

COLEGIO DE BACHILLERES

FÍSICA III

FASCÍCULO 3.

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA
INTERACCIONES ATÓMICAS Y NUCLEARES

Autores: Samuel Barrera Guerrero
Armando de la Isla Quevedo
Javier Rojas Anaya

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO 1. ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO	9
PROPÓSITO	11
1.1 INTERACCIÓN ENTRE CARGAS ELÉCTRICAS	13
1.1.1 ESPECTROS DE CAMPO ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO	15
1.1.2 RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA	25
1.1.3 EVIDENCIA DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA	28
1.1.4 EFECTO FOTOELÉCTRICO	31
1.2 LÍNEAS ESPECTRALES Y MODELO ATÓMICO DE BOHR	38
1.2.1 ESPECTROS DE EMISIÓN Y DE ABSORCIÓN	38
1.2.2 NIVELES DE ENERGÍA	42
1.3 FLUORESCENCIA, FOSFORESCENCIA Y LASER	47
RECAPITULACIÓN	57
ACTIVIDADES INTEGRALES	58
AUTOEVALUACIÓN	59

CAPÍTULO 2. INTERACCIONES ATÓMICAS Y NUCLEARES	61
PROPÓSITO	63
2.1 DESCUBRIMIENTO DE LA RADIOACTIVIDAD	65
2.1.1 ANTECEDENTES	65
2.1.2 CÁMARA DE NIEBLA DE WILSON	70
2.1.3 EL NÚCLEO ATÓMICO Y EL DESCUBRIMIENTO DE OTRAS PARTÍCULAS	73
2.1.4 DESCUBRIMIENTO DEL NEUTRÓN	74
2.1.5 EL POSITRÓN	75
2.2 TEORÍA DE LA DESINTEGRACIÓN RADIATIVA	79
2.2.1 FENÓMENO DE DESINTEGRACIÓN	79
2.2.2 LEY DE DESPLAZAMIENTO DE FAJANS-SODDY-RUSELL	80
2.2.3 VIDA MEDIA	81
2.2.4 ISÓTOPOS	86
2.2.5 RADIOISÓTOPOS	88
2.3 FISIÓN NUCLEAR	93
2.3.1 OTROS ASPECTOS DE LA FISIÓN	94
2.3.2 APLICACIONES DE LA FISIÓN NUCLEAR	96
2.4 FUSIÓN NUCLEAR	98
2.4.1 REACCIONES TERMONUCLEARES O DE FUSIÓN	98
2.4.2 REACCIONES DE FUSIÓN	99
2.4.3 PROBLEMAS TÉCNICOS	100
2.5 RELACIÓN DE LA FÍSICA CON OTRAS CIENCIAS	103
RECAPITULACIÓN	119
ACTIVIDADES INTEGRALES	120
AUTOEVALUACIÓN	123

RECAPITULACIÓN GENERAL	124
ACTIVIDADES DE CONSOLIDACIÓN	126
AUTOEVALUACIÓN	128
GLOSARIO	129
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	130

INTRODUCCIÓN

Con el estudio de este fascículo concluirás la asignatura de Física III, en donde integras lo aprendido en Física I y II, por lo que en este momento estás preparado para lograr **el objetivo que persigue este material: analizar las interacciones de la radiación electromagnética y sustancial, utilizando el concepto de campo y el modelo atómico de Bohr, así como las interacciones y cambios en el ambiente para valorar las aplicaciones de la Física en la tecnología y sus repercusiones en los ámbitos culturales.**

Para cumplir con lo anterior, el contenido de este fascículo comprende dos capítulos:

En el **primer capítulo** aprenderás cómo interacciona la radiación con la materia. Para ello seguramente has visto que al calentar un objeto, por ejemplo carbón, la resistencia de una parrilla eléctrica o incluso una lámina delgada sientes que al acercar la mano éstos emiten calor. De hecho, al calentar estos objetos a ciertas temperaturas empiezan a emitir una tenue luz roja, en este caso decimos que el calor se transmite sin necesidad de un conductor sólido o líquido y que el color rojizo nos puede dar una idea de su temperatura; en las fundiciones se observa claramente que a determinada temperatura los metales emiten un color rojizo y conforme ésta aumenta cambia a naranja, amarillo e incluso a blanco. También habrás notado que una bombilla eléctrica (foco) al encenderse emite un color amarillo, además de calor.

Los ejemplos mencionados se relacionan con la radiación, que es una forma de transmisión de energía cuya característica es ser invisible y no necesitar de un medio material para transmitirse, es decir, se propaga en el vacío.

En el fascículo anterior estudiaste que la refracción y la difracción de la luz producen espectros de colores como el arcoiris; en éste estudiarás que a estos fenómenos se les llama espectros de línea, cuyo conocimiento permitió identificar elementos químicos y posteriormente desarrollar los modelos atómicos. Sin embargo, cuando tenemos sólidos y líquidos incandescentes (metales fundidos) y observamos la luz que emiten con ayuda de una rejilla de difracción o un prisma, las líneas del espectro aumentan en tal número y tamaño que se observa un espectro continuo, en donde el color predominante depende de la temperatura. Con base en esto es posible calcular la temperatura de hornos de fundición, así como la de las estrellas.

En el **segundo capítulo** estudiarás cómo se produce la energía en el interior del Sol, a partir de la síntesis de átomos de helio (He), y revisarás algunos conceptos vistos en Química II y en Física II, donde se mencionó al Sol como una fuente de energía alternativa.

A la vez, este capítulo cierra los contenidos de la materia de Física III, por lo que encontrarás en él una breve recapitulación del concepto de energía y de la importancia que tiene la Física en el conocimiento humano.

Recuerda que cuentas con la orientación del asesor para obtener el mayor provecho en el estudio de los temas y la resolución de las actividades que contiene tu fascículo, así como la del conductor de laboratorio para el seguimiento, orientación y resolución de las actividades experimentales propuestas, para que concluyas con éxito esta asignatura. Bien, ¡comencemos!

CAPÍTULO 1

ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

1.1 INTERACCIÓN ENTRE CARGAS ELÉCTRICAS

- 1.1.1 Espectros de Campo Eléctrico y Magnético
- 1.1.2 Radiación Electromagnética
- 1.1.3 Evidencia de la Radiación Electromagnética
- 1.1.4 Efecto Fotoeléctrico

1.2 LÍNEAS ESPECTRALES Y MODELO ATÓMICO DE BOHR

- 1.2.1 Espectros de Emisión y de Absorción
- 1.2.2 Niveles de Energía

1.3 FLUORESCENCIA, FOSFORESCENCIA Y LASER

PROPÓSITO

¿Qué vas a aprender?

En este fascículo aprenderás a interpretar:

- Los conceptos de campo eléctrico y magnético para explicar la interacción entre objetos cargados eléctricamente, entre corrientes eléctricas e imanes.
- El concepto de radiación electromagnética y sus interacciones con la materia.
- Las transformaciones de la energía radiante.
- El concepto de espectros de emisión, absorción y continuo.
- La radiación ultravioleta del Sol y la función de la capa de ozono de la atmósfera terrestre.
- El efecto fotoeléctrico y sus aplicaciones, como la del “ojo mágico” de un elevador.
- El funcionamiento del rayo laser y sus aplicaciones.
- El efecto invernadero y el calentamiento de la Tierra.
- Los conceptos de fluorescencia y fosforescencia.

¿Cómo lo vas a lograr?

Esto lo lograrás a través de actividades experimentales en el laboratorio, de lecturas sobre los temas tratados y mediante investigaciones personales.

¿Para qué lo vas a utilizar?

Lo anterior te ayudará a:

- Establecer que la luz se comporta como radiación electromagnética.
- Comprender que la radiación es una forma de transmisión de la energía producto de cargas eléctricas aceleradas, es decir, que cambian continuamente su velocidad, aún en el vacío.
- Explicar el funcionamiento de algunos aparatos domésticos, como el horno de microondas, el reproductor de discos compactos, el control remoto de la televisión, entre otros, que son el resultado de las aplicaciones prácticas de la radiación electromagnética y el rayo laser.
- También te será útil para introducirte al estudio de algunos temas de Física Moderna.

CAPÍTULO 1

ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

1.1 INTERACCIÓN ENTRE CARGAS ELÉCTRICAS

Hasta el momento has estudiado los circuitos como un medio de transporte de energía y que la corriente eléctrica produce efectos magnéticos, térmico-luminosos, fuerzas entre corrientes e imanes y entre objetos electrizados. Ahora interpretarás estos fenómenos a través del *concepto de campo*. Para comprender éste, haz la siguiente actividad en tu casa:

Consigue dos pequeños globos (*Figura 1*), inflalos y amárralos; ata a cada uno un hilo, hazlos colgar de éste e intenta acercarlos de tal manera que se toquen. ¿Se atraen o se repelen? Ahora frótalos con un pedazo de paño y repite la misma operación. ¿Qué se observa ahora?

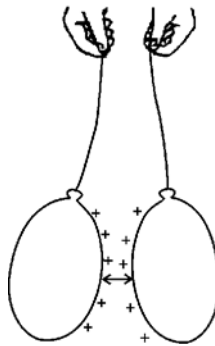


Figura 1.

¿Cuál es la causa de que los globos se atraigan o separen al frotarlos con un trapo de lana?

Seguramente observaste que los globos se repelen tras frotarlos con el trapo de lana, pues los cargaste eléctricamente con cargas del mismo signo. Este comportamiento de las cargas eléctricas es el responsable de este fenómeno y es evidente la existencia de una fuerza entre los globos, resultante de esa interacción. Puedes comprobar fácilmente que al disminuir la distancia de separación de los globos, la repulsión es menor y que si frotas más tiempo los mismos, la repulsión aumenta. (Este experimento te dará mejores resultados en un día seco y frío, con globos nuevos y limpios.)

Cabe destacar que los globos se repelieron o atrajeron sin hacer contacto, es decir, *existe una interacción a distancia*. Aunque los científicos no han podido explicar este fenómeno, sí le dieron un nombre: **campo eléctrico**, *región sobre la que una carga eléctrica ejerce una fuerza. Una carga está rodeada por un campo eléctrico y la intensidad de éste decrece a medida que aumenta la distancia desde la carga.*

Pero, ¿cómo se puede saber hasta dónde influye un campo magnético?

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 1

OBJETIVO:

Observar las distancias en las que el campo magnético influye sobre algunos objetos (ferromagnéticos).

MATERIAL:

- un imán
- una brújula magnética
- objetos de metal como clips, clavos o agujas*

* Material que debe aportar el alumno.

PROBLEMATIZACIÓN:

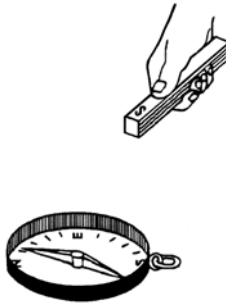
¿Cuál es la relación entre la distancia y la intensidad de un campo magnético?.

HIPÓTESIS:

PROCEDIMIENTO:

Con el imán, determina la distancia máxima a la que se puede percibir su influencia, utilizando la brújula magnética. ¿A qué distancia se encuentra el imán cuando la brújula se empieza a mover? Se observará que el efecto del imán decrece a medida que se incrementa la distancia.

También puedes colocar el imán sobre una hoja blanca y con un lápiz marcar las máximas distancias en que se percibe su influencia. Igualmente, acerca objetos de metal y observa a qué distancia son atraídos por el imán.



El campo de un imán es la región sobre la cual ejerce una fuerza, es decir, un imán está rodeado por un campo magnético y la intensidad de éste decrece a medida que aumenta la distancia desde el imán.

1.1.1 ESPECTROS DE CAMPO ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO

¿Cómo es la forma de un campo eléctrico y un campo magnético?

Una manera de observar el campo eléctrico y el magnético es mediante las llamadas *líneas de fuerza*. Para ello realiza el siguiente experimento:

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 2

OBJETIVO:

Observar la formación de líneas de fuerza en los campos eléctrico y magnético.

MATERIAL:

- una fuente de alto voltaje o un generador de Van Der Graff
- una caja de Petri
- aceite comestible*
- semillas de pasto o de té*

* Material que debe aportar el alumno.

PROBLEMATIZACIÓN:

¿Qué diferencia existe entre las líneas de fuerza formadas en un campo eléctrico y en uno magnético?

HIPÓTESIS:

PROCEDIMIENTO:

Arma un dispositivo, tal y como se muestra en la figura 3.

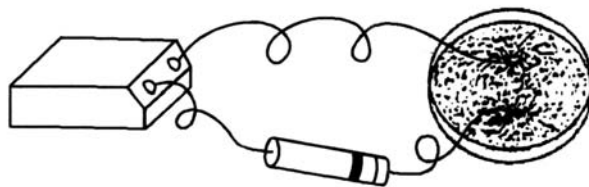


Figura 3.

Al encender la fuente, observarás las líneas de fuerza del campo eléctrico.

Describe cómo son esas líneas:

Elabora el dibujo del campo eléctrico:

Una forma de observar el campo magnético es a través de espolvorear limaduras de hierro sobre una hoja de papel en donde, debajo de ella, se ha colocado un imán cilíndrico, tipo industrial, encima verás las líneas de fuerza del campo magnético. Esto es una forma fácil y rápida de obtener un diagrama de este tipo de campo.

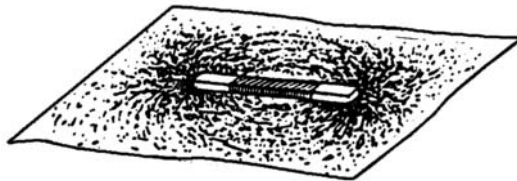


Figura 4.

Describe cómo son esas líneas:

Elabora un dibujo del campo magnético:

Recuerda que una corriente eléctrica produce un campo magnético y contrariamente un imán afecta a un alambre conductor por el que fluye una corriente eléctrica ¿Por qué? En el Fascículo 1 de Física III observaste que una brújula se defleca debido a una corriente eléctrica, ahora interpretarás este hecho en términos de que la corriente eléctrica tiene un campo magnético.

¿Qué relación existe entre la electricidad y el magnetismo?

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 3

OBJETIVO:

Observar la relación existente entre electricidad y magnetismo en la generación de campos a partir del efecto motor (bobina).

MATERIAL:

- un dispositivo destinado a mostrar el efecto motor (Figura 5))

PROBLEMATIZACIÓN:

¿De qué depende la dirección e intensidad de un campo magnético?.

HIPÓTESIS:

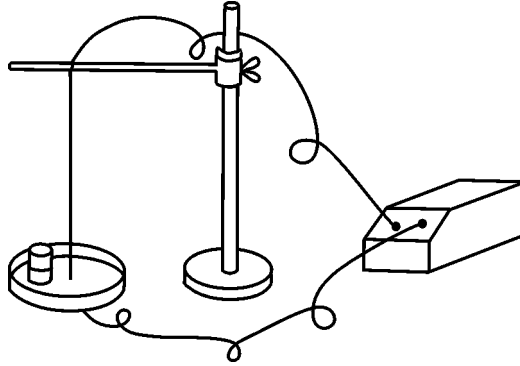


Figura 5.

Este dispositivo consta de un alambre conductor colgado de una base de madera, el cual puede girar sobre una caja de Petri con una solución concentrada de cloruro de sodio (sal común), que contiene un trozo de imán cilíndrico en el centro.

PROCEDIMIENTO:

Al hacer pasar una corriente por el alambre (debes utilizar un voltaje de 12 VCD con la fuente de poder universal), éste girará alrededor del imán y si cambias la polaridad del imán o de la corriente, el alambre girará en sentido contrario.

Este experimento demuestra que hay relación entre imanes y conductores; por consiguiente, *existe correlación entre electricidad y magnetismo. Ésta se llama electromagnetismo, que fue descubierto por el científico danés Hans Christian Oersted, de cuyas investigaciones se obtuvieron los siguientes resultados:*

- Una corriente eléctrica ejerce influencia magnética sobre una brújula cercana.
- Cerca de una corriente eléctrica existe un campo magnético.
- La dirección del campo magnético depende del sentido de la corriente eléctrica.
- La intensidad del campo magnético depende de la intensidad de la corriente eléctrica.
- El campo magnético no es igual en todas las regiones alrededor del conductor. Éste disminuye de intensidad conforme aumenta la distancia.
- La corriente eléctrica genera alrededor de su conductor un campo magnético.

Estas conclusiones influyeron gradualmente en el desarrollo tecnológico de la época de Oersted y propiciaron la creación de motores eléctricos, cuyo principio ya se observó.

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 4

Hasta ahora hemos demostrado la presencia de interacciones a distancia entre imanes y conductores, pero, ¿qué sucede entre conductores?.

OBJETIVO:

Verificar experimentalmente la variación de campos electromagnéticos a partir de los cambios de corriente eléctrica.

MATERIAL:

- un alambre conductor
- una barra de hierro en “U”
- una fuente de poder
- dos caimanes conductores
- una caja de plástico*

SUSTANCIAS:

- 100 ml de mercurio (Hg)

* Material que debe aportar el alumno.

PROBLEMATIZACIÓN:

¿Qué sucede entre conductores al variar la corriente eléctrica en la generación de campos electromagnéticos?.

HIPÓTESIS:

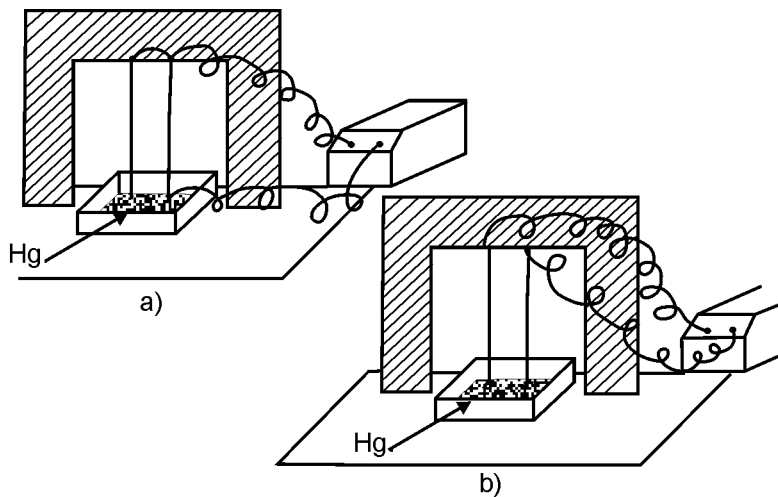


Figura 6.

PROCEDIMIENTO:

Arma un dispositivo como se muestra en la figura 6 o solicítalo en el laboratorio.

Con este dispositivo demostrarás la fuerza presente entre corrientes que fluyen por alambres paralelos. Debe haber suficiente mercurio en la caja de plástico donde caen los alambres, para que los conductores hagan contacto.

Enciende la fuente de poder en aproximadamente 21 VCD y observa qué ocurre con los alambres (*Figura 6-a*). Ahora cambia las conexiones para que la corriente circule en direcciones opuestas en los dos alambres verticales (*Figura 6-b*). ¿Qué sucede al cerrar el circuito? Notarás que *si la dirección de la corriente es la misma en ambos alambres, se repelen, y si es opuesta, se atraen*.

Estas interacciones las descubrió el científico francés André Marie Ampere, quien una semana después de conocer el experimento de Oersted, determinó la interacción de los campos magnéticos alrededor de cada uno de los alambres paralelos conductores de corriente y que originan una fuerza sobre los propios alambres. *Ampere observó que esta fuerza variaba directamente con la corriente de cada uno de los conductores (I_1 e I_2) y con la longitud de los alambres (L), e inversamente con la distancia que los separa (d).*

Estas relaciones las expresó de la siguiente manera:

$$F = K \frac{I_1 I_2 L}{d}$$

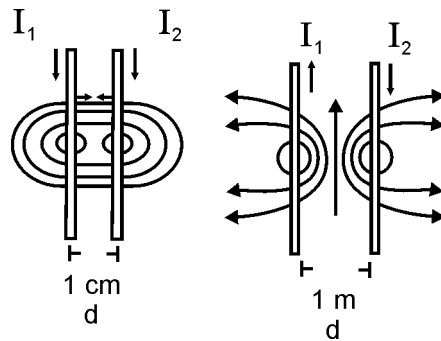


Figura 7. Relación entre electricidad y magnetismo establecida por Ampere.

Se introdujo la *constante de proporcionalidad* K , cuyo valor depende de las unidades que se elijan para las otras variables. En el sistema internacional, $K = 2 \times 10^{-7}$ cuando I_1 e I_2 están en amperes (A), L y d en metros (m) y F en newtons (N). *De esta forma un ampere es la corriente que fluye por dos alambres, rectos y paralelos de un metro de longitud, separados por un centímetro y que se atraen o repelen con una fuerza de 2×10^{-5} N.*

Ya estás en posibilidad de interpretar el funcionamiento de los motores eléctricos, teniendo en cuenta la variación de los campos eléctrico y magnético, es decir, haciendo cambios en los polos magnéticos o en la dirección de la corriente eléctrica.

Aunque algunos motores pequeños utilizan imanes permanentes para sus campos, la mayoría usa un campo proporcionado por uno o más electroimanes; un electroimán se puede construir con un clavo en el que se enrolla un alambre magneto (con barniz), como el de la *Figura 8*. Haz uno y observa cómo atrae pequeños objetos metálicos.

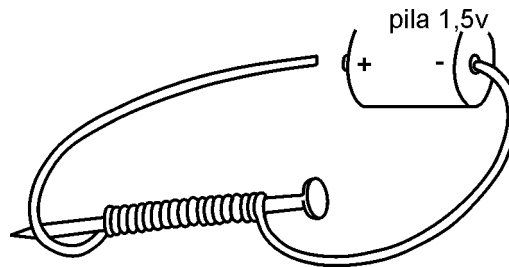


Figura 8.

Este principio es útil para levantar pesos muy grandes, por ejemplo, las grúas de los tiraderos de automóviles. *Uno de los principios fundamentales de los motores eléctricos es que la energía eléctrica se puede transformar en energía mecánica; sin embargo, los generadores eléctricos funcionan a la inversa, es decir, transforman la energía mecánica en energía eléctrica.* Esto se puede comprobar al conectar en paralelo dos motores de 1.5 VCD. Monta el siguiente dispositivo y observa cómo al caer la pesa de mayor masa la más pequeña se eleva.

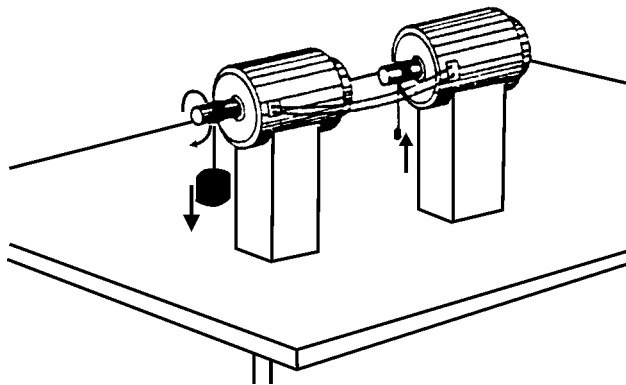


Figura 9.

