pero no es tan común argumentar que esa misma civilización desaparecería, y tal vez con mayor rapidez, si careciera de los materiales de construcción en que se basa la moderna tecnología. En realidad, nuestra cultura técnica se apoya tanto en el acero como en la energía eléctrica, y desde el punto de vista de su mantenimiento tiene tanta importancia el cobre como el carbón.

En consecuencia, y dado que estos materiales de construcción se van agotando paralelamente con los combustibles fósiles, viene a ser tan importante encontrarles sucedáneos como el hallar reemplazantes para el petróleo y el gas natural como fuentes de energía. En realidad, los dos problemas no difieren en magnitud, sino solamente en urgencia.

De ahí la trascendencia asignada a las investigaciones en curso sobre el efecto de las radiaciones sobre los materiales plásticos, en pos de la obtención de sustancias con características especiales, ya que éste parece uno de los pocos caminos disponibles para la producción de los materiales de reemplazo.

La acción de las radiaciones puede traducirse en cambios físicos y reacciones químicas, vinculadas generalmente con la intensidad del haz a que han estado sometidas las muestras. Los plásticos superiores, más complejos, parecen constituir los sujetos más susceptibles de modificación.

Como se ha señalado, estas experiencias están en sus primeras etapas, y dependen en gran parte de la disponibilidad de fuentes de muy alta actividad, a lo que se va llegando paulatinamente por el funcionamiento de mayor cantidad de reactores nucleares, cuyos elementos combustibles quemados resultan fuentes gamma muy económicas durante el período de enfriamiento.

El conocido ejemplo del incremento de la resistencia del polietileno a la acción del calor luego de ser sometido a irradiación puede ilustrar esquemáticamente sobre las posibilidades en este campo. Ya están en el comercio productos confeccionados con este plástico irradiado, que tolera temperaturas de 190° en lugar de los 70° del material común, además de ser más elástico y menos soluble.

La esterilización fría por medio de radiaciones es una consecuencia de la capacidad que tienen éstas de destruir las bacterias presentes en una sustancia sin elevar la temperatura. Esta condición es de gran importancia en la elaboración de antibióticos y otras drogas que se descomponen por efecto del calor; es probable, entonces, que la esterilización por radiación progrese rápidamente en la industria farmacéutica.

En la industria de la alimentación, en cambio, los problemas planteados son de más difícil solución. Existen dos grupos de complicaciones que demoran la obtención de los resultados perseguidos: en primer lugar,

la competencia de otros procedimientos de conservación muy desarrollados lleva la cuestión al terreno económico, pues es necesario asegurar que la esterilización por radiaciones no redunde en mayores costos de operación; en segundo lugar, no se ha logrado obviar las modificaciones en textura o en sabor que se producen generalmente luego de fuertes irradiaciones, desmejorando las cualidades objetivas de los productos alimenticios tratados.

Esto explica que, en ciertos casos, los éxitos obtenidos desde el punto de vista científico no hayan sido acompañados por la aplicación efectiva del método. En la pasteurización de la leche y la esterilización de la carne, por ejemplo, los cambios de sabor, la pérdida de parte del valor nutritivo o la apariencia desagradable constituyen desventajas que solo una prolongada investigación conseguirá eliminar.

En otras ocasiones, en cambio, en que no han existido problemas de esta clase, razones económicas aún no resueltas demoran el empleo sistemático de estos procesos, como en la esterilización de granos y en la irradiación preventiva de las papas para impedir el brote.

Se confía en sobrepasar estos inconvenientes en el futuro próximo, teniendo en cuenta los ingentes recursos puestos a disposición de los hombres de ciencia que los están examinando y el énfasis puesto en la importancia del tema.

Realizaciones más concretas, aunque de mucho menor trascendencia, pueden exponerse en otros campos de aplicación de los efectos de la radiación sobre la materia. El problema de la generación de electricidad estática en muchos procesos industriales en que manufacturan productos con características aislantes, como la fabricación de papel, plásticos laminados, tejidos de lana y algodón, etc., puede ser resuelto muy eficientemente utilizando fuentes emisoras de radiación alfa o beta para ionizar el aire vecino al material que acumula la carga. La conducción de la electricidad a tierra se posibilita así sin los riesgos de chispas que implican los eliminadores de puntas, o las complicaciones de los ionizadores de alta tensión.