¿Es posible para un motor transformar energía mecánica en eléctrica?
Compruébalo .

Transformadores¹

¿Cómo funciona un transformador?

Este dispositivo eléctrico eleva o reduce la tensión de una fuerza de alimentación de corriente alterna: son relativamente baratos, operan con un elevado rendimiento, y se usan en transmisores de radio, televisión, teléfono, transmisión de energía a distancia, etcétera.

El primer transformador lo construyó Michael Faraday en 1831; consistía en dos devanados de hilo enrollado en lados opuestos de un anillo de hierro (*Figura 10*).

¹ Tomado de WHITE H. E. *Física moderna*. UTEHA, México, 1986, págs. 494 – 495.

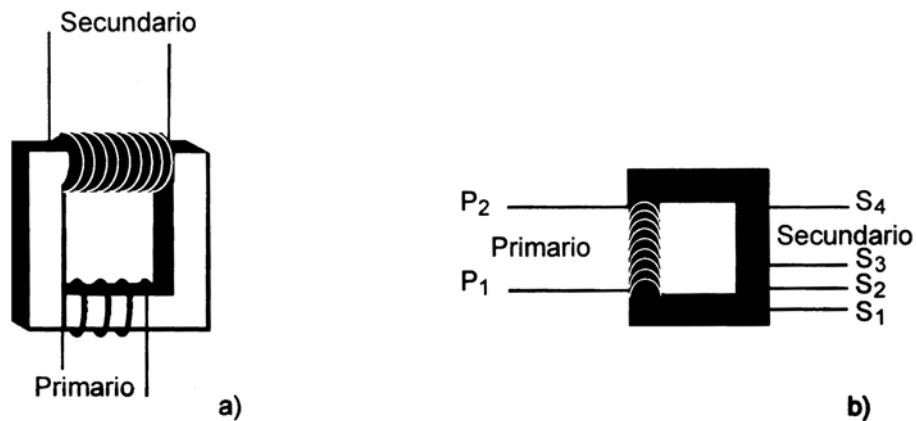


Figura 10. a) Transformador elevador con un núcleo cerrado. b) Transformador con dos secundarios.

En un transformador, al circular corriente por el devanado primario, se crea un campo magnético totalmente confinado en el núcleo de hierro. Esto es, las líneas de inducción originadas en el devanado primario por el crecimiento inicial de la corriente primaria, alcanzan también al secundario e inducen una fuerza electromotriz (fem) y, por lo tanto, una corriente. El hierro actúa como un buen conductor de las líneas de inducción magnéticas, guiándolas hacia el devanado secundario.

Al conectar una tensión de corriente alterna al devanado primario de un transformador, la corriente aumenta y disminuye periódicamente, lo que satisface las condiciones necesarias para obtener variaciones de campo magnético y, por consiguiente, tener corrientes inducidas.

ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

1. Menciona los cinco principios a los que llegó Hans Christian Oersted sobre electromagnetismo:

2. Explica en qué forma se aplica en un transformador el electromagnetismo:

1.1.2 RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

De lo hasta ahora estudiado concluimos: si un campo eléctrico existe en cierta región del espacio, sufre una variación en el tiempo, la cual hará aparecer un campo magnético inducido. A esta deducción llegó el físico escocés James Clerk Maxwell, quien estableció *la naturaleza electromagnética de la luz* e infirió: “*Si un campo magnético existente en cierta región del espacio sufre una variación en el tiempo, ésta hará aparecer en esa región un campo eléctrico inducido.*”

Estas conclusiones constituyen los principios básicos del *electromagnetismo*, los cuales mencionan que *la propagación de campos eléctricos y magnéticos forman una perturbación del medio, la cual recibe el nombre de **onda electromagnética**.*

La *Figura 11* representa una onda electromagnética que se propaga hacia la derecha, en donde los campos oscilan en forma periódica. Observa que los campos son perpendiculares entre sí y también lo son a la dirección de propagación de la onda. Por otra parte, la onda electromagnética no necesita de un medio material para propagarse, es decir, puede hacerlo en el vacío.

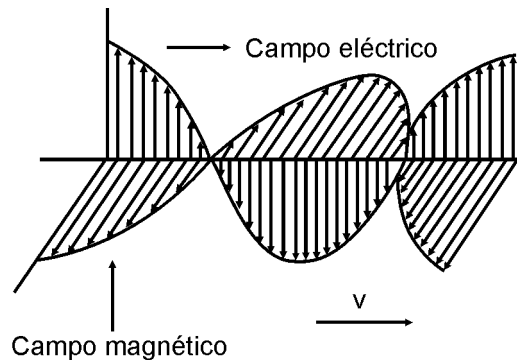


Figura 11.

Entre los resultados de mayor repercusión que obtuvo Maxwell a partir de sus ecuaciones, está la determinación del valor *de la velocidad de propagación de una onda electromagnética*. Sus cálculos demostraron que *en el vacío (o en el aire) esta onda se propaga con una velocidad de:*

$$3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

La importancia de este resultado radica en que este valor coincide con el de la velocidad de la luz en el vacío. Por ello *Maxwell concluyó que la luz es una onda electromagnética*, concepto comprobado en la actualidad.

Para demostrar y desarrollar las teorías de Maxwell, el físico alemán Heinrich Hertz proyectó un experimento donde una carga eléctrica se movía rápidamente de un lado a otro, para ver si producía el tipo de onda predicha por Maxwell. Estos chispazos produjeron efectos a muchos metros de distancia, sin alambres de conexión, y concluyó que había creado ondas electromagnéticas de luz invisible, que por mucho tiempo se les llamó *ondas hertzianas; actualmente se les conoce como ondas de radio*.

Entonces, ¿cuántas clases de ondas electromagnéticas se conocen?

Desde Maxwell hasta nuestros días se han producido grandes avances en el conocimiento de las ondas electromagnéticas, y hoy sabemos de la existencia de varios tipos de éstas, las cuales, a pesar de ser todas de la misma naturaleza (constituidas por los campos eléctrico y magnético), en ocasiones tienen características muy diferentes. En general, *los diversos tipos de ondas electromagnéticas difieren en el valor de su frecuencia y en la forma en que se producen*. Estas ondas se forman con base en un espectro, producto de toda la gama de ondas electromagnéticas juntas.

A continuación verás las características de *las diferentes ondas que constituyen el espectro electromagnético*.

Ondas de radio

Este tipo de ondas tiene la frecuencia más baja, aproximadamente de 10^2 hasta 10^8 Hz, es decir, ¡cien millones de vibraciones por segundo! Reciben este nombre por emplearse en las estaciones de radiodifusión para realizar sus transmisiones y se deben a los electrones acelerados en la antena transmisora. Las ondas electromagnéticas de las emisiones de televisión tienen las mismas características que las radioondas, pero su frecuencia es un poco más elevada.

Microondas

La frecuencia de estas ondas es de entre 10^8 hasta 10^{12} Hz, y se utilizan para transportar, o bien emisiones de televisión, o bien conversaciones telefónicas vía satélite, sin olvidar su empleo en los hornos de microondas. Estos últimos cuecen los alimentos al hacer vibrar, por resonancia, las moléculas de agua de los ingredientes a razón de

casi 2 500 millones de veces por segundo, lo que transmite energía y calienta la comida. Como toda la energía la absorben los alimentos y no se ocupa para calentar el aire de los alrededores o el horno mismo, la cocción es mucho más rápida y económica. Ten en cuenta que con las microondas no se calientan objetos de porcelana o vidrio, pues éstos no vibran con esta frecuencia, sin embargo, los utensilios no salen fríos del horno. ¿A qué se debe? ¿Se debe a la transmisión de calor por conducción?

Radiación infrarroja

Estas ondas electromagnéticas tienen frecuencias de entre 10^{11} hasta 10^{14} Hz. El calor que se siente al estar cerca de un metal candente se debe, en gran parte, a la radiación infrarroja que emite y que es absorbida por nuestro cuerpo.

Radiación visible

Las ondas electromagnéticas, cuyas frecuencias se ubican entre 4.6×10^{14} Hz y 6.7×10^{14} Hz, constituyen una región del espectro electromagnético de gran importancia para el ser humano, pues esta radiación es capaz de estimular la visión humana, dado que se trata de las ondas luminosas o luz; en esta frecuencia podemos observar los colores rojo, naranja, amarillo, verde, azul, añil y al final de la región visible el violeta.

Radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta alcanza frecuencias de hasta 10^{18} Hz. Estos rayos los emiten átomos excitados, por ejemplo, en las lámparas de vapor de mercurio o la producida por el Sol. Esta radiación es absorbida en gran parte por el ozono atmosférico, no es visible y puede dañar los tejidos de la piel y del ojo humano.

Rayos X

Esta radiación está entre frecuencias de 10^{18} Hz y 10^{21} Hz y tiene la propiedad de atravesar, con cierta facilidad, sustancias de baja densidad (como los músculos de una persona) y de ser absorbida por materiales de densidad elevada (como los huesos del cuerpo humano). Debido a esta propiedad los rayos X se utilizan ampliamente en medicina para obtener placas de los órganos internos (radiografías) y en el tratamiento del cáncer, sin olvidar su uso en la investigación de la estructura cristalina de los sólidos y en pruebas industriales.

Rayos gamma (γ)

Estas ondas electromagnéticas cuya frecuencia es muy alta, entre 10^{19} hasta 10^{22} Hz, son una radiación emitida por los núcleos atómicos de los elementos al desintegrarse. Estas sustancias se denominan elementos radioactivos y al igual que los rayos X ocasionan daños irreparables a las células eucariotas (animales y plantas).

1.1.3 EVIDENCIA DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

El espectro electromagnético²

Todos los campos eléctricos y magnéticos surgen de las cargas y de sus movimientos. Una carga eléctrica en reposo solamente tiene un campo eléctrico radial, que disminuye en función de la inversa del cuadrado de la distancia y no se propaga alejándose de ella; una carga en movimiento con velocidad constante no difiere realmente de una carga en reposo, mas si caminamos junto a ella la vemos en reposo y el campo que la rodea será un campo electromagnético. Por otra parte, existe un movimiento relativo de la carga respecto de nosotros, apreciaremos además un campo magnético, el cual se localizará en la región del campo. De este modo, *los campos eléctrico y magnético permanecen con la carga en movimiento de velocidad constante sin ser irradiados al exterior.*

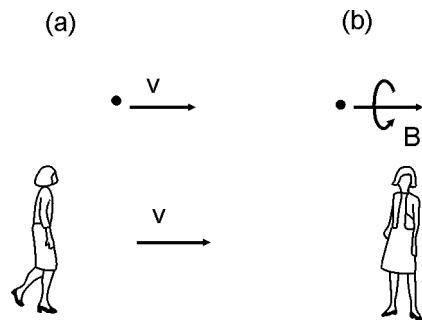


Figura 12.

¿Cuándo son irradiados estos campos por las partículas eléctricas que los originan?

Igualmente, al acelerar una carga, ésta no podrá quedar en reposo en ningún sistema dinámico de referencia donde se cumplan las leyes de Newton y del electromagnetismo. Éste es el único momento para iniciar un pulso de campos magnético y eléctrico perpendiculares en movimiento. *Para obtener radiación electromagnética tendremos que acudir, por lo tanto, a las cargas aceleradas.*

² Tomado de HABER-Schaim, et al. *Física PSSC*. 3ª. Ed., Reverté, España, 1975, págs. 626-629.

Veamos experimentalmente lo que sucede al acelerar las cargas: Una estación de radio lanza cargas a lo largo de una antena, primero en una dirección y luego en la opuesta. Éstas no se mueven con velocidad constante, sino que oscilan adelante y atrás, acelerando primero en una dirección y luego en la opuesta.

Las ondas de radio emitidas por una antena se propagan a 3×10^8 m/s, y es evidente que las producen los movimientos acelerados de las cargas en su trayecto de vaivén en la antena. Cuando en el blanco de un tubo de rayos X se detienen los electrones de alta rapidez debe dárseles una fuerte aceleración hacia atrás para llevarlos al reposo. De esta región en que frenan las cargas, se emiten rayos X, y al medir su velocidad de propagación, se encuentra que también es de 3×10^8 m/s.

En un sincrotrón – máquina que suministra electrones a alta velocidad – los electrones, dotados de enorme energía, son obligados a circular en grandes órbitas, bajo la acción de campos magnéticos deflectores, y si observamos la órbita vemos cómo de ella se irradia luz. Realmente la energía que podemos ceder a los electrones viene limitada prácticamente por la energía que irradian en forma de luz al ser acelerados por las fuerzas magnéticas deflectoras. La energía se puede suministrar mediante gigantescos osciladores eléctricos, pero para cierta velocidad de los electrones, se irradia al exterior con la misma rapidez que se le suministra.

La luz visible ordinaria es, por lo tanto, una radiación electromagnética cuyo origen es la aceleración de las partículas eléctricas.

La coincidencia entre la velocidad de la luz y de las ondas electromagnéticas, calculada por Maxwell, no es casual. *La velocidad de las radiaciones mencionadas es de 3×10^8 m/s, todas ellas eléctricas en su origen y radiaciones electromagnéticas.*

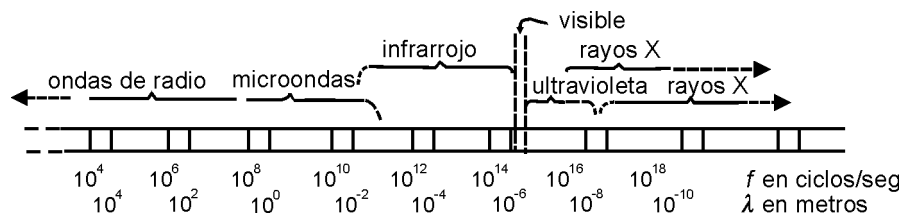


Figura 13.

El espectro electromagnético es una escala continua de radiación que se extiende desde los rayos gamma hasta las ondas de radio. Las ondas de radio y las microondas proceden de los electrones.

La velocidad común de estas radiaciones y su origen en las cargas aceleradas no es la única evidencia que hay de su naturaleza electromagnética, pues hay otra que conecta todo el espectro de radiación desde los rayos X hasta las ondas de la radio. Si aceleramos hacia atrás y hacia adelante las partículas cargadas con una frecuencia determinada, los campos eléctricos radiantes que se desprenden poseen idéntica frecuencia de oscilación.

Cada estación transmisora de radio emite ondas a través de su antena a una frecuencia determinada, y el campo eléctrico oscilante de estas ondas, a su vez, impulsa a las cargas de la antena receptora con la misma frecuencia. ¿Son reales estas corrientes oscilantes? Las señales de radio se detectan al sintonizar un circuito oscilante en el receptor, seleccionándose una estación particular, cuando aquél se ha modulado con la misma frecuencia que emite el transmisor hasta nosotros, mediante la radiación electromagnética.

Variando los circuitos y las antenas pueden conseguirse transmisores que emitan ondas de radio de frecuencia comprendidas entre 10^4 y 3×10^{11} ciclos por segundo. Éstas se propagan a la velocidad de la luz y, por lo tanto, las longitudes de onda (que pueden medirse por métodos interferenciales) varían desde unos 30 kilómetros a unos milímetros.

Las ondas de longitud larga se difractan alrededor de cualquier obstáculo, pero a medida que crece la frecuencia se comportan cada vez más como la luz, propagándose en línea recta y reflejándose y refractándose claramente como las ondas luminosas. Incluso para las frecuencias de radio más elevadas, la longitud de onda de la radiación electromagnética es muy superior a la longitud de onda más larga de la luz visible. Entre ambas se encuentra la región de la radiación calorífica que emiten las moléculas al chocar en los gases o sólidos incandescentes. Los movimientos térmicos de las moléculas originan aceleraciones de sus cargas, con una emisión o radiación magnética de frecuencia superior a la producida, mediante circuitos eléctricos de tamaño normal.

En altas temperaturas, por ejemplo, en arcos y chispas, los átomos perturbados emiten luz infrarroja, visible o ultravioleta. La parte visible del espectro corresponde a frecuencias comprendidas entre 4×10^{14} y 8×10^{14} ciclos por segundo. Aquí hemos sobrepasado ampliamente la región en que podemos medir directamente la frecuencia, aunque es posible identificar la frecuencia de la luz de un color espectral simple con sólo medir las longitudes de onda. De este modo, mediante espectroscopios y trabajando en el vacío, es posible determinar la frecuencia de las radiaciones ultravioletas, emitidas por los átomos, cuyos valores superan los 10^{15} ciclos por segundo.

¿Se debían esperar estas frecuencias en el movimiento de los electrones de los átomos excitados? Se pueden estimar éstas partiendo de un electrón que gire alrededor de un átomo de un angström de radio. Por ejemplo, si suponemos que el electrón se mantiene en esas condiciones, merced a la fuerza eléctrica ejercida por una carga elemental positiva (carga neta del resto del átomo), la frecuencia así calculada es de aproximadamente 2×10^{15} ciclos por segundo, en buen acuerdo cualitativo con las frecuencias superiores de la luz, emitida normalmente por los átomos.

Como ya sabemos los átomos emiten luz...pero... ¿también la absorberán?

Un átomo de una clase particular absorberá luz de algunas frecuencias muy definidas, posiblemente estas frecuencias sean de los movimientos naturales de los electrones en el átomo y sólo responderá a éstas y a los campos eléctricos que oscilan con ellas. Los átomos no pueden excitarse como si se modulara un circuito oscilante, pero seleccionando el tipo adecuado de éstos, podremos conseguir un movimiento electrónico sintonizado en la región de frecuencias en que deseamos absorber la luz.

A mayores frecuencias entramos en la región de los rayos X. Si la frecuencia de éstos no es demasiado elevada, su longitud de onda debe aproximarse al tamaño de un átomo. Más si las frecuencias son elevadas, se tienen los rayos gamma, cuya emisión se da espontáneamente en algunos procesos de desintegración radiactiva.

Toda **radiación electromagnética** transporta energía, la cual calienta un cuerpo cuando éste la absorbe, por consiguiente, esta radiación sólo se emite en un proceso en que se suministre energía. Como ya aceptamos, los campos eléctrico y magnético se producen cuando una fuerza acelera una carga. La evidencia de que la radiación electromagnética surge de las cargas aceleradas es ahora abrumadora, ésta existe y se propaga con la velocidad de la luz.

Te hemos presentado de manera resumida lo que es el espectro electromagnético, aunque no hemos mencionado algunas otras ondas electromagnéticas, como las producidas por el laser, del cual hablaremos al final de este capítulo; sin embargo, estos conocimientos te habrán dado una idea de lo que es la comunicación inalámbrica, apoyada en antenas emisoras y receptoras, pero, sobre todo, que **las ondas electromagnéticas no son otra cosa que campos eléctrico y magnético, oscilantes o acelerados, que producen una perturbación en el vacío o el aire, y que la manera de transmitir la energía es generalmente por resonancia.**

Las cargas eléctricas aceleradas radian energía (radiación electromagnética), pero a su vez pueden absorber la energía proveniente de la radiación, lo cual se pone de manifiesto, por ejemplo, en el efecto fotoeléctrico o en el proceso de fotosíntesis.

1.1.4 EFECTO FOTOELÉCTRICO

Cuando Luis y su hermano Paco visitaron a un amigo internado en el quinto piso del hospital, al estar dentro del elevador y ver venir a un señor con muletas, rápidamente, para que el elevador no cerrara, Paco colocó su mano sobre el “ojo mágico” de la puerta. Ante ello Luis preguntó a su hermano por qué el elevador se detenía. Paco al recordar que en su curso de Física III estudió el efecto fotoeléctrico, así como algunas de sus aplicaciones, comentó: “El ‘ojo mágico’ es un dispositivo que permite abrir o cerrar una puerta”. “Pero ¿a qué se debe este fenómeno?”, preguntó Luis. “Se debe al efecto fotoeléctrico”, respondió Paco. Para comprender mejor este hecho lee con atención lo siguiente:

En el desarrollo de las concepciones sobre la naturaleza de la luz, un gran avance se debe a un fenómeno descubierto por el físico alemán Heinrich Hertz, quien al investigar las ondas electromagnéticas, establecidas por la teoría del campo electromagnético de

Maxwell, inesperadamente observó que una placa metálica puede emitir cargas eléctricas cuando sobre su superficie incide luz de alta frecuencia (de longitud de onda corta).

Posteriormente Wilhelm Hallwachs observó que la luz ultravioleta, al incidir sobre un cuerpo cargado negativamente, causaba la pérdida de su carga, mientras que no afectaba a un cuerpo con carga positiva. J.J. Thomson y Philippe Lenard demostraron en forma independiente que la acción de la luz era la causa de la emisión de las cargas negativas libres por la superficie de un metal.

La hipótesis cuántica, propuesta por Max Planck en 1890, rindió cuentas de las observaciones del efecto fotoeléctrico, lo mismo que explicaba las energías de la radiación del cuerpo negro.

Einstein interpretó la idea cuántica de Planck y con ello ensanchó la brecha que le apartaba de la Física clásica; *subrayó la contradicción enunciada por $E = hf$, la cual relaciona la energía asociada a una partícula (fotón) y la frecuencia asociada a una onda, que era una igualdad de opuestos*. Debieron transcurrir veinte años para que los físicos entendieran porqué la luz podía tener propiedades de partículas y también de ondas.

Y entonces, ¿qué es el efecto fotoeléctrico?

El **efecto fotoeléctrico** es el desprendimiento de electrones de la superficie de una sustancia, debido a la acción de la luz. Éste puede tener lugar en una superficie metálica, en un líquido o en átomos individuales de un gas.

Mediante el siguiente dispositivo se puede demostrar este efecto.

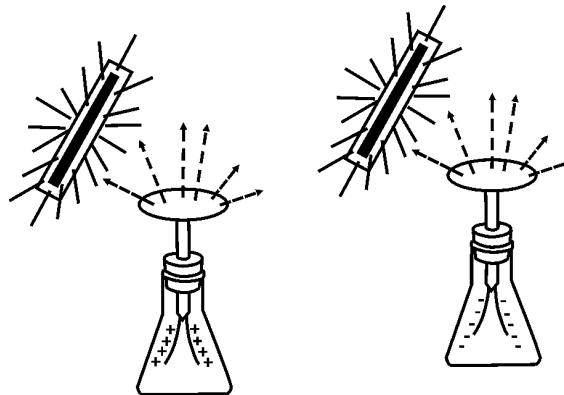


Figura 14. Efecto fotoeléctrico.

Al acercar la luz ultravioleta, se descarga el que está cargado negativamente, pero no el que está cargado positivamente. Esto demuestra que la radiación es capaz de expulsar los electrones excedentes en el segundo electroscopio.

De acuerdo con la *Figura 14*, cuando en el camino de la luz, provocada por el arco eléctrico, se interpone una placa de vidrio, la placa de zinc cargada negativamente ya no pierde electrones y cuando se quita el vidrio, vuelve a bajar la laminilla de oro del electroscope, puesto que el vidrio común absorbe la luz ultravioleta del espectro electromagnético, que es la que provoca el efecto fotoeléctrico.

*La emisión de los electrones no tiene lugar si la frecuencia de la luz incidente se hace más pequeña que cierto valor o frecuencia mínima (f_0), también llamada **frecuencia de umbral**, característica de cada tipo de material. Para frecuencias menores que la de umbral no hay efecto fotoeléctrico.*

Pocos elementos, en particular los metales alcalinos (litio (Li), sodio (Na), potasio (K), rubidio (Rb) y cesio (Cs)), emiten electrones aún cuando la luz incidente pertenece al espectro visible. Esta propiedad se usa frecuentemente en la fabricación de celdas fotoeléctricas. Pero, ¿cómo son éstas y para qué sirven?

Generalmente una *celda fotoeléctrica* se fabrica depositando una capa delgada de metal alcalino en la superficie interior de un pequeño tubo de vacío (*Figura 15*). Si la celda se hace funcionar con luz ultravioleta, la ampolla se fabrica de cuarzo, pero si se quiere usar con luz visible, se utiliza vidrio. Siempre se deja transparente una pequeña sección de la celda, la cual sirve como ventana para la entrada de luz; los fotoelectrones, después de dejar la superficie metálica, son atraídos y recogidos por un electrodo (C) de carga positiva. Entre la superficie fotosensible o cátodo y el colector o ánodo se mantiene una diferencia de potencial constante por medio de la batería (B).

La llegada de un haz de luz a través de la ventana de la celda fotoeléctrica, actúa igual que un interruptor que completa el circuito eléctrico. Cuando la luz choca contra el metal (P), hay un flujo de electrones hacia el colector (C), produciendo así una corriente que fluye por el circuito, la cual se puede medir con un amperímetro (A). Si la intensidad de la luz crece, el número de fotoelectrones es mayor y, por lo tanto, aumenta la corriente; si la película metálica está cargada positivamente, la celda es inactiva a la luz, puesto que los electrones que intentan dejar la placa quedan retenidos por la atracción electrostática.

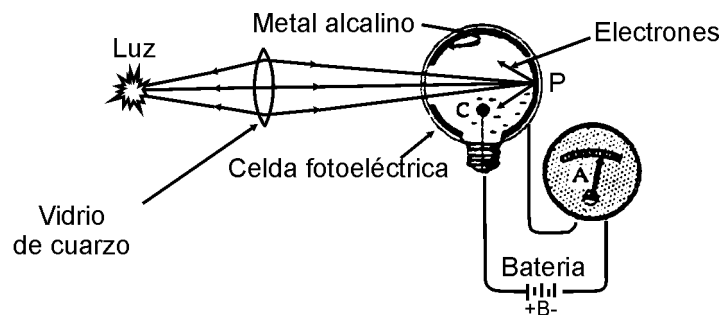


Figura 15. Celda fotoeléctrica.

El efecto fotoeléctrico tiene infinidad de aplicaciones, por ejemplo: en películas de cine sonoro, en televisión, en luxómetros (también llamados ojos eléctricos), en exposímetros usados por los fotógrafos (las celdas solares hacen trabajar la luz del Sol), en ciertos

detectores de radiación nuclear (como son los detectores de centelleo) y en las alarmas contra robo.

En las alarmas contra robo, un haz de luz infrarroja (invisible al ojo humano) se proyecta a través de un salón para penetrar en una celda fotoeléctrica, y cuando el ladrón la cruza, el haz se interrumpe por un instante y la corriente fotoeléctrica cesa momentáneamente. Un relé eléctrico, en lugar de un amperímetro, detectará esta situación y se accionará y cerrará otro circuito eléctrico, haciendo sonar un timbre (*Figura 16*).

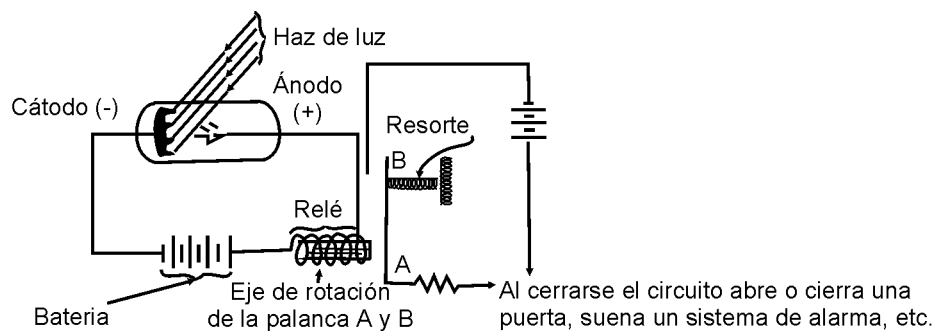


Figura 16. Celdilla fotoeléctrica en una instalación con "ojo mágico".

En 1905, Albert Einstein explicó el efecto fotoeléctrico, al desarrollar la idea de Max Planck sobre la emisión discreta de luz. Demostró que *la luz tiene una estructura discontinua y que se absorbe en porciones (cuantos de luz)*. La energía de un cuanto de luz (hf) se transforma en trabajo de salida del electrón a la superficie del metal y en energía cinética, proporcionada al electrón.

Como recordarás, de acuerdo con el modelo atómico de Bohr (estudiado en Química II), *la radiación electromagnética de un átomo se emite en cantidades discretas, que se pueden considerar como "paquetes de energía" (fotones)*. Lo que es cierto acerca de la radiación electromagnética emitida por los átomos, es cierto también para toda la radiación electromagnética. La energía de un fotón depende de la frecuencia de la luz involucrada; por ejemplo, los fotones de luz azul tienen mayores energías que la luz roja.

La relación entre la frecuencia de la radiación y la energía de los fotones es:

$$E = hf$$

Donde:

- E: Energía de los fotones medida en joules (J)
- f: Frecuencia de la radiación en hertz (Hz)
- h: Constante de Planck, cuyo valor es de 6.626×10^{-34} Js

La relación entre la longitud de onda y la energía del fotón se obtiene combinando las dos siguientes ecuaciones: $E = hf$ y $c = f\lambda$

Donde :

c : Velocidad de 3×10^8 m/s

λ : La longitud de onda (m)

Por tanto:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

De la ecuación anterior se concluye: entre menor es la energía de los fotones, las longitudes de onda serán mayores.

ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

Para que apliques lo aprendido hasta el momento, resuelve lo que se te pide a continuación:

1. Dibuja y explica lo que es una onda electromagnética:

2. Explica cómo demostró Maxwell que la luz es una onda electromagnética:

3. Completa los datos del siguiente cuadro sobre ondas electromagnéticas.

NOMBRE DE LA ONDA ELECTROMAGNÉTICA	RANGO DE FRECUENCIA	ORIGEN DE LA ONDA	APLICACIONES
RADIO			
MICROONDAS			
INFRARROJO			
VISIBLE			
ULTRAVIOLETA			
RAYOS X			
RAYOS GAMMA			

4. ¿A qué velocidad llegan las ondas de T.V. a nuestro televisor?

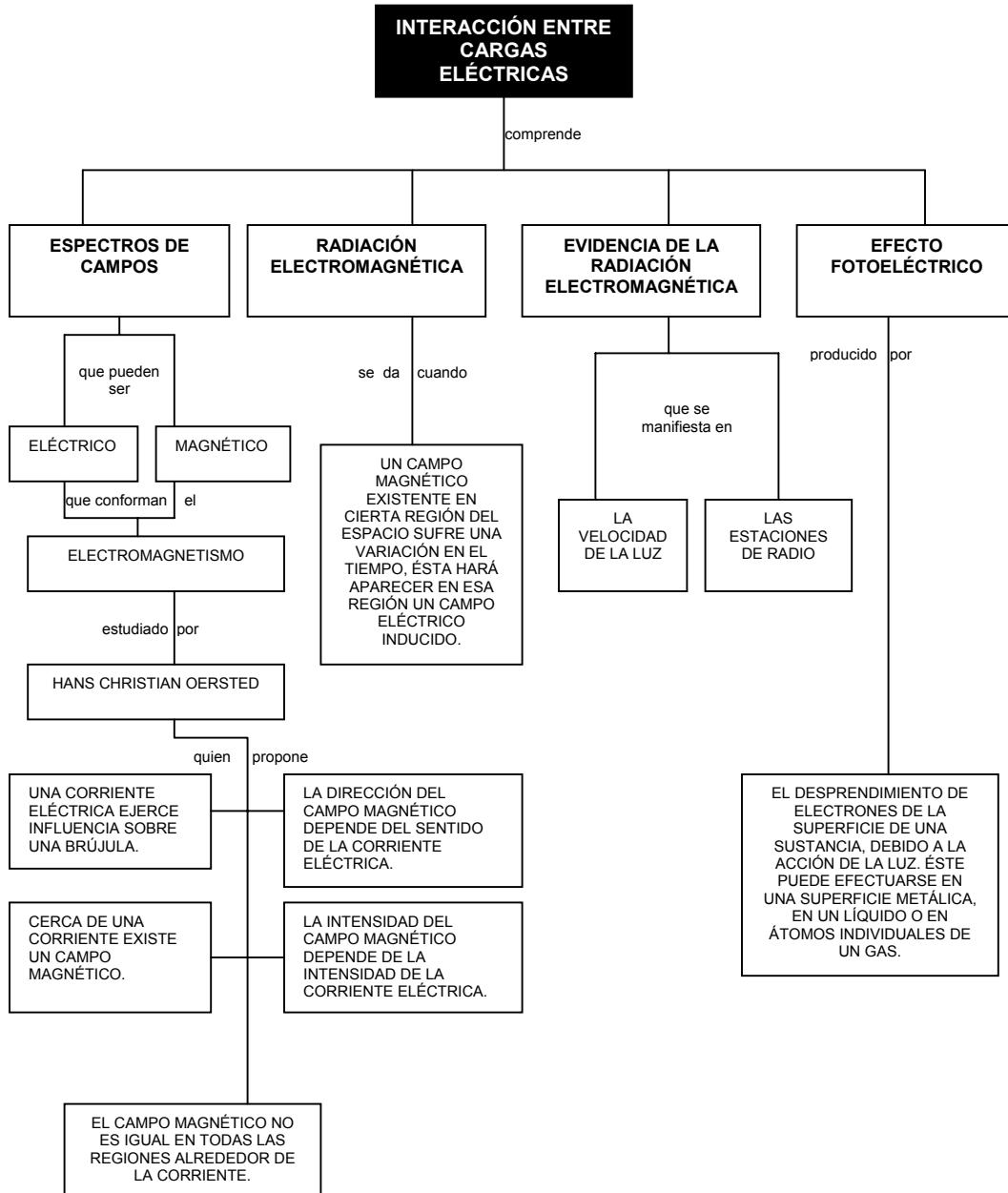
5. Dibuja y explica cómo funciona una fotocelda:

6. Menciona cinco aplicaciones de las fotoceldas:

7. Define qué es un fotón de energía:

EXPLICACIÓN INTEGRADORA

En el siguiente esquema reconocerás los principales contenidos del tema que acabas de estudiar. Revísalo.



1.2 LÍNEAS ESPECTRALES Y MODELO ATÓMICO DE BOHR

¿Por qué los electrones de un átomo emiten luz?
¿Cómo se relacionan la formación de espectros y la estructura del átomo?

En el segundo postulado de su *teoría atómica*, Bohr* introduce el concepto de que en el átomo los electrones se encuentran en determinados niveles de energía o estados estacionarios, en tanto que en el tercero, menciona: el electrón puede cambiar de un nivel de energía a otro dentro del mismo átomo, y que se requiere una cantidad definida de energía para que ocurra esta transición.

La emisión de energía ocurre cuando en un átomo los electrones pasan de un nivel superior a otro inferior y la absorción de energía sucede cuando los electrones saltan de un nivel menor a otro de mayor energía. *La energía necesaria para desplazar a un electrón de un nivel a otro, es igual a la diferencia de energía entre ambos estados; la energía absorbida o emitida recibe el nombre de fotón o quantum*, por lo tanto:

$$\Delta E = E_{\text{final}} - E_{\text{inicial}} = hf$$

1.2.1 ESPECTROS DE EMISIÓN Y DE ABSORCIÓN

Para estudiar la definición de espectro atómico, debes considerar lo aprendido en el Fascículo 2 de Física III, sobre el tema de la luz y sus colores. Por otra parte, en el laboratorio de Física, puedes hacer el experimento que en 1660 llevó a cabo el científico inglés Isaac Newton (1647-1727), que consiste en lo siguiente: haciendo pasar un haz de luz blanca por un prisma óptico se puede poner de manifiesto que la luz blanca está formada por diversos colores. Esta banda de colores recibe el nombre de *espectro de la luz blanca* y el fenómeno que lo provoca se conoce como *descomposición o dispersión de la luz*.

El conocimiento sobre las distintas clases de espectros ha facilitado, entre otras cosas, un mejor conocimiento de la estructura atómica, nuevos métodos de análisis químicos y la medida de la velocidad y temperatura de las estrellas. Para el estudio de estos espectros los científicos utilizan el *espectroscopio*.

Espectros de emisión

Todos los espectros de emisión se producen por sustancias que emiten luz, siendo tres las clases de éstos: continuos, de líneas brillantes y de bandas.

* Puedes retomar la explicación sobre el modelo atómico de Bohr en el Fascículo 1 (Capítulo 2) de Química II.

Espectros continuos

Este tipo de espectros se producen por sólidos o líquidos incandescentes o por gases incandescentes a baja presión. Al aumentar la temperatura en la fuente de luz, la parte del espectro más brillante se corre desde el rojo hacia el amarillo, del verde al azul y del extremo al violeta.

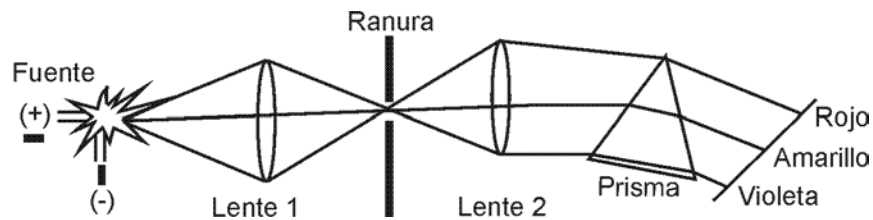


Figura 17.

Si se calienta lentamente un metal, su incandescencia emite un resplandor rojo mate y si se le sigue calentando el color cambia lentamente, pasando por el anaranjado y finalmente hasta el blanco, cuando está extremadamente caliente. Debido a que los colores del espectro cambian con la temperatura, el estudio del espectro de las estrellas revela su temperatura, aunque éstas se ubiquen a miles de años luz de distancia. Por ello, en los hornos de fundición, analizando el espectro continuo que emiten los metales fundidos, se puede inferir su temperatura. El *pirómetro* mide las altas temperaturas con base en el análisis del espectro emitido por el sólido o líquido incandescente.

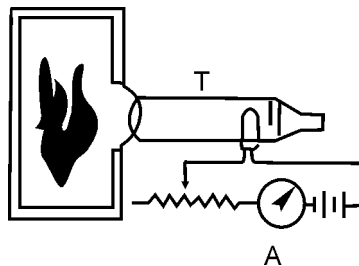


Figura 18. Pirómetro óptico con el que se pueden medir altas temperaturas, como la de los hornos de fundición.

Otro ejemplo de los espectros continuos de emisión se observa en las lámparas incandescentes (focos) que se emplean en la casa; en cambio, en el alumbrado público se utiliza luz emitida por gases, como el vapor de mercurio, la cual es más brillante y más económica, pues mientras en una lámpara incandescente la mayor parte de la energía se convierte en calor, en una lámpara de vapor de mercurio, se convierte en luz.

Espectros de líneas brillantes

Los producen los átomos de gases incandescentes. Un espectro de líneas brillantes es la forma de los átomos de un elemento, y se presenta cuando en la ranura de un espectroscopio se ilumina una lámpara de sodio o un tubo de neón, con una fuente de luz de un arco de mercurio. Aparecen varias líneas brillantes en lugar del espectro continuo.

Espectros de bandas

Estos espectros se deben a las moléculas de gases incandescentes. Cuando un espectroscopio es capaz de obtener una dispersión muy grande de luz observada, las bandas se convierten en muchas líneas brillantes muy próximas.

Espectros de absorción

Al hacer pasar luz, que consiste de un espectro continuo a través de un vapor atómico en circunstancias favorables, el espectro emergente deja de ser continuo, pero contiene *líneas oscuras que indican ausencia de una pequeña cantidad de la radiación original*. Lo que ha sucedido es que los electrones de los átomos han interactuado con radiación de la longitud de ondas particulares y han absorbido algo de éstas. Estas líneas oscuras sobre un fondo del espectro continuo constituyen el llamado espectro de absorción.

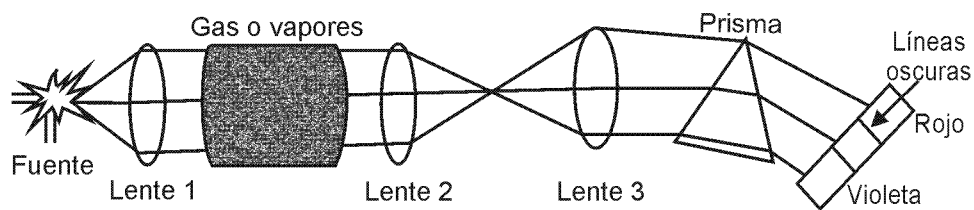


Figura 19.

Así como en Física I estudiaste que el modelo newtoneano (leyes de Newton) explica las interacciones y los movimientos, tanto de objetos cercanos a la superficie de la Tierra como de cuerpos celestes, el desarrollo de la espectroscopía permitió identificar los elementos químicos de las estrellas y descubrir que son los mismos que se encuentran en la Tierra. Así, cuando se observó el espectro de la luz solar, aparecieron unas líneas oscuras (espectros de absorción) correspondientes a un elemento desconocido hasta entonces, helio (del griego *helios*, nombre del Sol). Posteriormente se encontró que en una fracción muy pequeña formaba parte de nuestra atmósfera.

Entonces, ¿podrías explicar ahora la diferencia entre los espectros de emisión y los de absorción?

En los espectros de absorción, los fotones que llegan a la muestra son absorbidos y los electrones adquieren energía (en general se alejan del núcleo), en tanto que en los espectros de emisión los electrones pierden energía, es decir, pasan de un nivel de mayor energía a otro de menor energía (aproximándose al núcleo) y esta energía aparece como radiación (fotones).

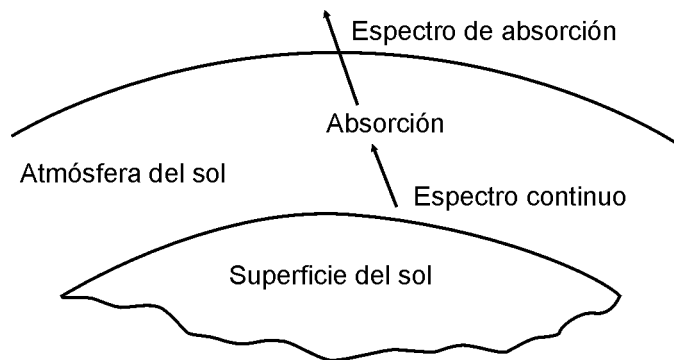


Figura 20. Absorción de la luz por la atmósfera solar.

En la absorción, los electrones absorben fotones específicos pero, al igual que con la energía adquirida de la llama del mechero, en la mayoría de los átomos el electrón regresa a su posición original y vuelve a adquirir su energía inicial. Al hacer esto, el electrón emite un fotón con la misma energía del que fue absorbido. Estos fotones, sin embargo, se emiten en distintas direcciones y, por lo tanto, no aparecen en el espectro que se observa; pero cuando de alguna manera se lleva un electrón hacia un nivel de energía más alto, se dice que el átomo está excitado. En este caso el átomo ha pasado por los procesos de excitación y desexcitación.

En un átomo excitado, los electrones que caen de los niveles de mayor energía a los de menor energía *emiten en cada salto un pulso de radiación electromagnética llamado fotón*, cuya frecuencia se relaciona con la transición de energía del salto. *La frecuencia del fotón es directamente proporcional a su energía ($E = hf$).*

En resumen:

- La emisión de energía ocurre cuando el átomo pasa de un estado con mayor energía a un estado con menor energía (*espectro de emisión*).
- La absorción de energía sucede al pasar el átomo de un estado con menor energía a otro estado con mayor energía (*espectro de absorción*).
- La energía emitida o absorbida recibe el nombre de *quantum* o *fotón*, y la energía de éste es igual a la diferencia de energías del átomo en dos de sus estados estacionarios.

$$\Delta E = E_2 - E_1 = hf$$

De acuerdo con el modelo de Bohr, en la *Figura 21* se muestra la emisión y la absorción de un fotón al saltar el electrón de una órbita a otra.

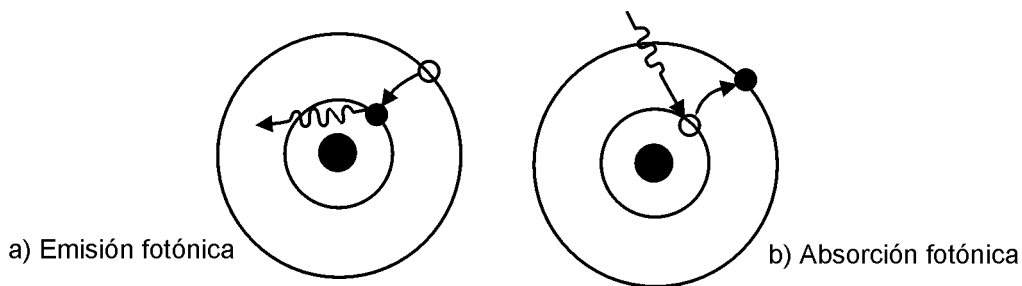


Figura 21.

1.2.2 NIVELES DE ENERGÍA

Comúnmente, tanto en la Física atómica como en la nuclear, se usa una unidad de energía llamada **electrón-volt, (eV)**, que es una fracción muy pequeña del joule.

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = 0.00000000000000000016 \text{ J}$$

Recuerda que en Física II se hizo referencia a otras dos unidades de energía que aún son de uso común, incluso en la vida diaria: el kilowatt-hora y la kilocaloría.

$$1 \text{ KWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ Kcal} = 4.2 \times 10^3 \text{ J}$$

Utilizaremos la unidad eV para referirnos a la energía en un átomo.

Un electrón que se encuentre más lejos del núcleo que otro, tendrá mayor energía potencial eléctrica respecto del más cercano al núcleo. Por consiguiente, el electrón más alejado tendrá un nivel de energía más alto. En cierto sentido, esta situación es análoga a la de un martinete para clavar pilotes, pues entre más se levante el martinete mayor será su energía potencial gravitacional (EPG).

Entonces, ¿qué diferencias se dan entre los niveles de energía de un átomo?

Las diferentes órbitas en un átomo asemejan escalones: cuando un electrón se lleva a una órbita más elevada, el átomo queda excitado y al caer el electrón a su escalón original, libera energía en forma de luz. Asimismo, cuando se requiere trasladar un electrón a un nivel de energía más alto, se dice que está excitado.