También ha alcanzado gran difusión la preparación de señales y fuentes luminosas de emergencia o para ubicaciones sin suministro de energía eléctrica, merced a la conocida propiedad que tienen las radiaciones ionizantes de excitar ciertas sustancias a la luminiscencia. Los radioelementos artificiales han demostrado ofrecer considerables ventajas sobre el radium, empleado tradicionalmente en la confección de compuestos luminiscentes, tales como el menor peligro y el mayor rendimiento luminoso.

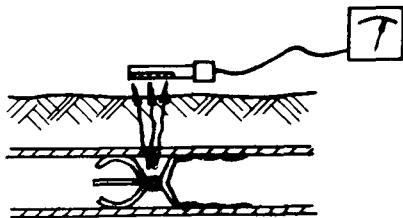
Finalmente, cabe citar los trabajos efectuados en el sentido de producir electricidad directamente a partir de la energía de desintegración del material radioactivo. De entre los numerosos dispositivos ideados, tal vez uno de los sencillos y eficientes sea el que convierte el calor producido en la desintegración en electricidad, en base al principio de las termocuplas. El flujo de corriente se efectúa a causa de la diferencia de temperatura entre la unión fría y la unión caliente de la cupla, estando ésta sometida a la acción de una fuente muy activa de Polonio 210.

APENDICE

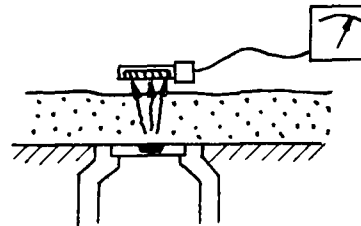
ATLAS DE APLICACIONES

# I.- EMPLEO DE TRAZADORES RADIOACTIVOS.

## A.- Trazadores localizados (Indicación de presencia).



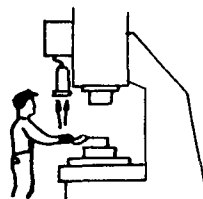
Raspadores de conductos  
atascados



Accesos cubiertos por  
la nieve



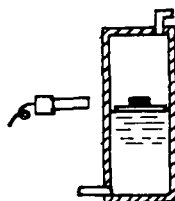
Componentes vitales



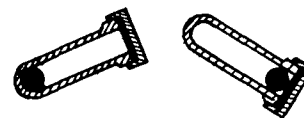
Dispositivos de  
seguridad industrial



Calibración de detectores  
aéreos



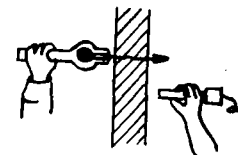
Indicadores de nivel



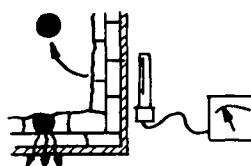
Indicación temporal  
de sucesos



Localización de  
instrumental extraviado

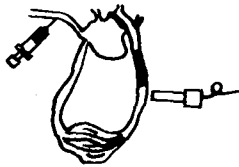


Localización a ciegas

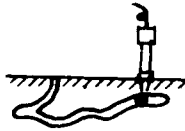


Pérdida del revestimiento  
de hornos

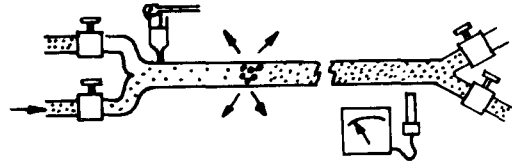
B.- Trazadores localizados (Indicación de movimiento).



Funcionamiento cardíaco

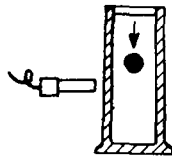


Movilidad de plagas

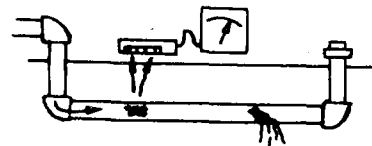


Detección de interfases

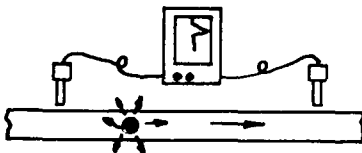
Velocidad de fluidos



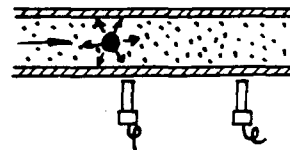
Viscosímetros



Localización de pérdidas

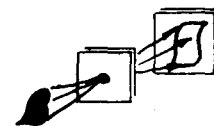
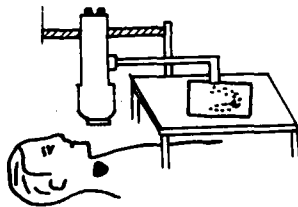


Procesos de producción



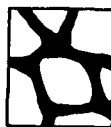
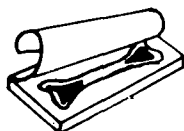
C.- Técnicas de visualización.