Niels Bohr estableció una ecuación para determinar la energía potencial de cada estado energético del átomo de hidrógeno, la que se expresa de la siguiente manera:

$$\text{En joules : } E_n = \frac{17 \times 10^{-18} \text{ J}}{n^2}$$

Donde n toma valores 1,2,3,4,...7, correspondientes a los diferentes niveles de energía E_n "permitidos".

Considerando que un electrón-volt (eV) = $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$. Si transformamos de joules a electrón-volt, para el ejemplo anterior se obtiene:

$$E_n = \frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$$

El signo negativo indica que se debe efectuar un trabajo externo para extraer al electrón de un átomo (en el Fascículo 3 de Física I, se vio que si la energía potencial en el borde del pozo se tomaba como $E_p = 0$, entonces una piedra en el fondo del pozo tenía E_p negativa y habría que realizar trabajo, dar energía, para que la piedra saliera del pozo); para el caso del átomo, "sacar al electrón del pozo" significa ionizar el átomo. Así, la energía de ionización del átomo de hidrógeno es de + 13.6 eV.

Para el primer nivel de energía (E_1), número cuántico principal $n = 1$, su energía es:

$$E_1 = -13.6 \text{ eV}$$

Para el segundo nivel, $E_2 = -3.4 \text{ eV}$

Ahora bien, con estos valores podemos calcular cuánta energía se libera al descender un electrón de E_2 ($n = 2$) a E_1 ($n = 1$). Esto es:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = 10.2 \text{ eV}$$

La energía que se libera $\Delta E = 10.2 \text{ eV}$, al pasar el electrón de E_2 a E_1 , es la misma energía que el electrón absorbe cuando pasa de E_1 a E_2 . Ahora bien, *con estos valores se puede calcular la energía del fotón emitido por un átomo de hidrógeno al descender el electrón de un nivel a otro.*

ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

Para que ejercites lo que has aprendido hasta ahora, resuelve los siguientes problemas:

1. Calcula la energía del fotón que emite un átomo de hidrógeno al caer el electrón del nivel 3 al nivel 2. ($E_{\text{inicial}} - E_{\text{final}} = hf$).
2. Con base en el resultado anterior (en joules), encuentra la frecuencia de la onda electromagnética, asociada a dicho fotón ($f = \frac{E}{h}$). ¿A qué región del espectro electromagnético corresponde esta frecuencia?

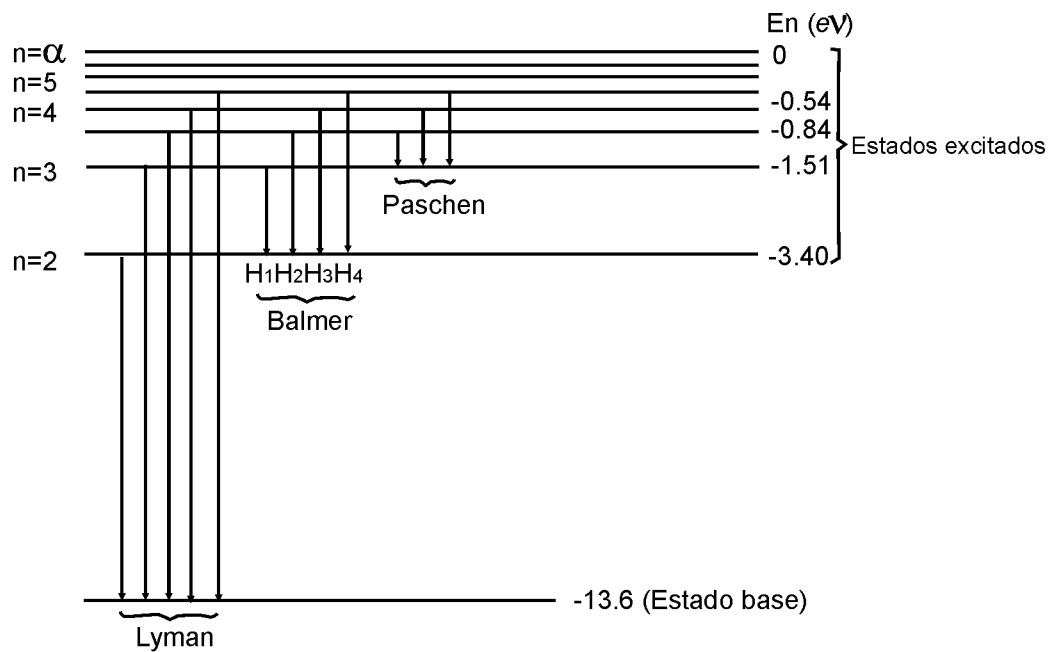
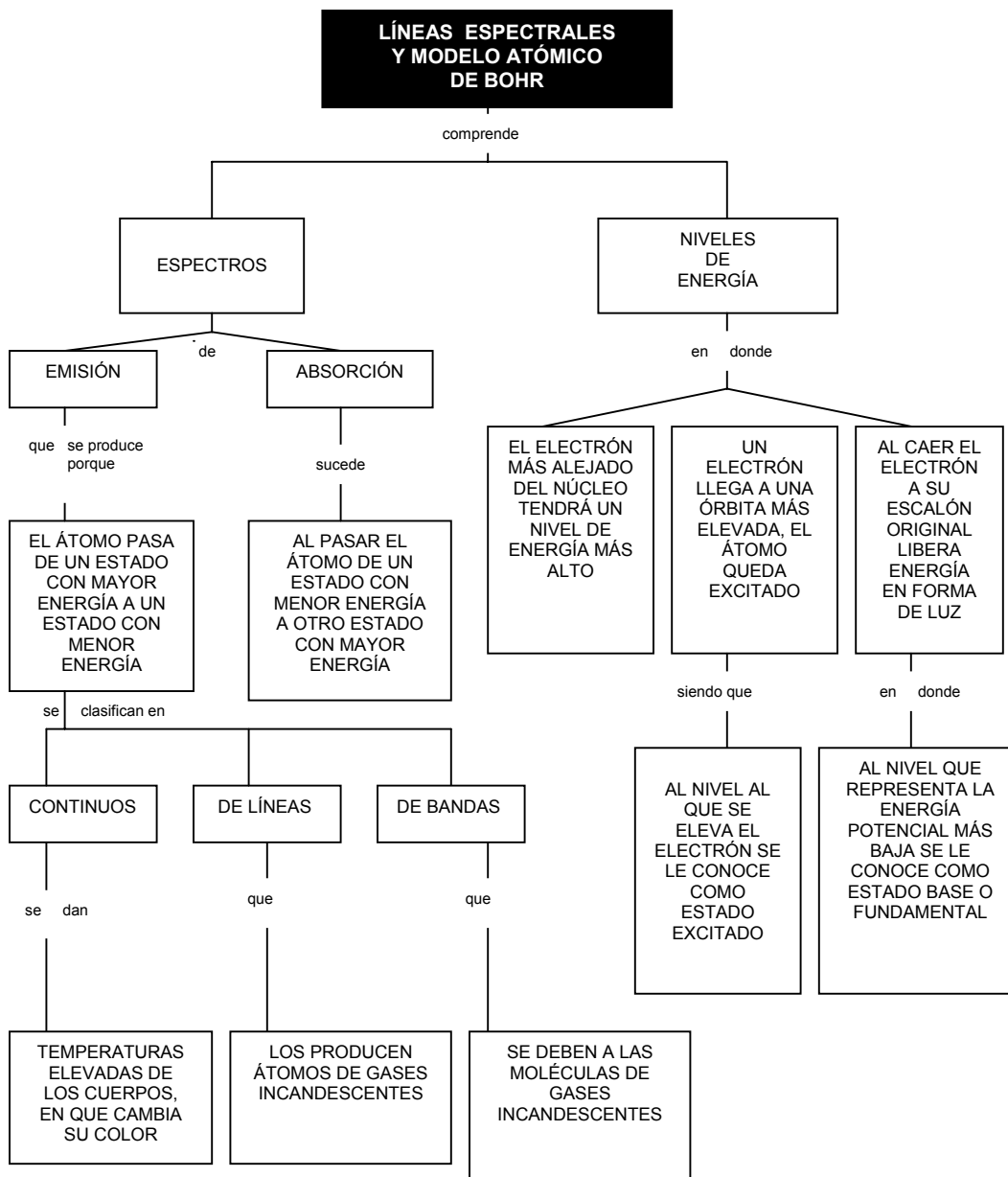


Figura 22. Niveles de energía para el átomo de hidrógeno.

Al nivel que representa la energía potencial más baja ($n = 1$) se le conoce como *estado base* o *fundamental* y al nivel al que se eleva el electrón, como *estado excitado*. Las líneas de la parte visible del espectro del hidrógeno se conocen como serie de *líneas de Balmer* y corresponde a la transición al nivel 2 de un nivel con más energía. El nombre de la serie se puso en honor de quien primero describió una relación matemática sencilla entre sus longitudes de onda.

EXPLICACIÓN INTEGRADORA

El siguiente mapa conceptual te muestra los conocimientos más relevantes que viste en este segundo tema.



1.3 FLUORESCENCIA, FOSFORESCENCIA Y LASER

¿Cómo está constituido un foco?

¿Cómo se conforma una lámpara incandescente?

¿Cuál es el mecanismo mediante el cual funciona una lámpara fluorescente?

Al observar los cuerpos que nos rodean, comprobamos que algunos emiten luz, es decir, son fuentes luminosas, como el Sol, una lámpara encendida, la flama de una vela, etc; en tanto otros no son luminosas, pero pueden verse porque su luz proviene de alguna fuente, de las cuales nos interesa aquella que sirve para tener iluminación artificial en el interior de nuestros hogares.

Lámpara incandescente

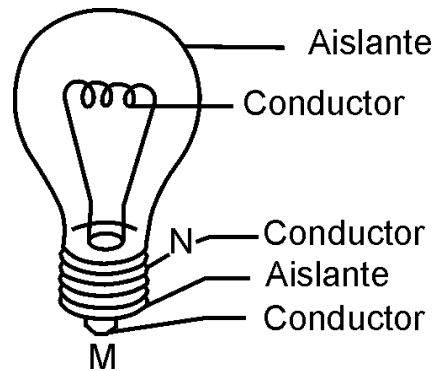


Figura 23. Lámpara incandescente o de foco.

La *lámpara incandescente* se constituye de una bombilla de vidrio, en cuyo interior hay un filamento de alambre de tungsteno en forma de hélice con dos polos (M y N), aislados uno del otro (*Figura 23*).

Lámpara fluorescente

Por otra parte, las *lámparas fluorescentes* comunes constan de un tubo cilíndrico de vidrio con electrodos en cada uno de sus extremos (*Figura 24*).

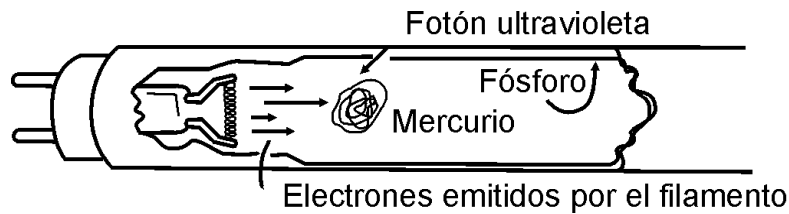


Figura 24. Tubo fluorescente.

Al igual que en el tubo de neón de los anuncios luminosos, en las lámparas fluorescentes los electrodos emiten electrones que se obligan a vibrar a altas velocidades, de un lado a otro dentro del tubo, debido al voltaje de corriente alterna (C.A.). El tubo está lleno con vapor de mercurio a muy baja presión, el cual se excita por el impacto de los electrones de alta velocidad.

Las lámparas fluorescentes caseras producen una descarga a través de vapor de mercurio, lo que proporciona luz ultravioleta, más una pequeña cantidad de luz visible. La radiación ultravioleta incide en el interior del tubo revestido con mezclas de compuestos químicos que contienen fósforo, las cuales son fluorescentes, es decir, emiten luz visible al ser excitadas por la radiación ultravioleta.

En consecuencia, la luz útil de una lámpara fluorescente no es la radiación directa del gas conductor, sino la radiación secundaria de las sustancias químicas de la superficie interior del tubo de vidrio. Éstas pueden fabricarse para emitir cualquier color, según el tipo de fósforo escogido.

Fluorescencia

Con base en la relación $E \propto f$, vemos que la luz de alta frecuencia, como la radiación ultravioleta que se encuentra más allá de la región visible en el espectro electromagnético, entrega mucho más energía por fotón que la luz de baja frecuencia; muchas sustancias se excitan al iluminarse con luz ultravioleta.

*Aquellos materiales que excita la luz ultravioleta emiten luz visible al desexcitarse, acción que se llama **fluorescencia**.* En ellos el fotón de luz ultravioleta choca contra uno de los átomos y proporciona su energía en dos partes: una produce calor, lo cual incrementa la energía cinética del átomo completo, en tanto, otra se transforma en excitación, lo cual provoca que el electrón pase a un estado de energía que se libera como un fotón de luz. Mas como este fotón tiene sólo parte de la energía del fotón ultravioleta, su frecuencia es más baja en la parte visible del espectro.

En ciertos cuerpos luminosos, cuando un electrón se impulsa hacia un nivel más alto de energía mediante un fotón de luz ultravioleta, regresa a su órbita estable en varias etapas, y como la energía liberada del fotón en cada paso es menor que la energía total que se encontraba originalmente en el fotón ultravioleta, se emiten fotones de frecuencia más baja. Por lo tanto, la luz ultravioleta que llega a uno de estos materiales lo puede hacer brillar con un rojo, un amarillo globales o cualquier color que sea característico del cuerpo. Dentro de *las aplicaciones de la fluorescencia* tenemos el empleo de pigmentos fluorescentes en las pinturas y en las fibras textiles, para hacerlas brillar al ser bombardeadas con los fotones ultravioleta provenientes de la luz del Sol.

Fosforescencia

Ciertos cristales, así como algunas moléculas orgánicas de alto peso molecular, al excitarse permanecen en un estado de excitación durante un lapso prolongado. *Sus electrones son llevados hacia órbitas de niveles más altos, donde quedan pegados y como resultado se obtiene un retraso en el proceso de excitación y en el de desexcitación, por consiguiente, los cuerpos con esta propiedad son fosforescentes.*

El fósforo es un buen ejemplo de lo anterior, pues *las aplicaciones de la fosforescencia* se observan en las carátulas luminosas de los relojes y en otros objetos que se hacen brillar en la oscuridad: los átomos se excitan por la luz visible incidente, y en lugar de desexcitarse de inmediato, como lo hacen los materiales fluorescentes, gran parte de los átomos permanecen en estado de excitación, a veces durante varias horas, aunque la mayor parte se desexcita, o se apaga la luz. El cuerpo fosforescente brilla durante un tiempo, mientras millones de átomos pasan por una desexcitación gradual.

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 5

Para que puedas observar los fenómenos descritos anteriormente, haz en el laboratorio, con el apoyo del conductor de laboratorio, lo que se te pide en esta actividad:

OBJETIVO:

Observar los efectos de fluorescencia y fosforescencia a partir de la desexcitación de los electrones que componen a los materiales que utilizarás en esta práctica.

MATERIAL:

- tubo de descarga (Gas He, H, Hg)
- fuente de poder
- bobina Telsa
- espectroscopio
- trozo de alambre nicromel
- bombilla de luz incandescente de 60 ó 100 W *

* Material que debe aportar el alumno.

PROBLEMATIZACIÓN:

¿Cuál es el efecto y comportamiento de los electrones en los materiales (gases) al inducirles cargas eléctricas?.

HIPÓTESIS:

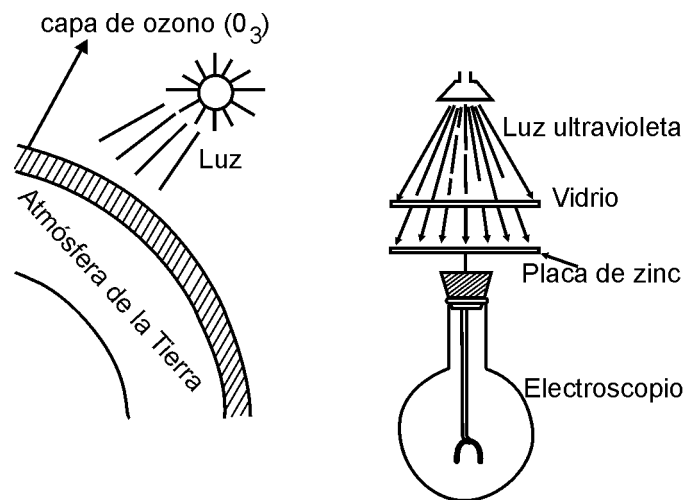


Figura 25.

PROCEDIMIENTO:

En esta práctica se muestra la analogía de la capa de ozono que cubre a la Tierra, la cual impide pasar la radiación ultravioleta, con el vidrio que no permite el paso de luz ultravioleta y, por lo tanto, no se descarga el electroscopio.

- Enciende un tubo de gas a baja presión mediante una fuente de alto voltaje (7Kv) o mediante una bobina de tesla y observa el color de la luz que emite.
- Analiza la luz del tubo empleado mediante el espectroscopio y observa el espectro de líneas que se forma.
- Demuestra que un conductor (filamento de los focos o un trozo de alambre de nicromel) por el que circula una corriente eléctrica puede emitir radiación luminosa en ciertas condiciones.
- Analiza con un espectroscopio la luz emitida por una bombilla eléctrica.
- Identifica gases con base en su espectro de emisión.
- Al descargar un electroscopio con luz ultravioleta o luz negra, demuestra que sólo se descarga cuando está cargado negativamente.

El rayo laser y sus aplicaciones

En algunos eventos deportivos y patrios, así como en discotecas y centros nocturnos se utiliza el rayo laser para formar figuras y montar espectáculos, pero te has preguntado...

¿Cómo se produce un rayo laser?,
¿qué significa la palabra *laser*?,
¿en qué se diferencia un rayo de luz ordinario y otro de laser?,
¿cuáles son algunas de sus aplicaciones?

Charles H. Towns construyó el primer amplificador de moléculas excitadas, como elemento activo donde se usaba amoníaco, técnica que al desarrollarse llevó a la construcción de los aparatos **maser** (*amplificación de microondas por emisión estimulada de la radiación*) y **laser** (*amplificación de la luz por emisión estimulada de la radiación*), el cual genera haces de intensidad y monocromaticidad sin precedentes y que, además, están paralelizados en un grado enorme. El laser ha revolucionado la óptica no lineal y desarrollado nuevas técnicas como la *holografía*.

Pero vayamos al origen del descubrimiento del laser. En 1919, Einstein estableció en un artículo sobre radiación del cuerpo negro lo siguiente:

- Los átomos en estado excitado pueden regresar a su estado base por emisión espontánea de fotones de energía correspondiente.
- Los átomos de menor energía pueden ser elevados a un estado de mayor energía por absorción de fotones de energía apropiada.

- La emisión de un fotón por átomos en estado excitado se puede incrementar o estimular, cuando un átomo excitado es golpeado por un cuanto de luz de la misma energía.

Con base en lo anterior podemos concluir que los primeros dos tipos de transiciones son aquellos que producen los espectros de absorción y de emisión, siendo la emisión estimulada la que nos interesa.

La **emisión estimulada** significa que a la llegada en mayor número de cuantos, procedentes de átomos que están en cierto estado excitado, el tiempo medio de estos átomos ha disminuido. Ya que el fotón estimulador no se absorbe por este proceso, habrá dos fotones que dejen el átomo (Figura 26).

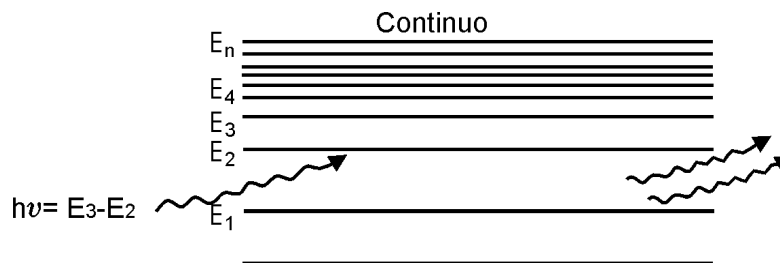


Figura 26.

Un fotón de energía $h\nu = E_3 - E_2$ estimulará la emisión de un segundo fotón de la misma energía. Por consiguiente, ambos fotones viajarán en la misma dirección del fotón original y serán coherentes por estar en fase y poseer la misma frecuencia. Estos dos fotones pueden estimular otros átomos excitados y eventualmente producir una avalancha de cuantos de luz concentrados y coherentes. Si se puede mantener un número suficiente de átomos en el estado apropiado y encontrar cuantos de frecuencia apropiada para producir la emisión estimulada en un tiempo muy corto, se producirá una ráfaga de cuantos.

En 1952, Charles H. Towns demostró, por primera vez, la posibilidad de producir y mantener un mayor número de átomos en estado excitado como en el estado base. A esto se le conoce como *inversión de población* y el primer aparato para producirlo consistía en un dispositivo de microondas llamado *maser*.

Los dos métodos más comunes para invertir la población del estado base al estado excitado son el de descarga eléctrica en un tubo de descarga gaseosa y el de una lámpara de destellos, que producen una fuente muy importante de luz sobre un cristal que puede ser de rubí o de neodimio. Este proceso también se conoce como *bombeo óptico*, y en la descarga produce átomos en estados diferentes, algunos densamente poblados, que cederán fotones de frecuencia apropiada para la acción laser. En el caso de la lámpara de destello se producen fotones en un rango continuo de frecuencias, entre los que hay fotones de frecuencias apropiadas.

El *laser de rubí* es el más antiguo. En éste se suministra una gran cantidad de energía por lámpara de destellos, que a su vez produce una potente emisión de luz muy intensa alrededor del cristal, causando la acción del laser, proceso que se repite con cada descarga que llega de la lámpara. A los laser de rubí se les conoce *como laser punzantes*, ya que producen una potente radiación laser durante intervalos muy cortos.

Los *laser gaseosos*, como el de He-Ne (Helio – Neon) o el de CO₂ (dióxido de carbono), pueden bombardearse continuamente a estados excitados, por lo que se les conoce *como laser de onda continua*.

El elemento activo del laser de rubí es una varilla cilíndrica de rubí rosado, de unos cuantos centímetros de largo, contaminado con átomos de plomo (Pb) como impureza; los extremos de la varilla se pulen ópticamente para que sean por completo lisos y perpendiculares al eje del cilindro, sus extremos están plateados, uno de ellos en forma intensa, y el otro ligeramente para que actúen como espejos planos; alrededor de la varilla de rubí se encuentra enrollado un tubo de gas de descargas de alta potencia, el cual produce intensos destellos de luz cuya duración es de milisegundos. Cuando la luz procedente del tubo de gas de descargas llega a la varilla de rubí, algunos de los átomos de ésta se excitan hasta un nivel de mayor energía, y al regresar al estado básico emiten fotones de luz roja y la varilla se ilumina suavemente. Al aumentar la intensidad de la luz del tubo de descargas en forma gradual, al llegar a cierto umbral del nivel de intensidad, la actuación del laser se inicia: un rayo delgado de luz roja emerge de la cara semiplateada de la varilla. Éste es de ondas paralelas, altamente coherentes sobre el plano del frente de onda y restringido a una gama muy angosta de frecuencias.