Localización y trazado automático



Radiodiseño de materiales ocultos

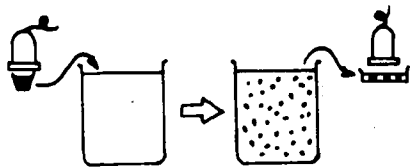
Autorradiografía de tejidos y estructuras



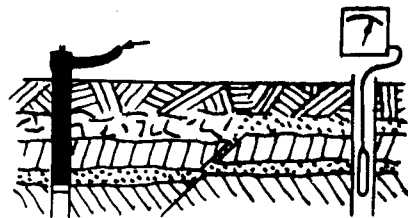
Dibujo con tintas radioactivas



D.- Trazadores dispersos.



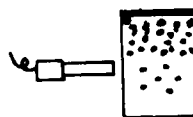
Medición de volúmenes



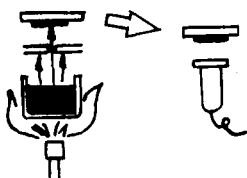
Distribución de capas líquidas



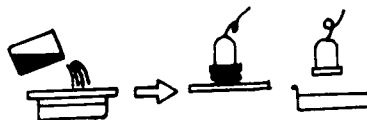
Estudios de desgaste



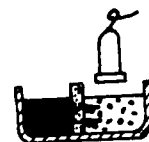
Estudios de difusión



Presión de vapor



Eficiencia de filtrado



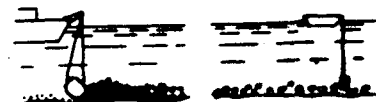
Permeabilidad



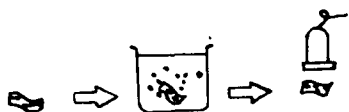
Circulación periférica



Comportamiento de injertos



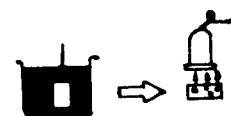
Migración de sedimentos



Detergencia

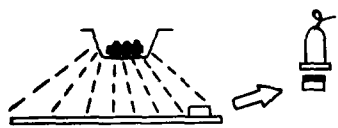


Solubilidad

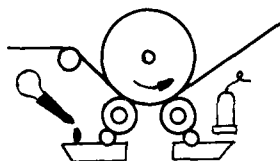


Absorción

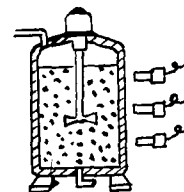
D.- Trazadores dispersos (continuación)



Espesor de películas depositadas



Contaminación de tintas de imprenta



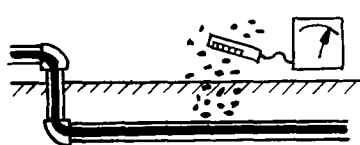
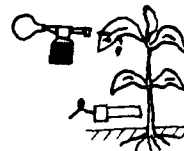
Eficiencia de mezclado



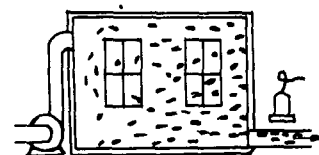
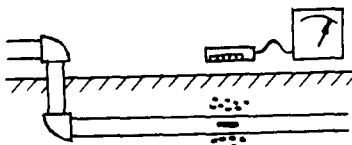
Diagnóstico por concentración selectiva



Utilización de fertilizantes

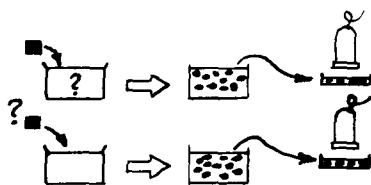


Detección de pérdidas en cañerías

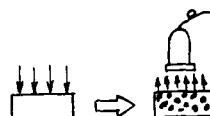


Tiempo de renovación de aire

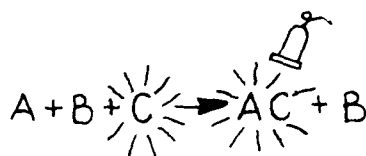
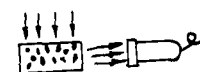
E.- Técnicas analíticas.



Análisis por dilución



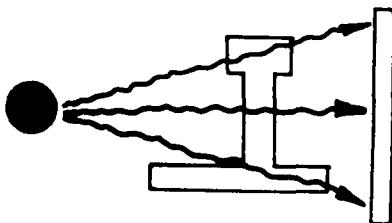
Análisis por activación



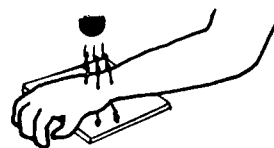
Análisis por reactivos marcados

## II.- EFECTO DE LOS MATERIALES SOBRE LA RADIACION.

### A.- Transmisión parcial.

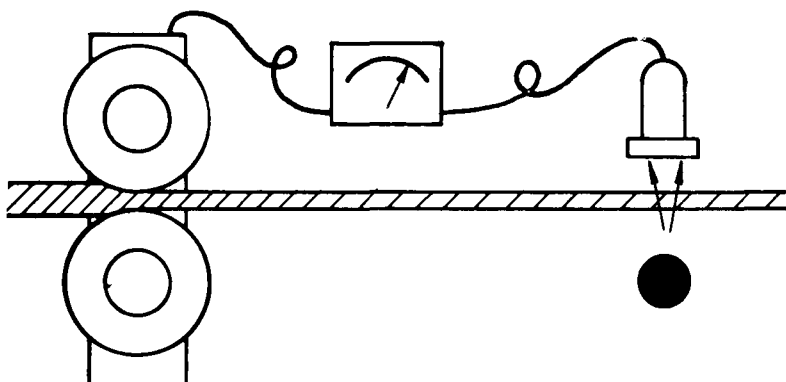


Gammagrafía industrial

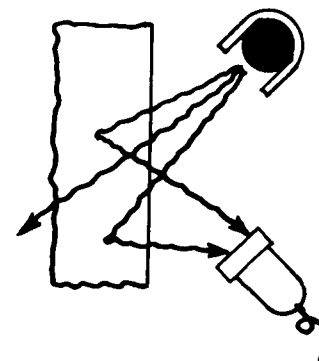


Radiografía clínica

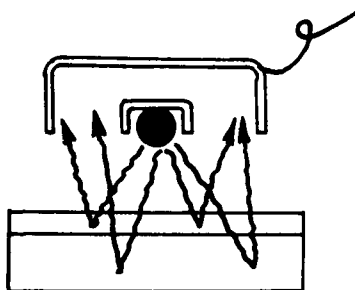
### B.- Transmisión y reflexión parcial.



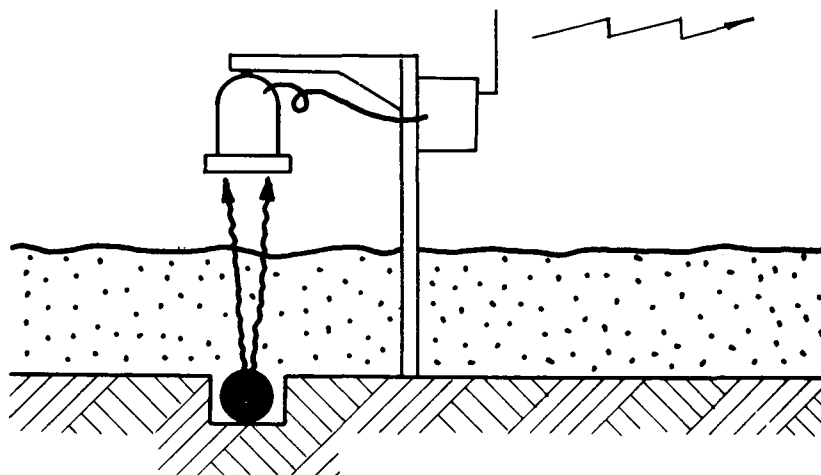
Medición de espesores  
de productos de laminación