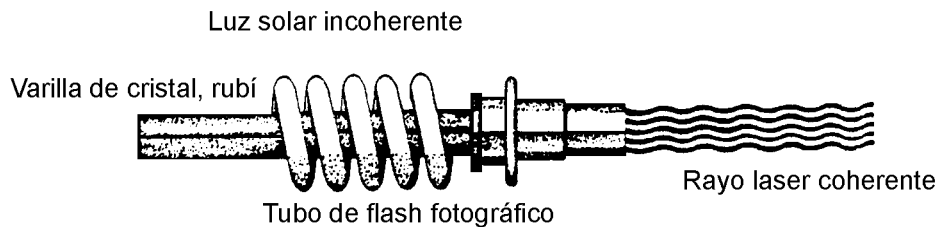


Figura 27. Rayo de laser de rubí.

¿Cuál es la diferencia entre el rayo laser y la luz solar?

Como ya sabes, la luz del Sol o la luz de una lámpara es incoherente porque emite fotones de muchas frecuencias y en muchas fases de vibración. Esta luz incoherente es caótica, lo cual ocasiona que un haz de luz incoherente se disemine después de recorrer cierta distancia, haciéndose cada vez más dispersa y menos intensa al aumentar la distancia que ha recorrido.

Por el contrario, la **luz laser** se caracteriza por ser coherente, es decir, emite un haz de fotones de la misma frecuencia, la misma fase y la misma dirección, de manera que todos los fotones viajan del mismo modo. Por consiguiente, tenemos un haz de luz coherente, cuya característica es no diseminarse ni ser difuso en forma notable.

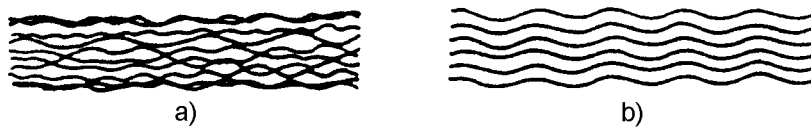


Figura 28. a) La luz blanca incoherente contiene: ondas de muchas frecuencias y longitudes de onda fuera de fase unas con otras. b) La luz laser coherente: las ondas son idénticas y están en fase.

La propiedades de la luz emitida por un aparato de rayos laser tiene un sinnúmero de aplicaciones, por ejemplo, en comunicaciones, donde debido a que ésta tiene una longitud de onda supercorta, existe la posibilidad de usarse como un transmisor de comunicaciones, capaz de llevar gran cantidad de mensajes en una banda de frecuencia muy estrecha.

En fotometría, el laser se aplica en la medición de grandes distancias y ángulos por su gran coherencia espacial y temporal. En este caso el laser se utiliza en forma análoga a un sonar. También se le usa para alinear piezas de estructuras que requieren alta precisión.

Debido a que un haz de rayo laser puede mantenerse sin mucha dispersión a través de grandes distancias, se le utiliza como referencia para el trazado de carreteras, excavación de túneles, dragado de canales, entre otras aplicaciones.

En la industria, el laser se utiliza como una herramienta muy valiosa en el control de calidad de sistemas ópticos, pues la densidad de energía que puede lograrse, enfocando un haz de laser, ha permitido perforar y soldar materiales muy duros; también se usa en microsoldadura en electrónica.

Dentro de las ciencias biológicas, el laser de rubí se usa en Medicina para practicar cirugía del ojo, principalmente para los casos de desprendimiento de retina, sobre la cual produce pequeñas quemaduras que al cicatrizar hacen las veces de costura.

Actualmente hay aparatos que utilizan el laser para detectar y medir los contaminantes en los gases de escape, para detectar huellas digitales, en las cajas registradoras de los supermercados que leen los precios mediante un código de barras, en la grabación y reproducción de discos compactos, entre otros usos.

Después del invento del rayo laser, en 1958, se ha introducido una nueva tecnología cuyas expectativas sólo hemos empezado a descubrir, pues el futuro del laser parece no tener fin.

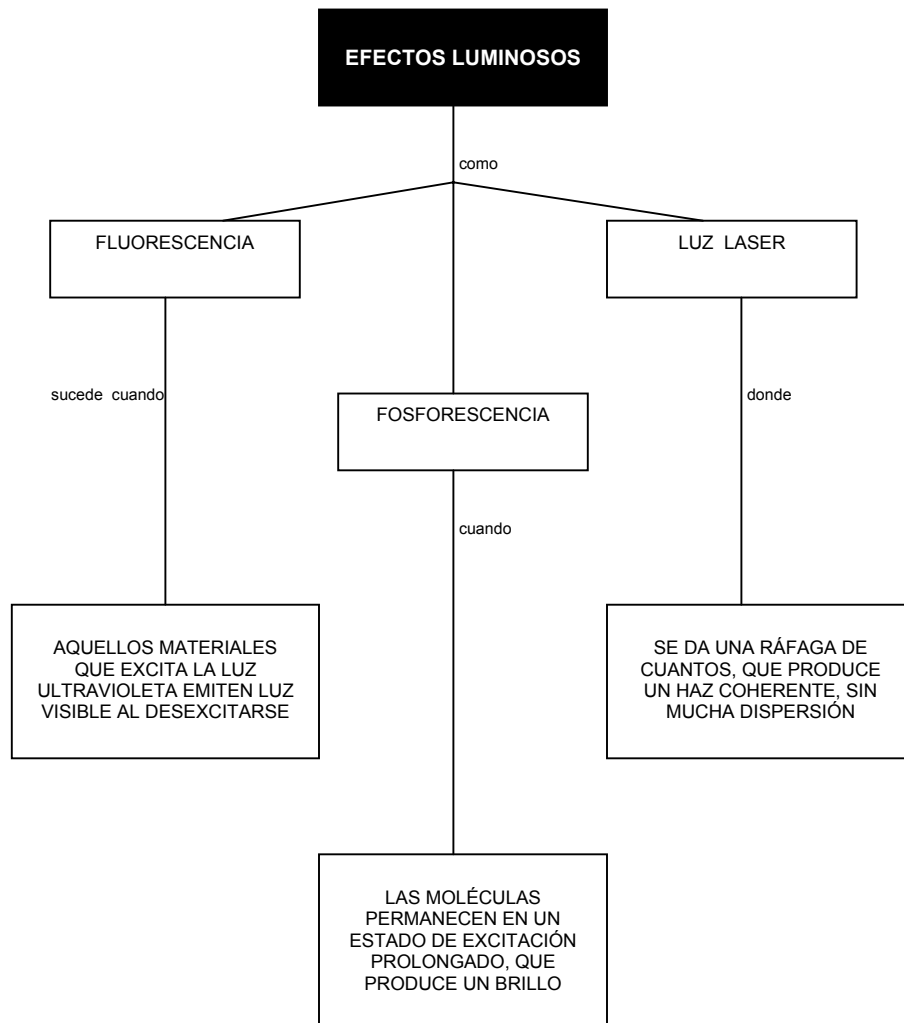
ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

Para que apliques lo que has aprendido, completa el siguiente cuadro, anotando en forma resumida los conceptos señalados.

FORMA DE EMITIR LUZ	EXPLICACIÓN RESUMIDA	EJEMPLOS DE APLICACIÓN
INCANDESCENCIA		
FLUORESCENCIA		
FOSFORESCENCIA		
LASER		

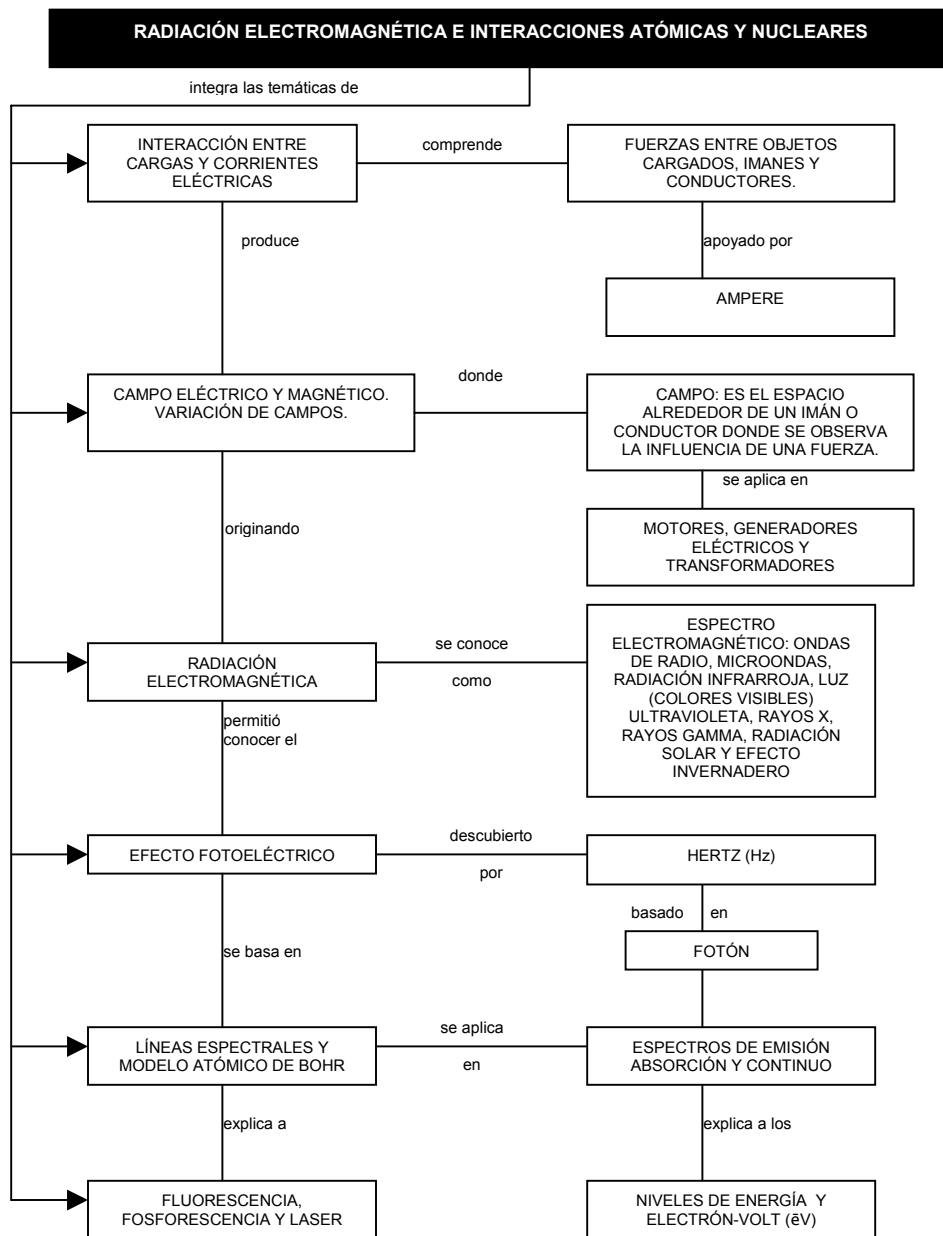
EXPLICACIÓN INTEGRADORA

Enseguida te presentamos un esquema que incluye los conceptos centrales del tema. Analízalo para que reconozcas las similitudes y diferencias de dichos conceptos.



RECAPITULACIÓN

A continuación te presentamos un esquema que te permitirá reconocer la relación que existe entre los temas de este capítulo. Analízalo detenidamente:



ACTIVIDADES INTEGRALES

Para que apliques lo que has aprendido en este capítulo, realiza lo que se te pide a continuación.

I. Relaciona ambas columnas, colocando dentro del paréntesis la letra que corresponda a cada inciso:

- | | | |
|---|-----|---------------------------|
| a) Región sobre la que una carga eléctrica o un imán ejercen una fuerza. | () | Efecto fotoeléctrico |
| b) Ampliación de la luz por emisión estimulada de la radiación. | () | Fotón |
| c) Posibilidad de producir y mantener un mayor número de átomos en estados excitados, como el estado basal. | () | Campo |
| d) Corpúsculo de luz, o paquete básico de radiación electromagnética; también se le llama así a los cuantos de luz. | () | Laser |
| e) Intervalo de frecuencia a las que puede propagarse la radiación electromagnética. Las frecuencias más bajas están asociadas con las ondas de radio, hasta los rayos gamma. | () | Espectro Electromagnético |
| f) Emisión de electrones por una superficie metálica cuando se hace incidir luz sobre ella. | | |

II. Desarrolla las siguientes actividades:

1. Investiga qué otras aplicaciones tiene el rayo laser, además de las mencionadas en el capítulo y describe su funcionamiento.
2. Investiga qué consecuencias ha tenido la contaminación ambiental sobre la radiación solar que llega a la Tierra.
3. Calcula la energía de un fotón de 450 nm de longitud de onda. Expresa tus resultados en joules (J) y en electrón-volt (eV), sabiendo que:

$$\begin{aligned}\lambda &= 450 \text{ nm} \\ h &= 6.62 \times 10^{-34} \text{ J/s} \\ c &= 3 \times 10^8 \text{ m/s}\end{aligned}$$

AUTOEVALUACIÓN

A continuación te presentamos una guía de las respuestas que debiste haber obtenido en las Actividades Integrales, para que puedas verificar tus aprendizajes.

I. f
d
a
b
e

II. En tus respuestas debes tomar en cuenta lo que aparece enseguida.

1. Consulta la siguiente bibliografía:

Aboites, Vicente. *El laser*. La Ciencia desde México, FCE-SEP-Caballito-Conacyt, México, 1991.

Hewitt, Paul G. Conceptos de Física. Limusa- Noriega, México, 1992.

2. Debes destacar la función de la capa de ozono, el tipo de radiación solar, su ubicación en el espectro electromagnético y los daños que ocasionan a los seres humanos y al ambiente.

3. Debes utilizar la siguiente expresión:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Considera que algunos múltiplos del metro son:

milímetro: mm = 10^{-3} m
 micrómetro: μm = 10^{-6} m
 nanómetro: nm = 10^{-9} m

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

1nm – 10^{-9} m
 450nm – x

$$E = \frac{6.62 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} (3 \times 10^8 \text{ m/s})}{4.5 \times 10^{-6} \text{ m}} = \frac{1.986 \times 10^{-16} \text{ J}}{4.5 \times 10^{-6}}$$

$$E = 4.4133 \times 10^{-20} \text{ J}$$

$$x = \frac{450 \text{ nm} (10^{-9} \text{ m})}{\text{nm}}$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$x = 4.41 \times 10^{-20} \text{ J}$$

$$x = 4.5 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$x = \frac{1 \text{ eV} (4.41 \times 10^{-20} \text{ J})}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

$$x = 2.75 \times 10^{-11} \text{ eV}$$

CAPÍTULO 2

INTERACCIONES ATÓMICAS Y NUCLEARES

2.1 DESCUBRIMIENTO DE LA RADIOACTIVIDAD

- 2.1.1 Antecedentes
- 2.1.2 Cámara de Niebla de Wilson
- 2.1.3 El Núcleo Atómico y el Descubrimiento de Otras Partículas
- 2.1.4 Descubrimiento del Neutrón
- 2.1.5 El Positrón

2.2 TEORÍA DE LA DESINTEGRACIÓN RADIOACTIVA

- 2.2.1 Fenómeno de Desintegración
- 2.2.2 Ley de Desplazamiento de Fajans-Soddy-Rusell
- 2.2.3 Vida Media
- 2.2.4 Isótopos
- 2.2.5 Radioisótopos

2.3 FISIÓN NUCLEAR

- 2.3.1 Otros Aspectos de la Fisión
- 2.3.2 Aplicaciones de la Fisión Nuclear

2.4 FUSIÓN NUCLEAR

- 2.4.1 Reacciones Termonucleares o de Fusión
- 2.4.2 Reacciones de Fusión
- 2.4.3 Problemas Técnicos

2.5 RELACIÓN DE LA FÍSICA CON OTRAS CIENCIAS

PROPÓSITO

Antes de iniciar el estudio de este capítulo es importante que contemples las siguientes preguntas, ya que con base en ellas podrás organizar tu estudio.

¿Qué voy a aprender?

Que los materiales radiactivos se degradan con el paso del tiempo de acuerdo con su nivel de “actividad”, misma que les permite ser utilizados como fuente de energía. Así como el concepto de energía, que siempre está presente al estudiar los diferentes sistemas físicos que nos rodean. Todos estos conocimientos estructuran a la Física como disciplina.

¿Cómo lo voy a lograr?

Descubriendo, mediante analogías, el comportamiento probabilístico de los materiales radiactivos y recapitulando el concepto de energía, considerando sus formas y sus cambios, de la manera en que se han expuesto en tus cursos de Física I, II y III.

¿Para qué me va a servir?

Para conocer algunas de las aplicaciones de los isótopos radiactivos, establecer el concepto de vida media de los materiales radiactivos y comprender a la Física como una disciplina con diversidad de actividades y aplicaciones en diferentes campos.

CAPÍTULO 2

INTERACCIONES ATÓMICAS Y NUCLEARES

2.1 DESCUBRIMIENTO DE LA RADIOACTIVIDAD

2.1.1 ANTECEDENTES

¿Conoces a alguien que le hayan tomado radiografías con rayos X?
¿Cómo funcionan los aparatos de rayos X? ¿Cómo se logran fotografiar
los huesos a través de la carne?

Veamos enseguida porqué estas preguntas se relacionan con el descubrimiento de la radiactividad.

A finales del siglo XIX, entre 1895 y 1897, la Física progresó considerablemente con base en cuatro grandes descubrimientos: *los rayos X, el electrón, el efecto Zeeman y la radiactividad*, que se relacionaban con formas de transmisión y transformación de la energía, en aquellos años desconocidas. Mediante estos descubrimientos se supo que era posible transmitir energía de forma visible y sin necesidad de un medio material, y que la cantidad de energía factible de obtener sobrepasaba las magnitudes de energía que se producían en ese momento en la Tierra, mediante medios mecánicos o químicos. Así, preguntas a las que se les dieron respuesta son: ¿cómo se puede liberar gran cantidad de energía de los núcleos atómicos? y ¿qué beneficios aportaría a la humanidad el descubrimiento de dicha posibilidad?

En 1895, el alemán Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) descubrió que al aplicar una tensión suficientemente alta en un tubo de rayos catódicos (*Figura 27*), como para originar una descarga en la pared del vidrio, se producía una fluorescencia, cuyo color dependía del tipo de vidrio empleado.

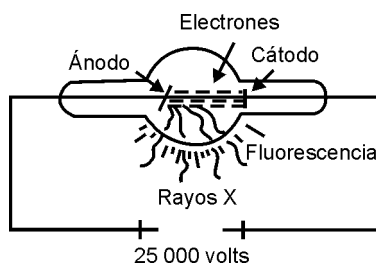


Figura 29. Obtención de los rayos X.

*A los rayos invisibles que producían fluorescencia, Röntgen los llamó **rayos X**, en virtud de su naturaleza misteriosa, y las características que observó en éstos fueron las siguientes:*

- Producían fluorescencia en determinadas sustancias.
- Atravesaban unos materiales y eran detenidos por otros.
- Podían revelar una placa fotográfica.
- Permitían fotografiar objetos ocultos, incluso los huesos de la mano.

En enero de 1896, la noticia del descubrimiento de los rayos X creó conmoción mundial. Podemos imaginar la admiración por estos rayos, ante los cuales casi todo era transparente y podía uno ver sus propios huesos, dedos sin carne pero con anillos puestos eran perfectamente visibles, lo mismo que un objeto metálico dentro de un cuerpo. Inmediatamente se advirtieron las implicaciones médicas que ello conllevaría.

En 1895, Röntgen comunicó su descubrimiento a varios investigadores, entre los cuales estaba el matemático francés Henri Poincaré, quien siempre había mostrado interés por la investigación en Física básica. Poincaré, miembro de la Académie des Sciences, en la reunión que ésta celebró el 20 de enero de 1896, mostró las primeras fotografías enviadas por Röntgen, y cuando Henri Becquerel le preguntó de qué parte del tubo surgían los rayos, respondió que al parecer era de la región opuesta al cátodo, aquella en que el gas se volvía fluorescente. Inmediatamente *Becquerel pensó en la posible relación entre los rayos X y la fluorescencia, e investigó si las sustancias fluorescentes emitían rayos X, iniciando una serie de experimentos que en poco tiempo le condujeron al descubrimiento de la radiactividad.*

En uno de sus experimentos Becquerel utilizó sal de uranio y sulfato uranílico de potasio, e informó a la academia lo siguiente:

Envolví una placa fotográfica con dos hojas de papel negro, lo suficientemente grueso como para que la placa no fuera velada por la exposición al Sol durante un día entero. Coloqué sobre el papel una capa de sustancia fosforescente y expuse todo el conjunto al Sol durante varias horas. Cuando revelé la placa fotográfica, vi en el negativo la silueta en negro de la sustancia fosforescente [...] puede intentarse el mismo experimento colocando un vidrio delgado entre la sustancia fosforescente y el papel, lo cual excluye una acción química, resultante de los vapores que pueda emanar la sustancia cuando se calienta por los rayos del Sol. En consecuencia, podemos deducir de estos experimentos que la sustancia fosforescente en cuestión emite radiaciones que atraviesan papel opaco a la luz...³

Al parecer los rayos X eran realmente emitidos por el compuesto de uranio cuando fluorecía; pero al reunirse la academia, Becquerel sabía algo más: al tratar de repetir los experimentos en días en que el Sol no apareció durante largos periodos, dejó en un cajón oscuro los objetos del experimento, junto con las muestras de la sal de uranio encima de las placas envueltas, ocurriendo lo siguiente:

Puesto que el Sol no salió durante varios días, revelé las placas fotográficas el 1 de marzo, esperando encontrar imágenes muy débiles. Todo lo contrario: las siluetas aparecieron con toda intensidad. Pensé inmediatamente que la acción podía desarrollarse en la oscuridad...⁴

Becquerel había descubierto algo importante: la sal de uranio emitía rayos capaces de atravesar el papel negro, hubiera sido o no expuesto previamente a la luz del Sol. Posteriormente, el 9 de marzo de 1896, encontró que *la radiación emitida por el uranio no sólo ennegrecía las placas fotográficas protegidas, sino que también ionizaba gases, convirtiéndolos en conductores*. A partir de ese momento fue posible calcular la "actividad" de una muestra, midiendo simplemente la ionización que producía. El instrumento utilizado para ello fue un tosco electroscopio de hoja de oro.