Control de espesores  
de conductos

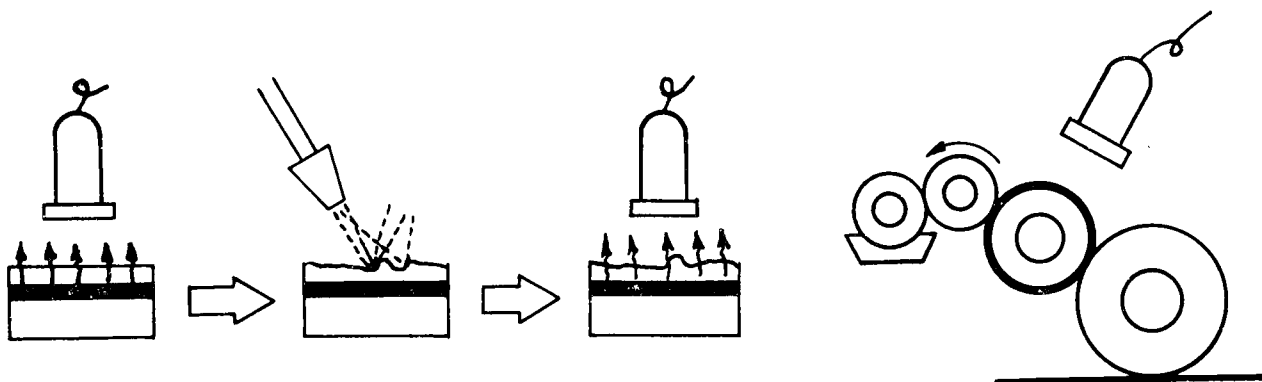


Medición de espesores  
de enchapados



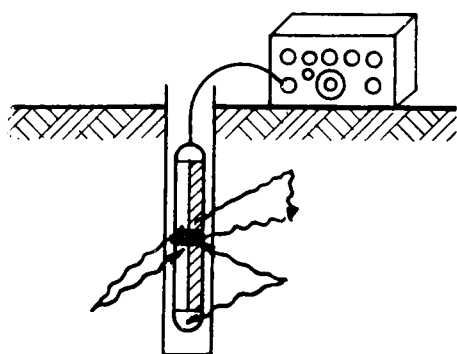
Control distante de altura de nieve

B.- Transmisión y reflexión parcial (continuación)