En 1898, Marie Curie (1867-1934) y su esposo, el físico francés Pierre Curie (1869-1906), encontraron que el mineral de peblenda (principalmente el U_3O_8) emitía una radiactividad más pronunciada que el uranio mismo, lo que advertía la presencia de elementos más activos que éste. Finalmente, Marie Curie aisló de dicho mineral dos nuevos elementos: el polonio y el radio. Poco después descubrió el torio y el actinio y desde entonces *se han encontrado 30 elementos naturales radiactivos. También se estableció que todos los elementos químicos con número atómico mayor que 83 son radiactivos*.

³ Tomado de *Compétes-rendus de L'Académie des Sciences*, París 122, 1986, pág. 420.

⁴ Tomado de *Compétes-rendus 126*, 1086 (1896).

En la recepción del Premio Nobel de Física en 1903, Pierre Curie terminó su conferencia con las siguientes palabras:

Es concebible que el radio pueda llegar a ser muy peligroso en manos criminales, y uno puede preguntarse si es conveniente para el hombre revelar los secretos naturales, si está preparado para beneficiarse con ello o si este conocimiento va en detrimento suyo. El ejemplo de los descubrimientos de Nobel es característico: los explosivos de gran poder han permitido que el hombre lleve a cabo trabajos admirables. Son también un medio terrible de destrucción en manos de grandes criminales, que llevan a los pueblos a la guerra. Me cuento entre aquellos que creen, lo mismo que Nobel,⁵ que la humanidad obtendrá más bien que mal de los nuevos descubrimientos.

Estas palabras son notables porque revelan su conciencia de problemas que estamos debatiendo hoy.

Poco después del descubrimiento de la radiactividad, *Ernest Rutherford y sus colaboradores encontraron que las sustancias radiactivas emitían gases, así como también tres tipos de rayos que llamó: alfa (α), beta (β), y gamma (γ)*, cada uno de los cuales mostró tener diferente capacidad de penetración en la materia. Asimismo, mediante el estudio del comportamiento de estos rayos con la acción de un campo eléctrico o uno magnético, se estableció que *los rayos alfa y beta son en realidad partículas cargadas, en tanto que los gamma son ondas electromagnéticas de frecuencia alta y longitud de onda muy corta*.

La *Figura 28* muestra un experimento similar al de Rutherford para determinar la carga eléctrica de las partículas α y β , así como también que los rayos γ no llevan carga. En éste, la separación de la radiación de una muestra radiactiva en sus componentes α , β y γ es mediante un campo eléctrico.

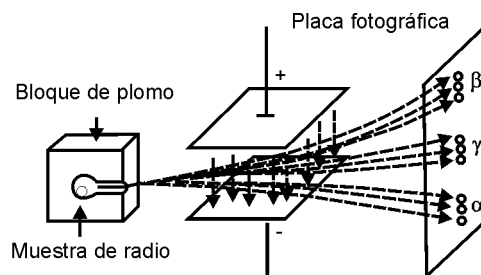


Figura 30

⁵ Tomado de SEGRE, Emilio. *De los rayos X a los quarks*. Folios Ediciones, México, 1983, págs. 110-120.

Cuando el haz de rayos emergentes, provocado por el material radiactivo, sale del bloque de plomo y pasa a través de un campo eléctrico producido por placas cargadas, la trayectoria de algunos de los rayos se inclinan hacia la placa positiva (rayos β), otros hacia la placa negativa (rayos α) y unos más no se desvían (rayos γ). El campo magnético, producto de una corriente que circula en una espira, produce el mismo efecto (Figura 29). Las líneas del campo son perpendiculares a la hoja y entran hacia ella.

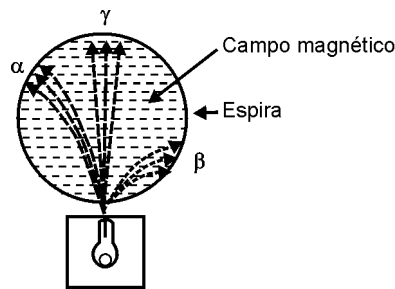


Figura 31.

Posteriormente Rutherford realizó un estudio más profundo de estas radiaciones y concluyó lo siguiente:

- **Los rayos (partículas) alfa (α^+)** son átomos de helio que han perdido sus dos electrones para formar iones ${}^4_2\text{He}^{2+}$. Estas partículas tienen carga eléctrica positiva y velocidad de 28 km/h. Por lo tanto, son de poca penetración, sin ser de mucho peligro, a menos que la fuente radiactiva esté en el interior de un organismo.
- **Los rayos (partículas) beta (β^-)** tienen una masa igual a la del electrón, es decir, son electrones que tienen carga eléctrica negativa y pueden viajar a velocidades próximas a la de la luz (3×10^8 m/s). Se originan porque el neutrón en sí mismo es inestable y cambia a un protón y a un electrón con emisión de energía. Cuando en un núcleo un neutrón se transforma de esta manera, el electrón resultante es rápidamente emitido como una partícula. Estos rayos son muy penetrantes y peligrosos.
- **Los rayos gamma (γ)** son radiaciones electromagnéticas, no tienen masa y eléctricamente son neutros. Su velocidad es la de la luz (3×10^8 m/s) y tienen gran poder de penetración. La longitud de onda de estas radiaciones es muy corta, generalmente mucho más corta que la de los rayos X. Es por ello que al usar estas radiaciones, por ejemplo en los hospitales, se deben utilizar delantales de plomo y extremar precauciones.

Los rayos α , β y γ son agentes ionizantes, es decir, penetran en la materia, sea en estado gaseoso, líquido o sólido, y al chocar contra los átomos desprenden algunos de sus electrones. Mientras más ionización produce un tipo de radiación, mayor será la energía que pierde; por lo tanto, penetrará menos en la materia. De esto se concluye que *el poder de penetración es inversamente proporcional al poder de ionización*.

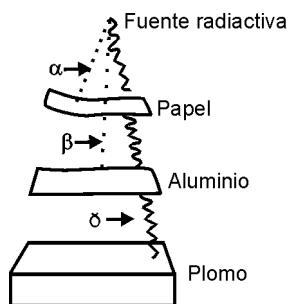


Figura 32. Materiales capaces de detener a las radiaciones α , β y γ .

2.1.2 CÁMARA DE NIEBLA DE WILSON

En 1912, el físico inglés C.T.R. Wilson (1859-1959) desarrolló una **cámara de niebla** para detectar la trayectoria de los rayos α , β y γ a simple vista, pues hasta ese momento sólo se habían observado los puntos dejados por las distintas radiaciones al llegar a una placa fotográfica, pero la trayectoria seguida realmente no se apreciaba. El principio del funcionamiento de esta cámara se basa en un conjunto de iones que deja el desplazamiento de partículas α o β ; *los iones se convierten en centros, alrededor de los cuales se condensa el vapor existente en la cámara y de esa manera el recorrido de las mismas se hace visible (Figura 31)*. La cámara consta de un recipiente de vidrio a través del cual se efectúan las observaciones, el espacio encerrado de ésta contiene aire y vapor de agua saturado, y en el interior del aparato se introduce un trozo de material radiactivo. Si primero comprimimos lentamente el vapor y posteriormente lo dejamos que se expanda rápidamente (bajando el pistón súbitamente), se enfriará por debajo del punto de rocío y se precipitará la cantidad de humedad en exceso alrededor de algún núcleo de condensación que pueda estar presente. Estos núcleos son los iones formados por las partículas α o β emitidas por la muestra.

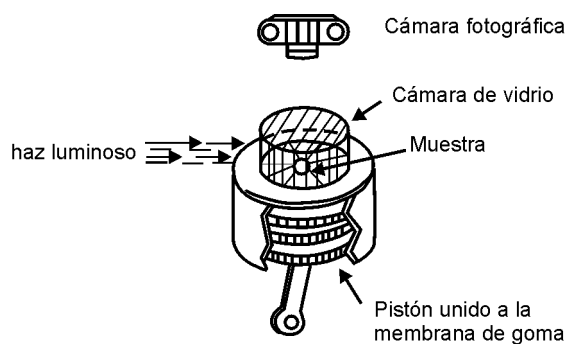


Figura 33. Cámara de niebla de Wilson.

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 6

OBJETIVO:

Observar a simple vista la trayectoria de los rayos α , β y γ , a partir del efecto que produce la cámara de Wilson.

MATERIAL:

- un dispositivo llamado “cámara de niebla de Wilson” *
- un cilindro de plexiglás o una botella de plástico (refresco de 1 litro)*
- un trozo de fieltro*

SUSTANCIAS:

- 100 ml de alcohol etílico
- 200 g de monóxido de carbono (CO) (hielo seco)

* Material que debe aportar el estudiante.

PROBLEMATIZACIÓN:

¿Cuáles son las diferencias de las trayectorias de los rayos α , β y γ ?

HIPÓTESIS:

PROCEDIMIENTO:

Para construir una cámara de niebla elemental (*Figura 32*) se debe tener un cilindro de plexiglás o botella de refresco, cubierto con un disco de fieltro empapado con alcohol. El cilindro se apoya sobre un lecho de “hielo seco” (monóxido de carbono (CO)), el cual es un eficaz agente frigorífico, que al absorber calor se transforma en anhídrido carbónico. El alcohol evaporado desciende desde el fieltro, encuentra capas de aire cada vez más frías y se sobresatura. De este modo, se obtiene una zona permanente de trabajo en la que dominan las condiciones de una cámara de niebla de Wilson.



Figura 34. Cámara de niebla elemental.

¿Qué diferencias se observan entre los rayos alfa y los beta?

De las fotografías que se obtienen al experimentar con la cámara de niebla de Wilson se logra observar una serie de trazos rectos, gruesos, de partículas α fuertemente ionizantes, lo mismo que finas trayectorias tortuosas dejadas por los electrones o partículas β , que poseen menor poder de ionización (*Figura 33*).

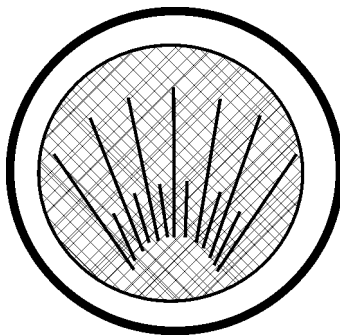


Figura 35. Cámara de niebla con dos clases de trazos dejados por las partículas α , unas más largas e intensas porque corresponden a partículas con más energía.

Las huellas de las partículas α individuales se distinguen con facilidad y, aproximadamente, constituyen grupos de igual longitud, no así las dejadas por las partículas β , que varían en longitud. Por otra parte, aunque los rayos γ también producen ionización en el aire, esto no ocurre mediante un proceso directo sino de una manera indirecta, mediante los electrones que los rayos γ desprenden. En la cámara de niebla sólo es posible ver las huellas de partículas secundarias, generadas por los electrones, pues las huellas mismas de los rayos γ no poseen carga y, por lo tanto, no pueden ser núcleos de condensación en sí mismos.

2.1.3 EL NÚCLEO ATÓMICO Y EL DESCUBRIMIENTO DE OTRAS PARTÍCULAS

Los avances científicos que contribuyeron al conocimiento del núcleo atómico, en orden cronológico fueron:

- El descubrimiento de la radiactividad por Henri Becquerel, en marzo de 1896.
- El descubrimiento del electrón, en 1897, por el científico inglés J. J. Thomson.

Pero quien dio el paso decisivo fue el científico inglés Ernest Rutheford, en 1911, al formular la hipótesis de que toda carga positiva (Zw) y la masa se concentraban en un pequeño volumen, *en un centro al que llamó **núcleo**. Éste estaba rodeado por Z electrones, que giraban alrededor de él. La atracción electrostática entre el núcleo de carga positiva (sitio en el que se encuentran los **protones**) y los electrones de carga negativa, mantenían unido al átomo (con esto demostró que la materia es eléctricamente neutra).*

El número Z , característico de la naturaleza química del blanco, se llamó número atómico porque representa la carga eléctrica del núcleo, medida en unidades iguales a la carga del electrón, pero de signo contrario.

La carga del electrón es igual a: -1.6×10^{-19} coulombs.
 La carga eléctrica del protón es igual: $+1.6 \times 10^{-19}$ coulombs.

A cada elemento químico se le podía asociar un número entero Z , que también expresa los electrones que orbitan.

En 1929, se pensaba que la Física del futuro residía en la posibilidad de analizar el núcleo interno del átomo y se consideraba que el núcleo atómico de los elementos químicos estaba compuesto de protones o núcleos de hidrógeno y de electrones. Posteriormente se demostró que en el núcleo atómico no hay electrones libres sino que éstos rodean al núcleo y giran alrededor de él.

Sin embargo, en la combinación de varios protones, por ejemplo, cuatro para formar el átomo de helio, la masa del compuesto es ligeramente menor que la suma de las masas de los cuatro protones. Esta disminución se denomina *defecto de masa del núcleo*.*

Según lo exige la teoría de la relatividad, esta disminución de la masa debe acompañarse por la *liberación de una enorme cantidad de energía*. En estos fenómenos nucleares uno podría *transformar materia en energía y viceversa*, a razón de 25 millones de KWh por cada gramo de materia transformada.

2.1.4 DESCUBRIMIENTO DEL NEUTRÓN

En 1928, Walther Bothe (1892-1957) y su alumno H. Becker dieron el primer paso hacia el descubrimiento del neutrón, al bombardear berilio con partículas de polonio, y mediante métodos eléctricos de conteo descubrieron una radiación penetrante que interpretaron como rayos γ . Al tratar de medir su coeficiente de absorción, para estimar su energía y ampliar sus observaciones al litio (Li) y al boro (B), concluyeron que los rayos γ observados tenían más energía que las partículas α incidentes. Por consiguiente, según ellos, esta energía tenía que provenir de la desintegración nuclear.

Fue en 1932 que los científicos franceses Irene Curie y su esposo Frédéric Joliot decidieron utilizar una muestra excepcionalmente poderosa de polonio para estudiar la radiación penetrante de Bothe: observaron mediante una cámara de ionización conectada a un electrómetro, que la radiación era capaz de expeler protones de una capa de parafina.

James Chadwick (1891-1974) repitió los experimentos de los Joliot Curie, utilizando como fuente polonio (Po) con berilio (Be), pero hizo chocar la radiación emergente no sólo con hidrógeno sino también con helio (He) y nitrógeno (N). Al comparar los retrocesos, demostró que *la radiación contenía un componente neutral cuya masa era aproximada a la del protón, la denominó neutrón* e hizo público el resultado mediante una carta que envió a *Nature* el 17 de febrero de 1932, fecha desde la cual *se consideró al núcleo atómico compuesto por protones y neutrones*; y según esta teoría el núcleo del nitrógeno de masa 14 contiene siete protones y siete neutrones. El modelo nuclear

* Puedes consultar la explicación sobre el defecto de masa del núcleo que aparece en el Fascículo 1 (Capítulo 2) de Física II.

basado en la composición neutrónica-protónica es aceptado universalmente en la actualidad. Asimismo, el descubrimiento del neutrón marcó el inicio de la Física nuclear, ya que éste será la fuente de todas las aplicaciones industriales de esta disciplina.

Pero, ¿estas partículas son las únicas que podemos encontrar en el átomo o puede haber más?

2.1.5 EL POSITRÓN

En 1928, Paul M. Dirac predijo que debería encontrarse en la materia *una partícula análoga al electrón pero de carga positiva, es decir, un positrón*. Fue en 1932 que Carl Anderson, mientras estudiaba los rayos cósmicos, detectó en la cámara de Wilson una vía de niebla que sólo debía haberse producido por una partícula cargada positivamente y de masa muy pequeña. Atribuyó esta ruta al paso del positrón, conclusión confirmada por otros investigadores, quedando definitivamente establecida la existencia de estas partículas.

*Aunque la masa del **positrón** es la misma que la del electrón, y su carga es igual en magnitud pero de signo opuesto, su **vida media** es muy breve en comparación al electrón, que es estable.* Al salir el positrón de un núcleo, pierde su energía cinética rápidamente, en unos 10^{-10} segundos, y al combinarse con un electrón se aniquilan ambas partículas. Para compensar la masa desaparecida se forman dos cuantos de radiación X, cuya energía total es igual a la masa desaparecida según la relación:

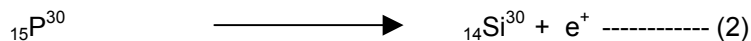
$$E \text{ liberada} = (\Delta m)c^2$$

Existen algunos métodos disponibles en la actualidad para producir positrones; por ejemplo, cuando se bombardea el berilio, magnesio o aluminio, con partículas α , estos elementos se vuelven artificialmente radiactivos y emiten positrones. En cada caso el *proceso comprende dos reacciones nucleares consecutivas*, la primera de las cuales es *la formación de un elemento radiactivo*, en tanto la segunda es *la emisión del positrón*.

Para el aluminio se cumple:



Para el fósforo se cumple:



En estas ecuaciones e^+ es el símbolo para el positrón, mientras que n lo es del neutrón.

De acuerdo con la ecuación (1), el aluminio con una masa de 27 y carga de 13 reacciona con una partícula α , de masa 4 y número atómico 2, para formar fósforo de masa 30 y carga 15, y un neutrón de masa 1 y de carga cero. La ecuación (2) establece que el fósforo es radiactivo y se descompone para dar un positrón y silicio de masa 30 y número atómico 14.

Reacciones análogas resultan del bombardeo del nitrógeno, flúor, sodio, fósforo y potasio con partículas α , del bombardeo de diversos elementos con protones o neutrones; o bien, de la interacción del plomo con los rayos γ .

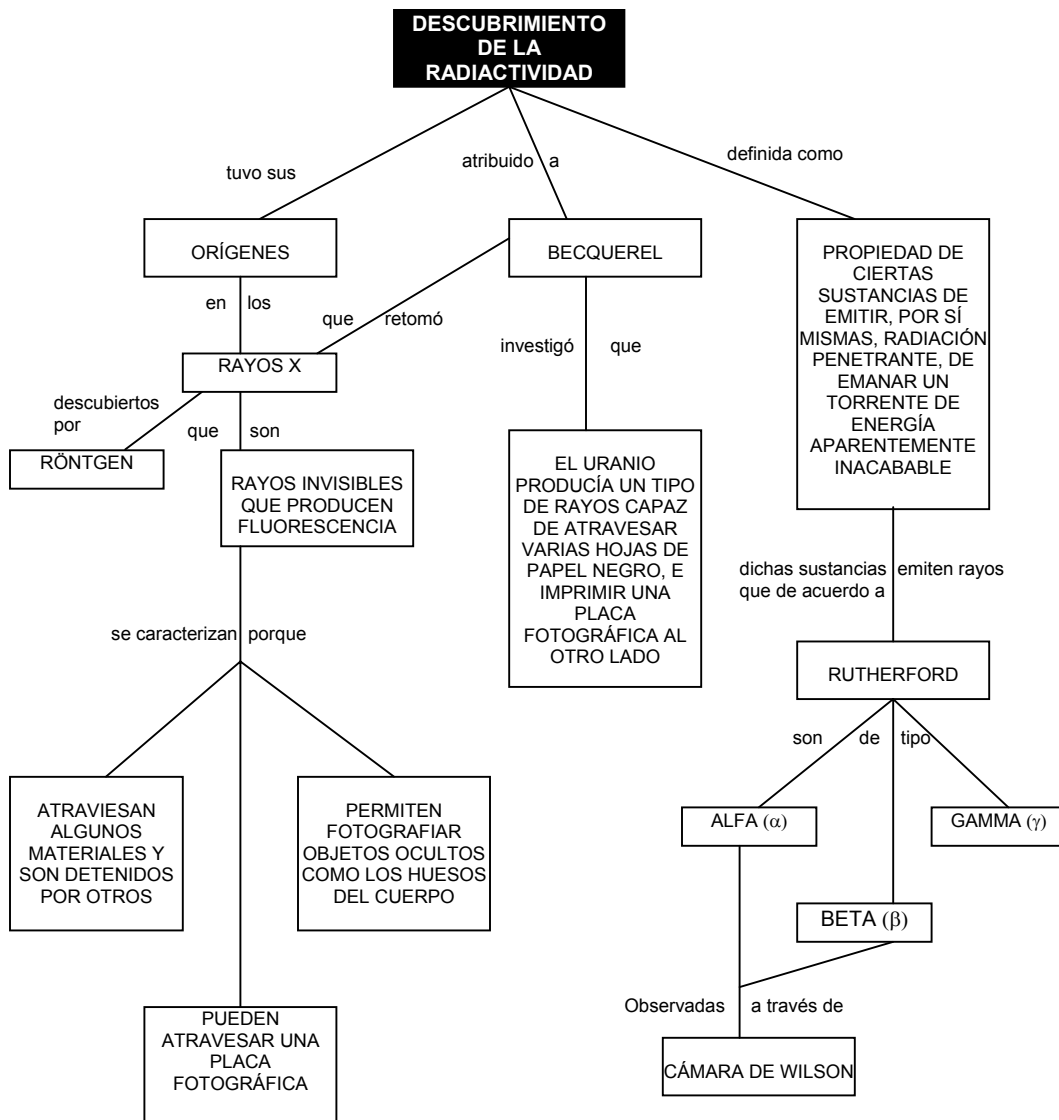
ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

Para que apliques lo aprendido en este tema, completa el siguiente cuadro, anotando las características que se piden en cada concepto enlistado.

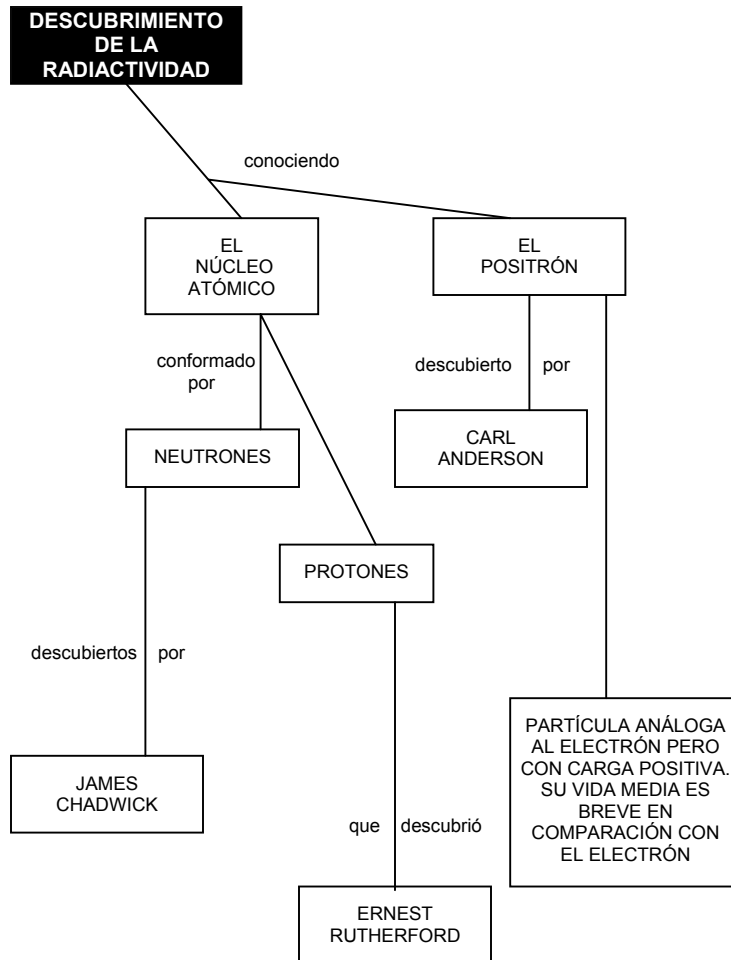
Concepto	Año de descubrimiento	Científico que lo descubre	Resumen experimental	Aplicación
RAYOS X				
RADIOACTIVIDAD				
ELECTRÓN				
RAYOS α				
RAYOS β				
RAYOS γ				
CÁMARA DE NIEBLA DE WILSON				
PROTÓN				
NEUTRÓN				
POSITRÓN				

EXPLICACIÓN INTEGRADORA

Revisa el siguiente mapa conceptual* para que reconozcas los elementos más importantes que se relacionan con el descubrimiento de la radiactividad.



* La última ramificación del mapa continúa en la siguiente página.



2.2 TEORÍA DE LA DESINTEGRACIÓN RADIATIVA

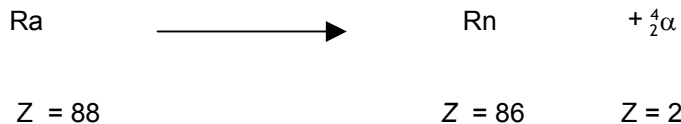
Rutherford y otros científicos concluyeron que *"los átomos de una sustancia radiactiva están sujetos a una **desintegración espontánea**", es decir, los núcleos de los elementos radiactivos son inestables y se descomponen espontáneamente con emisión de una partícula α o β , formándose un nuevo elemento con propiedades físicas y químicas diferentes*. Sin embargo, esta nueva sustancia es igualmente inestable y experimenta una transformación con la emisión de las radiaciones α , β y γ .

De acuerdo con lo anterior, los átomos de algunos elementos están sujetos a la desintegración espontánea, acompañada con *emisión de grandes cantidades de energía*, en comparación con la cantidad de energía que se libera en las reacciones químicas ordinarias.

Después del descubrimiento del núcleo atómico quedó claro que éste sufre cambios durante las transformaciones radiactivas, pues no hay partículas α en la nube electrónica, y una disminución en una unidad del número de electrones de la nube electrónica convierte al átomo en un ion y no en un elemento químico nuevo. El lanzamiento de un electrón desde el núcleo significa un cambio en la carga eléctrica del mismo (aumenta) en una unidad. En cambio, en la *radiactividad* es la transformación espontánea de unos átomos en otros, acompañada de la emisión de diferentes partículas (α o β).

2.2.1 FENÓMENO DE DESINTEGRACIÓN

Cuando un átomo de radio emite una partícula α , tiene que perder una carga positiva de 2 y una masa igual a 4 (2 protones y dos neutrones). Esto se resume de la siguiente manera:



El radio se desintegra en un núcleo de radón emitiendo una partícula α .

¿Habrá diferencia entre desintegración y transmutación?

*Al fenómeno mediante el cual un núcleo determinado pierde su identidad original, para convertirse en un núcleo distinto, se le llama **desintegración**. En tanto, al cambio de identidad del núcleo se le nombra **transmutación**.*

En el ejemplo propuesto, el radio se ha transmutado en radón y ha emitido una partícula α . Por consiguiente, se trata de una *transmutación por desintegración espontánea*, ya que no ha habido ningún agente externo que la produzca. En este capítulo es conveniente introducir una notación para designar a los núcleos atómicos en forma abreviada:

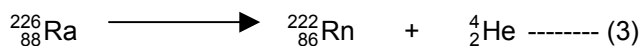
$${}^A_Z\text{E}$$

Donde E es el nombre abreviado del elemento; el subíndice a la izquierda Z , su número atómico y el supraíndice A , su número de masa atómica.

Ejemplo:

El núcleo de helio o partícula α se representa por ${}^4_2\text{He}$, ya que su masa atómica es $A = 4$ y su número atómico es $Z = 2$.

Para el radio $Z = 88$, su número de masa es $A = 226$. Al radiar una partícula α su masa se reduce a 222 y su número atómico a 86, formando un nuevo elemento: el radón, que a su vez es radiactivo. Este proceso se puede indicar mediante la siguiente ecuación.



El radio se transmuta en radón y emite partículas α , a esto se le llama: *transmutación por emisión espontánea*

Se advierte en esta ecuación que la suma total de los supraíndices es igual en ambos lados de la flecha (miembros de la ecuación, es decir, $226 = 222 + 4$), lo que cumple con la *Ley de conservación de la masa*. La misma regla se aplica para los subíndices (en el mismo caso, $88 = 86 + 2$), aunque esto es consecuencia de la *Ley de conservación de las cargas eléctricas*.

La emisión de una partícula α , provoca un cambio en el número atómico del núcleo en cuestión. Así, como el ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ se transmuta en ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ con la emisión de una partícula α , también el polonio ${}^{210}_{84}\text{Po}$ se desintegra o decae en plomo, ${}^{206}_{82}\text{Pb}$, con la emisión de una partícula α .

2.2.2 LEY DE DESPLAZAMIENTO DE FAJANS-SODDY-RUSELL

Esta ley establece que si un núcleo emite una partícula α , su número atómico disminuye en dos unidades, y el nuevo elemento desciende dos posiciones hacia la izquierda en la tabla periódica. Por otra parte, cuando el núcleo original emite una partícula β , el número atómico aumenta a uno, de ahí que el producto se desplace un lugar hacia la derecha en la tabla.

¿Se puede predecir la desintegración de un núcleo?

Este es un fenómeno al azar. Es imposible saber en qué momento un determinado núcleo se va a desintegrar; pero si hacemos mediciones, podremos calcular la probabilidad de que algún día decaigan, supongamos, 10 000 núcleos de Po.

2.2.3 VIDA MEDIA

En la teoría de la radiactividad de Soddy-Rutherford había una omisión significativa: nada decía acerca del tiempo en el cual cualquier átomo radiactivo determinado lanzaría una partícula y se transformaría con ello.

Para calcular el ritmo de desintegración, Rutherford y Soddy emplearon reglas estadísticas, en cierto sentido parecidas a las usadas por una compañía de seguros, para estimar qué tiempo vivirá una persona: como no se puede saber cuándo morirá un cliente, hacen estimaciones estadísticas y aumentando el número de sus asegurados logran cálculos aceptables; por ejemplo, estiman que toda persona de más de 50 años de edad no vivirá más allá de otros 20, aunque por otro lado se sabe que si una persona se cuida y posee una salud aceptable puede vivir más de 70 años.

De esta manera se estableció que el radio tiene una semivida de 1 600 años, lo cual significa que después de 1 600 años la mitad de una cantidad grande de átomos de radio se habrá desintegrado formando radón, que es el siguiente producto de la desintegración del uranio.

Con el objeto de darnos cuenta qué tan activa es una sustancia radiactiva, los físicos establecieron un concepto muy útil de **vida media**: *tiempo que se requiere para que hayan decaído (desintegrado) la mitad del total de núcleos que había cuando se empezó a contar el tiempo.*

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 7

OBJETIVO:

Relacionar de forma cuantitativa (estadística) el concepto de vida media a partir del tiempo de desintegración de los átomos de un material o elemento radiactivo.

MATERIAL:

- dos hojas de papel milimétrico
- 100 dados de plástico*

* Material que debe aportar el estudiante.

PROBLEMATIZACIÓN:

¿Cómo varía el número de átomos de un elemento o material radiactivo en relación al paso del tiempo?.

Puedes observar el comportamiento de la curva obtenida en esta actividad, si al graficar consideras el conjunto total de los 1 000 dados, con lo cual puedes obtener un punto donde se muestre la vida media de los dados, y el de la figura que muestra la curva de desintegración del polonio, en donde la vida media para los átomos de polonio que han decaído es $n_0/2$ (que quiere decir número original de átomos) igual a 140 días.

De acuerdo con tu gráfica, ¿cuál fue el número de tiradas para 500 dados?

Con base en el experimento del lanzamiento de dados, para construir una gráfica de nt vs t (número de tiradas contra tiradas), considera n_0 = muestra = 100 dados y t = número de tiradas.

Primera tirada:

$$n_1 = \left(\frac{5}{6}\right) n_0$$

Por ejemplo, si $n_0 = 60$ dados, después de la primera tirada se retirarán los dados que cayeron en 6 y uno esperaría que permanecieran en el juego un número cercano a $5/6$ por 60, es decir, ya sean 50, 53, 51 ó 49.

Segunda tirada:

$$n = \left(\frac{5}{6}\right) n_1 = \left(\frac{5}{6}\right) \left(\frac{5}{6} n_0\right) = \left(\frac{5}{6}\right)^2 n_0$$

Tercera tirada:

$$n_3 = \left(\frac{5}{6}\right) n_2 = \left(\frac{5}{6}\right) \left(\left(\frac{5}{6}\right)\left(\frac{5}{6}\right) n_0\right) = \left(\frac{5}{6}\right)^3 n_0$$

$$n_t = \left(\frac{5}{6}\right)^t n_0 = \left(\frac{5}{6}\right)^{-t} n_0$$

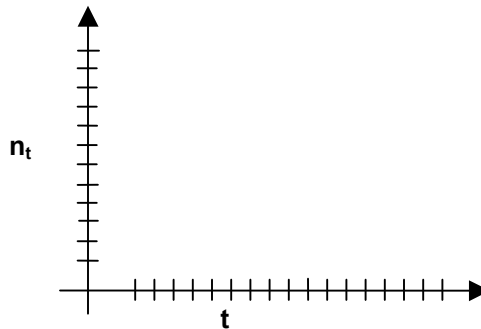
Con base en el razonamiento anterior demuestra que $n_5 = n_0 = \left(\frac{5}{6}\right)^5 n_0$

$$\therefore n_t = (1.2)^{-t} n_0 = 100 (1.2)^{-t}$$

$$n_t = 100 (1.2)^{-t}$$

Elabora en tu cuaderno la tabulación y gráfica de la experiencia anterior.

n_t	t (tiradas)



Como ya se mencionó, se necesitan 1 600 años para que la mitad de una cantidad dada de radio se convierta en radón; después de otros 1 600 años ya sólo quedará 1/4 de la cantidad de radio que había originalmente, y al cabo de 4 800 años ya sólo quedará 1/8, y así sucesivamente.

Ahora bien, ¿en cuánto tiempo se habrá desintegrado el polonio? La vida media del polonio es de 140 días, esto es, se desintegra más rápidamente que el radio. Por lo tanto, es más activo.

En general, mientras más corta sea la vida media de un elemento tanto mayor será su actividad, por lo que decaerá en menos tiempo. La vida media de un elemento estable como el ${}^4_2\text{He}$ o el ${}^1_1\text{H}$ es infinita, ya que nunca se desintegra espontáneamente.

Ejemplo:

Si tenemos una muestra radiactiva que tiene un número de átomos de polonio, conforme transcurre el tiempo (t), vamos midiendo el número de átomos de polonio que aún no han decaído, y lo llamamos $N(t)$, indicando que el decaimiento de los átomos está en función del tiempo. Al cabo de 140 días N valdrá el número original de átomos $N_0/2$, después de 280 días habrá $N_0/4$ átomos de polonio que aún no han decaído, y así sucesivamente.

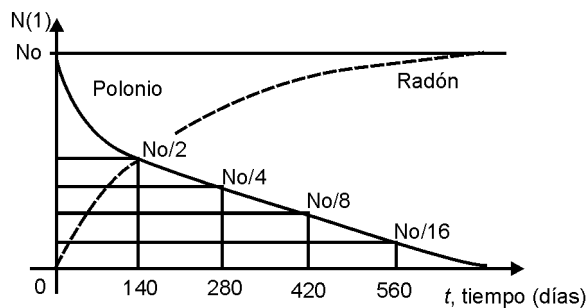


Figura 36. Curva de desintegración del polonio. La línea punteada es el número de núcleos de radón que se forman.

Puesto que al decaer cada núcleo de polonio se forma un núcleo de radón, en cualquier instante la suma de ambos debe ser igual a N_0 . La curva para el radón tiene la misma forma que la del polonio, sólo que aumenta con t , en lugar de disminuir.

Pero, ¿cómo se puede medir la actividad de un elemento?

La **actividad** de un núcleo radiactivo se mide en curies (Ci).

1 Ci equivale a 3.7×10^{10} desintegraciones sobre segundo:

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ desint/s}$$

Las unidades derivadas (submúltiplos) son el *millicurie* (mCi) y el *microcurie* (μCi), cuya equivalencia está dada por:

$$1 \text{ mCi} = 10^{-3} \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{13} \text{ desint/s}$$

$$1 \mu\text{Ci} = 10^{-6} \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{16} \text{ desint/s}$$

La masa (en gramos) de un elemento radiactivo, cuya actividad es igual a un curie, se puede calcular mediante la ecuación:

$$C = M = 8.9 \times 10^{-14} A \cdot T \cdot g \text{ ----- (4)}$$

donde A es el número de masa y T la vida media en segundos.

Ejemplo:

Para el polonio $A = 210$, $T = 140 \text{ días} = 12.096 \times 10^6 \text{ s}$, entonces mediante la ecuación (4):

$$C = M(g) = 8.9 \times 10^{-14} \times 210 \times 12.096 \times 10^6 = 2.26 \times 10^{-4} \text{ g}$$

Esto significa que 0.000 226 g de polonio producen una actividad de 1 Ci.

Si $2.26 \times 10^{-4} \text{ g}$ producen $3.7 \times 10^{10} \text{ desint/s}$, ¿cuántos gramos de polonio se necesitan para que ocurra una desint/s? Lo puedes calcular mediante una regla de tres simple:

$$\begin{array}{ccc} 2.26 \times 10^{-4} \text{ g} & \text{-----} & 3.7 \times 10^{10} \text{ desint/s} \\ X & \text{-----} & 1 \text{ desint/s} \end{array}$$

Despejando X:

$$X = \frac{2.26 \times 10^{-4} \text{ g} \times 1 \frac{\text{desint}}{\text{s}}}{3.7 \times 10^{-10} \frac{\text{desint}}{\text{s}}} = 0.6108 \times 10^6 \text{ g}$$

$$\therefore 0.6108 \times 10^6 \text{ g} \times \frac{10^{-3} \text{ kg}}{1 \text{ g}} = 0.6108 \times 10^3 \text{ Kg}$$

X = 610.8 kg de polonio

2.2.4 ISÓTOPOS

Frederick Soddy (1877-1956) contribuyó a la creación del concepto del **isotopismo**, según el cual en su forma primitiva podía haber sustancias químicamente idénticas, pero de propiedades radiactivas diferentes. Acuñó el término **isótopo** (que en griego significa mismo sitio) para indicar sustancias en el mismo lugar en el sistema periódico de los elementos químicos. En la naturaleza existen isótopos radiactivos e isótopos estables (ver ejemplos de isótopos radiactivos en la Tabla 1).

Isótopos estables

Casi todos los elementos químicos tienen un isótopo estable, siendo uno de los ejemplos más notables el estaño, el cual llega a 10. Otros ejemplos de este tipo de isótopos son: ${}^4_2\text{He}$, ${}^{12}_6\text{C}$, ${}^{16}_8\text{O}$, ${}^{88}_{38}\text{Sr}$ y ${}^{208}_{82}\text{Pb}$.

TABLA 1. ALGUNOS ISÓTOPOS RADIATIVOS

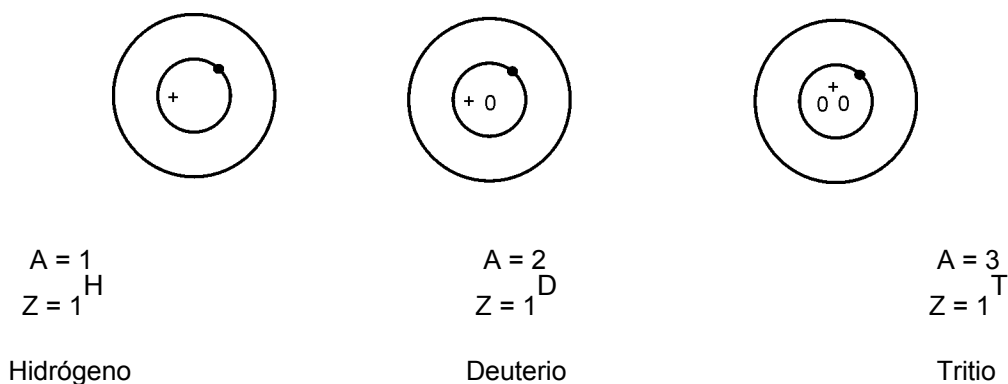
Elemento	Símbolo	Número atómico	Número de masa	Vida media
Carbono	C	6	14	5 568 años
Azufre	S	16	35	87.1 días
Calcio	Ca	20	45	152 días
Cobalto	Co	27	60	5.3 años
Plata	Ag	47	110	270 días
Oro	Au	79	198	2.7 días
Mercurio	Hg	80	205	5.6 minutos
Plomo	Pb	82	209	3.3 horas
Polonio	Po	84	210	140 días
Polonio	Po	84	213	10^{-6} segundos
Radio	Ra	88	225	14.8 días
Radio	Ra	88	226	1 600 años
Uranio	U	92	233	1.63×10^5 años
Uranio	U	92	234	3×10^5 años
Uranio	U	92	238	2×10^9 años

Isótopos radiactivos

El átomo normalmente se forma por números iguales de protones y electrones; por ejemplo, al analizar la estructura atómica del hidrógeno vemos que todos los átomos de hidrógeno tienen un protón y un electrón, pero algunos tienen además uno o dos neutrones.

Las tres variedades del hidrógeno son químicamente iguales, ya que estas propiedades las determina el único electrón que posee el átomo de hidrógeno, aunque no tienen la misma masa atómica. Estas formas de un elemento se llaman isótopos. Por consiguiente, **los isótopos pueden definirse como átomos que tienen diferentes masas atómicas, pero que pertenecen al mismo elemento químico y tienen el mismo número atómico.**

Isótopos del hidrógeno: hidrógeno (^1_1H), deuterio (^2_1D) y tritio (^3_1T)



• = electrón (\bar{e})
+ = protón (p)
0 = neutrón (n)

Figura 37. Isótopos del hidrógeno.

Z = *número atómico* = número de electrones que hay en un átomo en la periferia (alrededor) del núcleo. También se define como el número de protones que hay en el núcleo atómico.

A = *número de masa* = número de protones + número de neutrones en el núcleo de un átomo = número de nucleones. El número de masa o número de nucleones = A siempre es un número entero.

Pero, ¿qué diferencia existe entre un isótopo y un radioisótopo?

2.2.5 RADIOISÓTOPOS

Los radioisótopos son isótopos radiactivos, esto es, al desintegrarse emiten algún tipo de radiación. Asimismo, aunque varían en la rapidez con la que se desintegran, los radioisótopos principalmente emiten tres tipos de radiación conocidas como: rayos α , β y γ . Un radioisótopo al desintegrarse forma nuevos radioisótopos, y al continuar las reacciones, finalmente el núcleo se convierte en un isótopo estable (no radiactivo).

Los radioisótopos y los átomos radiactivos, aunque de naturaleza inestable, reaccionan químicamente con el átomo estable (las propiedades químicas las da el número atómico Z y el número de masa A , que es lo que distingue a un isótopo de otro, correspondientes al mismo elemento), hasta el momento en que emite sus radiaciones y se transforma en otra sustancia estable.

Aplicaciones de los radioisótopos

Aplicaciones en la industria

Para detección de fugas y obstrucciones en tuberías; detección de corrosión y velocidades de flujo, evaluación de la durabilidad de un equipo, producción y/o eliminación de electricidad estática, medición de volúmenes; eficiencia de mezclado en problemas de difusión; radiografías y gammagrafías industriales, etc.

Aplicaciones en la Medicina

Actualmente se utilizan ciertos tratamientos con radiactividad para curar el cáncer, en estudios genéticos con cultivos y en cirugía cerebral.

Localización de tumores, radioterapia, tratamiento de tumores inoperables; funcionamiento de órganos como el corazón y la tiroides, metabolismo de grasas y azúcares, medición de volúmenes de fluidos en el organismo, vida media de glóbulos rojos, esterilización de equipo médico y material quirúrgico, esterilización de sueros, vacunas, etcétera.

Aplicaciones en la Agricultura

Control de plagas mediante la esterilización de machos, inhibición de brotes microbiológicos en tubérculos y raíces comestibles; producción de mutaciones benéficas en granos, plantas y semillas; radiopreservación de carnes, mariscos, hortalizas, etcétera.

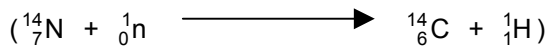
Aplicaciones en Química

En catálisis de reacciones químicas, inducción de polimerización, desalinización del agua de mar, en análisis por dilución isotópica, análisis por activación, en el cracking del petróleo, añejado de vinos, etcétera.

Entre otras aplicaciones de los radioisótopos destacan: el fechado con carbono 14 y con el uranio.

Fecha con carbono 14

Sobre la superficie de la Tierra hay cierto número de elementos radiactivos, que se producen continuamente en la atmósfera, debido al bombardeo de los rayos cósmicos. Entre éstos el más interesante es el isótopo de carbono-14, que se produce a partir del nitrógeno atmosférico, por el choque (impacto) de un neutrón de alta energía y se incorpora a las moléculas de bióxido de carbono (CO₂) atmosférico.



Este último lo emplean las plantas para su crecimiento (consumido en la fotosíntesis, en la cual se libera oxígeno), el carbono radiactivo se incorpora en cada planta. En consecuencia, todas las plantas tienen una pequeñísima cantidad de C-14, radiactivo; los animales comen plantas, y por lo tanto, tienen en su organismo un poco de carbono-14. Al morir una planta o un animal, sus procesos metabólicos se detienen en su cuerpo, ya no hay suministro nuevo de C-14, y su cantidad disminuye gradualmente a una tasa conocida, conforme transcurre el tiempo.

La forma de fechar con C-14 se puede ilustrar como sigue: en las viejas novelas policiacas, un recurso para determinar la hora en que sucedió el crimen era ver el reloj del occiso, pues era común leer que, al ser asesinado y caer, golpeaba su reloj y éste se detenía. Pensemos ahora que cierto individuo usa un reloj siempre marcando las 0:00 horas y que al ser asesinado y caer, el golpe activa el reloj, de tal manera que al ser encontrado y mirar su reloj se sabría el tiempo que transcurrió desde el asesinato; *puesto que el C-14 tiende a disminuir gradualmente después de que el ser vivo que lo contiene muere, es una forma de marcar el tiempo que ha pasado desde su muerte.*

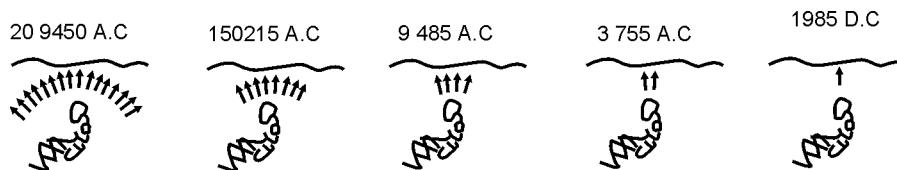


Figura 38.