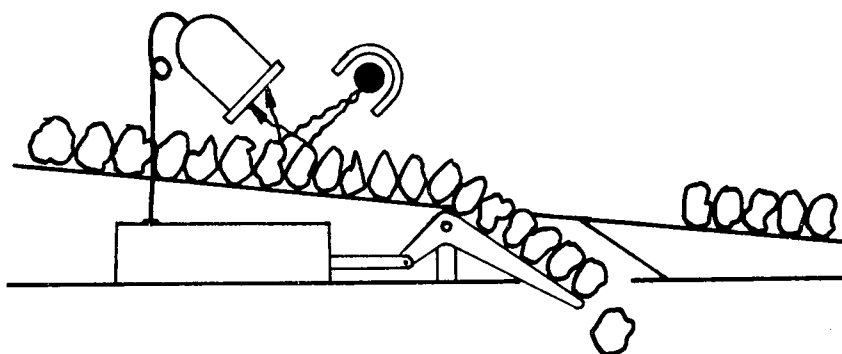


Desgaste de revestimientos

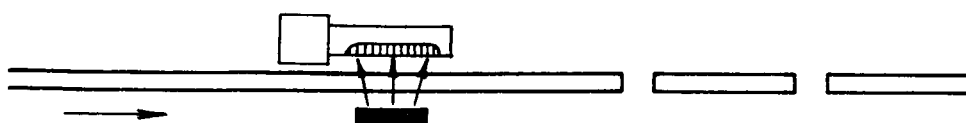
Películas de tintas



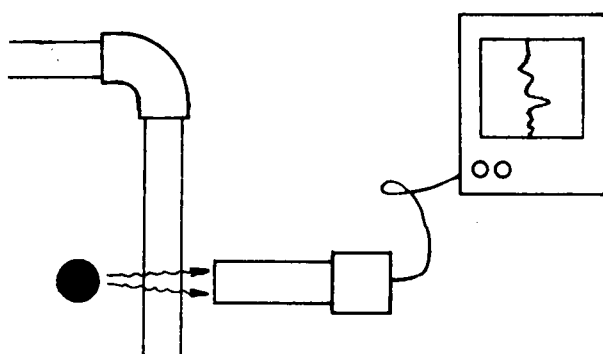
Humedad de suelos



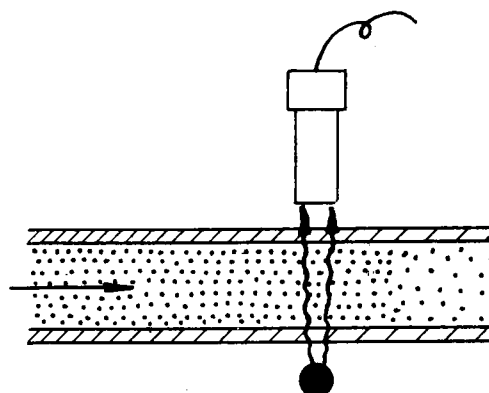
Selección de carbón y caliza



Control de contenido de cigarrillos

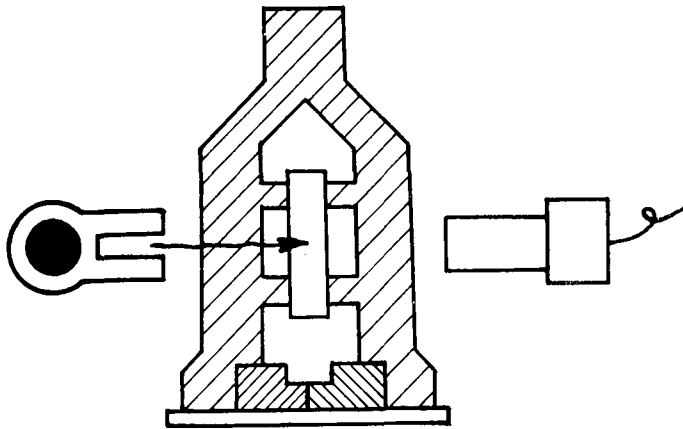


Medición de concentraciones

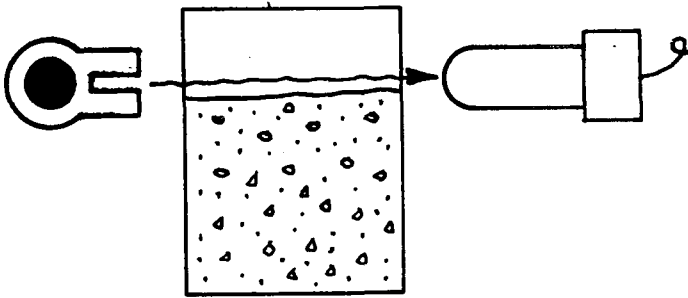


Detección de interfases líquidas

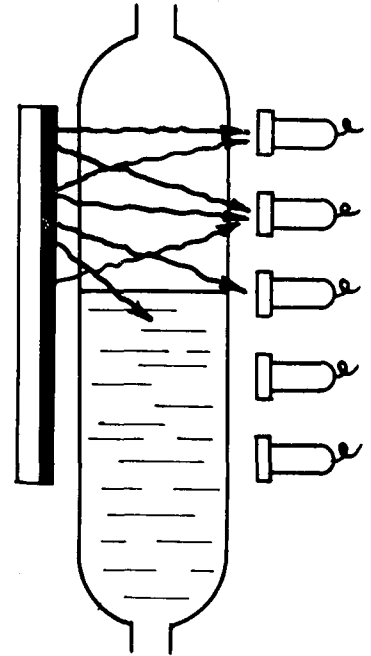
C.- Interrupción de haz.



Ubicación de piezas vitales



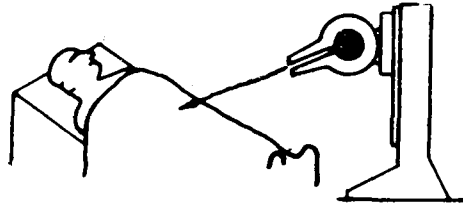
Llenado de recipientes



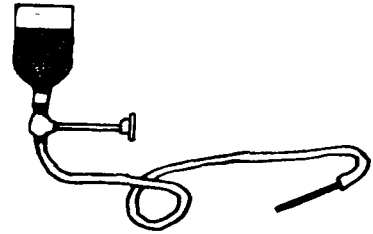
Determinación de niveles

### III.- EFECTOS DE LA RADIACION SOBRE LA MATERIA

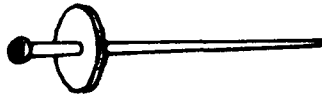
#### A.- Radicales libres



Teleterapia



Instilación en cavidades



Aplicación oftálmica



Aplicación superficial



Inserción en cavidades



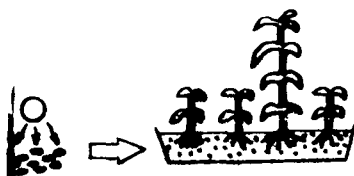
Infiltración en tejidos o inyección



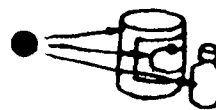
Implantación en tejidos



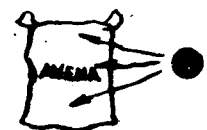
Ingestión



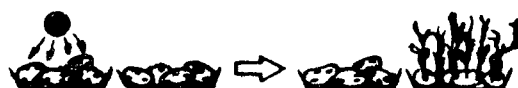
Cambios genéticos



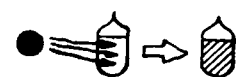
Esterilización de drogas y alimentos



Eliminación de plagas

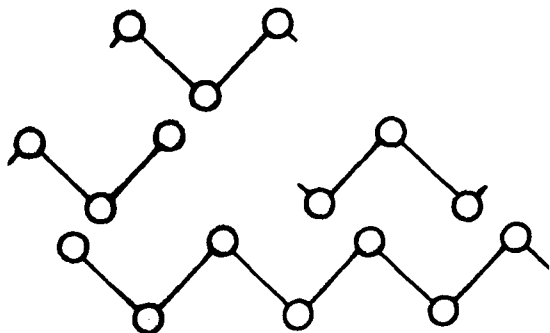


Prevención de brote

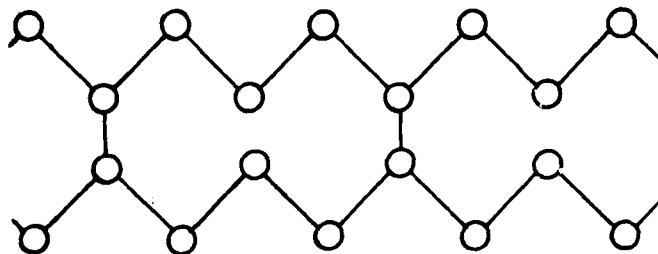


Iniciación de reacciones

B.- Modificaciones moleculares.

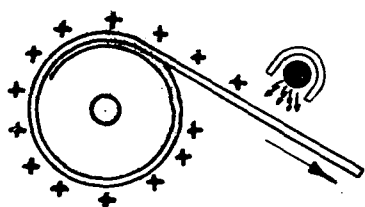


Polimerización de pequeñas  
moléculas

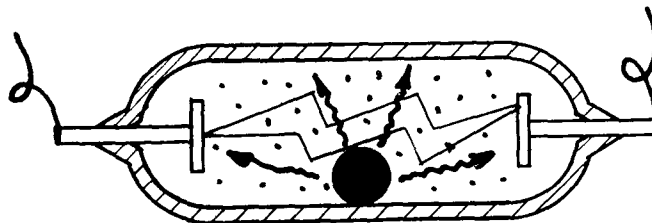


Modificación de polímeros

C.- Ionización.

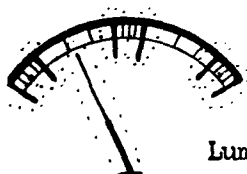


Eliminación de electricidad  
estática

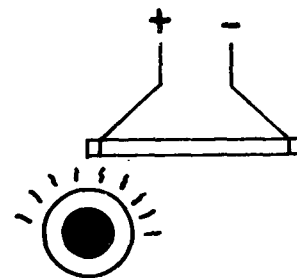
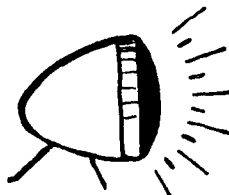


Estabilización de descarga

D.- Otros grupos.



Luminiscencia



Baterías termoelectricas