La vida media del isótopo de C-14 es de aproximadamente 5 730 años y su decaimiento de milenios. Por consiguiente, al medir la razón de ${}^{14}_6\text{C}$, a ${}^{12}_6\text{C}$, en muestras arcaicas de madera, seremos capaces de estimar en forma bastante exacta su origen a partir de los restos existentes (Figura 37).

Mediante el C-14 es posible medir la radiactividad actual de plantas y animales y compararla con la radiactividad de materia orgánica antigua. De esta manera podemos sondear hasta 50 000 años en el pasado y averiguar cuestiones como la edad de los restos fósiles que existieron en las civilizaciones antiguas, o cuando la Era Glacial cubría la Tierra.

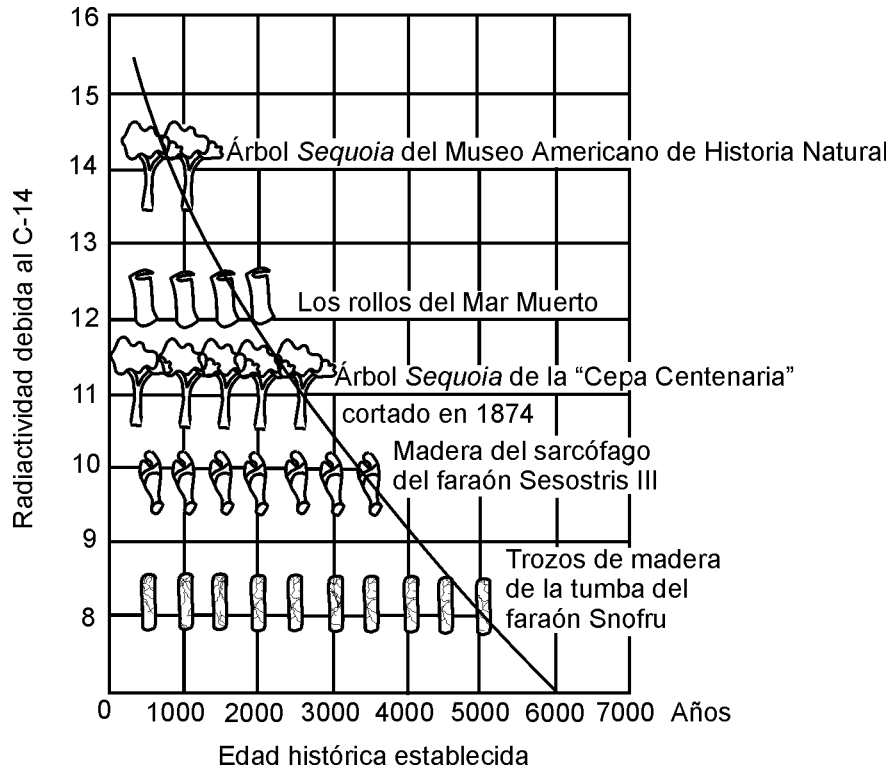


Figura 39. Algunas formas de fechar con carbono-14.

Fechado con uranio

El fechado de objetos más antiguos, pero de origen inorgánico, se realiza con minerales radiactivos, como el uranio. Ya vimos que el uranio (U) es el padre de todos los elementos radiactivos que pertenecen a su familia, y que el producto final de toda desintegración es un isótopo estable de Pb^{206} . Los isótopos que se presentan en forma natural, U-238 y U-235, se desintegran con bastante lentitud, y finalmente se transforman en isótopos de plomo. *Conociendo la vida media de los isótopos del uranio se puede determinar el porcentaje de cada isótopo radiogénico del plomo en una muestra de roca, por lo que es posible calcular el tiempo de desintegración del uranio presente en ella.* Por este procedimiento se han determinado edades de rocas hasta de 3 700 millones de años. También se han analizado algunas muestras de la Luna, donde ha habido menos erosión e intemperismo de las rocas primitivas que en la Tierra, y se han fechado en 4 200 millones de años, lo cual en principio concuerda con la edad establecida que tiene el planeta y el sistema solar: 4 600 millones de años.

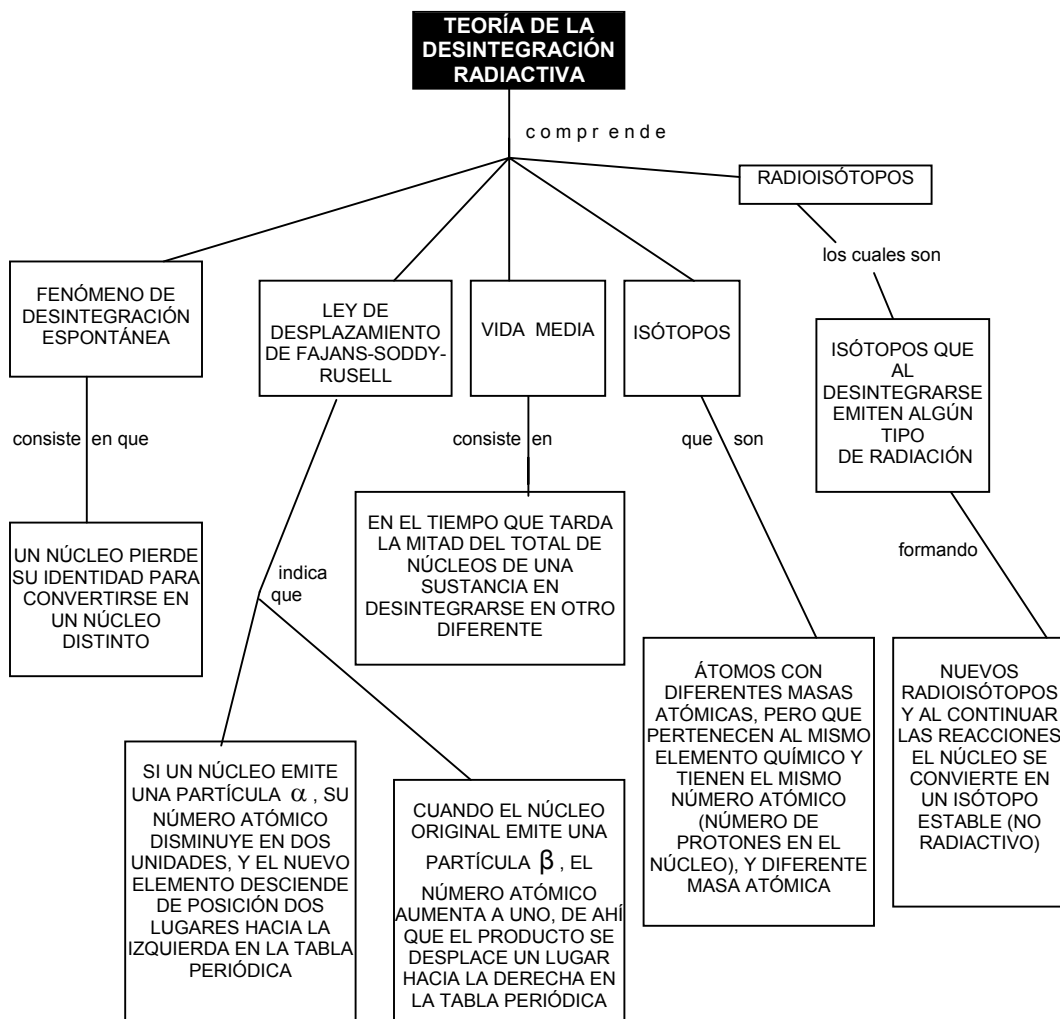
ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

Para aplicar lo que has aprendido, a continuación se da una lista de los conceptos estudiados, complétala con la explicación y ejemplos:

CONCEPTO	EXPLICACIÓN O DEFINICIÓN	EJEMPLO
Transmutación por desintegración espontánea		
Ley de desplazamiento de Fajans-Soddy-Rusell		
Vida media		
Isótopo		
Radioisótopo		<p><i>Formas de aplicación en:</i></p> <p>Industria</p> <p>Medicina</p> <p>Agricultura</p> <p>Química</p> <p>Carbono-14</p> <p>Uranio-238</p>

EXPLICACIÓN INTEGRADORA

Analiza el siguiente esquema que sintetiza lo más importante sobre la desintegración radiactiva.

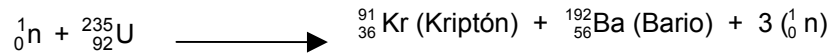


2.3 FISIÓN NUCLEAR

¿Cómo se descubrió la fisión nuclear? ¿Cuáles son sus principales aplicaciones? ¿Qué sucede al bombardear un núcleo pesado con neutrones? ¿Qué es una reacción en cadena y por qué ocurre en la fisión del uranio-235? ¿Por qué un neutrón es mejor proyectil nuclear que un protón o un electrón? Veámoslo enseguida.

En 1938, dos científicos alemanes, Otto Hahn y Fritz Strassman, descubrieron la fisión nuclear. Al bombardear una muestra de uranio con neutrones, encontraron entre los productos resultantes bario radiactivo, un elemento con aproximadamente la mitad del tamaño del uranio (U). Al tener noticias de este descubrimiento, en enero de 1939, Lise Meitner y Otto Frisch, quienes se encontraban trabajando en Suecia, al repetir el experimento encontraron que el núcleo del uranio, activado por el bombardeo de neutrones, se había partido por la mitad. *Meitner nombró al proceso fisión, debido al proceso similar de división celular que se presenta en la Biología.*⁶

La energía liberada al llevarse a cabo la fisión es de 200 millones de eV, en un tiempo de 10^{-14} segundos (la explosión de una molécula de TNT (trinitrotolueno) libera 30 eV). La reacción que se produce en la fisión del uranio-235 es la siguiente:



En el proceso de fisión nuclear se liberan neutrones (como se observa en la ecuación anterior), que a su vez desintegran a otros átomos de uranio, originándose una **reacción en cadena** (Figura 38).

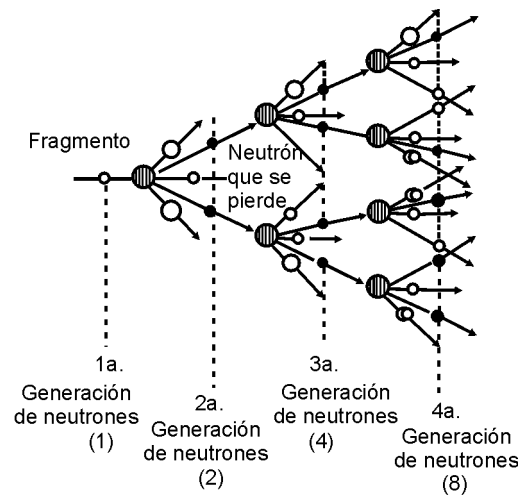


Figura 40. Reacción en cadena.

⁶ Tomado de LOVETT C., Bárbara. *Los creadores de la nueva Física. Los físicos y la teoría cuántica*. FCE, México, 1983, págs. 11-30.

2.3.1 OTROS ASPECTOS DE LA FISIÓN

- Todos los elementos más pesados que el ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ (hierro) son fisionables.
- Los "neutrones lentos" con energías del orden del eV, no ocasionan ningún efecto sobre el U-238, pero en cambio producen la fisión del U-235.

Energía cedida por la fisión

Mediante mediciones directas de calor, se puede determinar la energía promedio cedida en la fisión. Ésta se reparte como sigue:

	MēV
Energía cinética de los fragmentos	159
Energía cinética de los neutrones	7
Rayos β de los productos de la fisión	11
Rayos α de los productos de la fisión	23
Total	<hr/> 200 MēV

Para obtener una estimación de la energía total cedida, se hace un balance de masas mediante la expresión $E \text{ (liberada)} = (\Delta m) C^2$, como se ilustra en el siguiente ejemplo:

Cálculo de la energía cedida en la fisión del U-235 que produce zirconio (Zr) estable y praseodimio (Pr).

Masas iniciales	u.m.a.
235 U	235.124
1 neutrón	1.009
Masa de los productos	<hr/> 236.133 m (inicial)
92 Zr	91.942
141 Pr	140.959
3 neutrones	3.027
	<hr/> 235.928 m (producto)

$$\Delta m = m(\text{inicial}) - m(\text{producto}) = 0.205 \text{ u.m.a.}$$

Otra unidad de energía usada en los procesos nucleares es el megatón. En Física II leíste que al quemar un kilogramo de combustible "químico" se libera energía del orden de 10 MJ. Por consiguiente, al quemar una tonelada de combustible (o se hace explotar una tonelada de dinamita) se libera más de $10 \text{ MJ} \times 1\,000 = 10^4 \text{ MJ}$ y para un millón de toneladas la energía liberada sería del orden de $10^4 \text{ MJ} \times 10^6 = 10^{10} \text{ MJ}$. Esto corresponde a lo que se llama un **megatón**, que es la unidad de energía liberada en un segundo.

Lisa Meitner y Otto Frisch utilizaron el modelo de gota, propuesto por Gamow y mejorado por Bohr, para explicar el fenómeno de la fisión. En éste el núcleo se trata como una gotita de líquido, y según Gamow *los núcleos atómicos de los diferentes elementos se pueden considerar como gotitas de diverso tamaño de un fluido nuclear (Figura 39).*

Neutrón

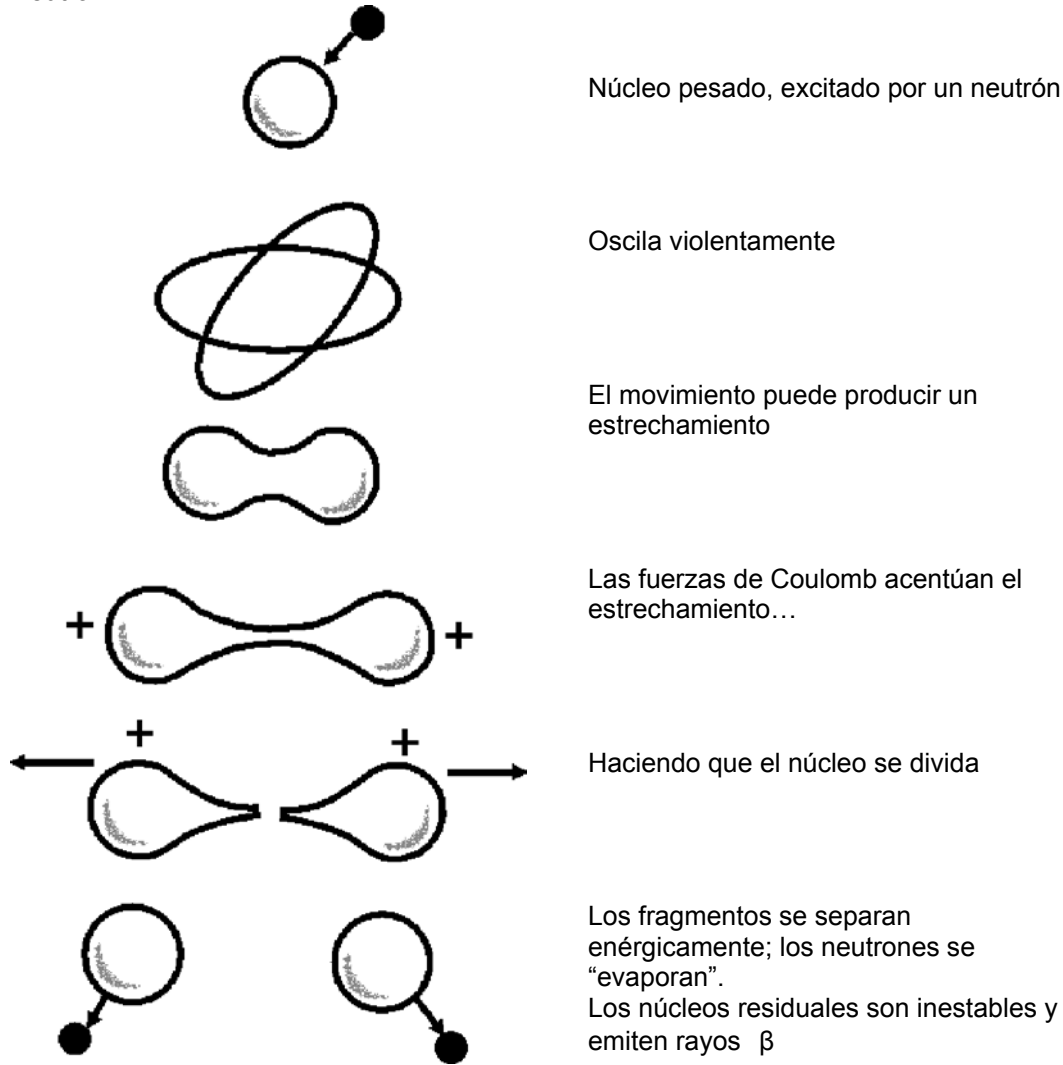


Figura 41. Fisión de un núcleo pesado según el modelo de la gota.

La semejanza cualitativa del modelo de gotas con el núcleo, aunque sólo es una representación esquemática, resulta muy expresiva para comprender la fisión.

2.3.2 APLICACIONES DE LA FISIÓN NUCLEAR

Este proceso se aplicó por primera vez en la construcción de la bomba nuclear. Fue el 2 de diciembre de 1942 que el físico italiano y jefe del proyecto Manhattan, Enrico Fermi, produjo la primera reacción en cadena dentro de la primera pila atómica hecha de ladrillos de grafito, la que contenía uranio-235, logrando desintegrar la materia para obtener energía.

Posteriormente, el 6 de agosto de 1945, la ciudad de Hiroshima, Japón, fue arrasada por la explosión de una bomba nuclear, con lo que el mundo entraba en la Era Atómica.

El uranio de una bomba nuclear se desintegra en billones de fragmentos atómicos en fracciones de segundo, originando esta explosión millones de grados de temperatura y un devastador huracán que avanza en todas direcciones; el aire incandescente se eleva, formando una nube parecida a un hongo gigantesco y en el suelo, el agua y la atmósfera, quedan muchas partículas con mortal radiactividad.

No obstante, *la fisión nuclear también se utiliza con fines pacíficos*. Si la reacción en cadena ocurre con gran rapidez y de manera incontrolada, se produce una violenta explosión; mas si la reacción se controla y se lleva a una situación estacionaria, se tiene una fuente de energía.

No todo el uranio es fisionable, pues una reacción en cadena no es posible en el uranio natural puro, ya que éste es en su mayor parte uranio-238. El uranio fisionable es el U-235, presente en el uranio natural con una proporción de una parte en 140. Había dos caminos para construir una bomba nuclear: la separación isotópica del uranio-235 o la formación de una cantidad suficiente de plutonio (Pu^{239}).

El objetivo principal de la pila atómica de Fermi fue producir el elemento químico artificial plutonio, siendo el plutonio-239, al igual que el U-235, fisionable. La bomba atómica que explotó sobre Nagasaki se fabricó con plutonio, elemento que no se encuentra en la naturaleza, pero se puede fabricar en forma sintética a partir del U-238. Por otra parte, como el plutonio es un elemento diferente al uranio, puede separarse de éste en la pila atómica por métodos químicos comunes. En ésta se realiza un proceso para hacer material fisionable puro, con mucha mayor facilidad que mediante la separación del U-235 a partir del uranio natural.

Actualmente el uso principal que se le da a los reactores nucleares es para la producción de energía eléctrica. México tiene uno en operación en Laguna Verde, Veracruz; en éste el "calor" generado hace hervir el agua para producir el vapor que acciona la turbina, la cual a su vez hace funcionar los generadores de energía eléctrica. (Figura 40).

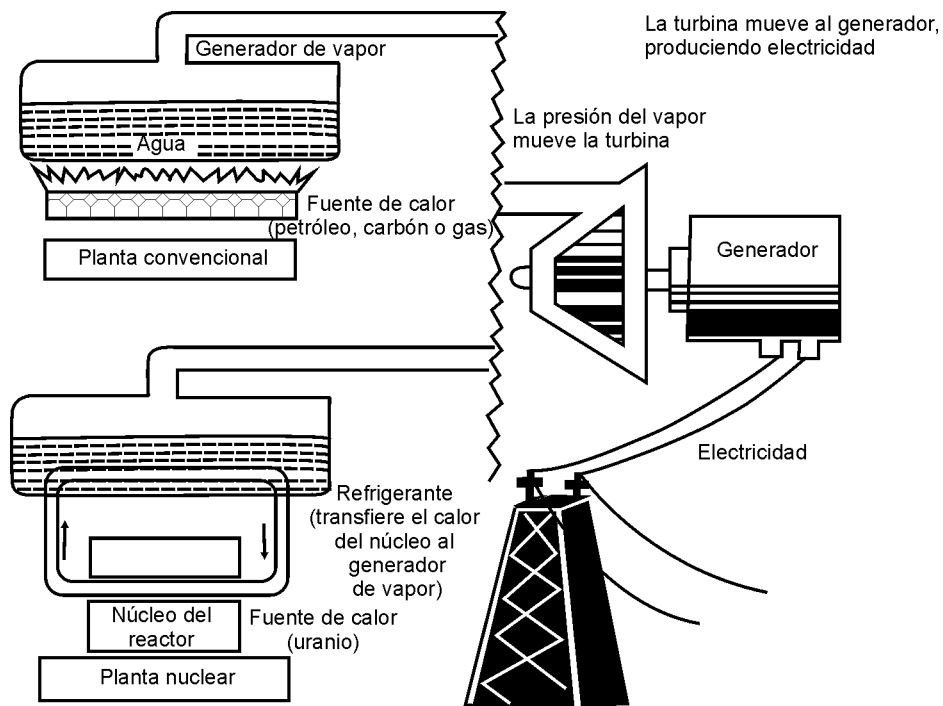


Figura 42. Reactor nuclear.

Entonces, ¿qué ventajas y desventajas tiene la aplicación de la fisión nuclear?

Los **beneficios** de la energía obtenida por la fisión son electricidad abundante; la conservación de muchos miles de millones de toneladas de carbón, petróleo y gas natural, que en lugar de quemarse como combustible, a la larga son más provechosos como fuentes de moléculas orgánicas que como fuentes de calor; y con ello combatir la contaminación atmosférica, eliminando millones de toneladas de óxido de azufre y otros gases venenosos, que cada año se liberan en el aire.

Entre las **desventajas** está el problema de los desechos radiactivos (problema actual en México), la producción del plutonio y el peligro de la proliferación de armas nucleares, además del riesgo de una liberación accidental de grandes cantidades de radiactividad.

2.4 FUSIÓN NUCLEAR

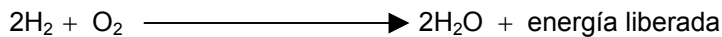
¿A qué se debe que el Sol pueda generar tanta energía?

En el interior del Sol ocurren *colisiones entre núcleos atómicos*, de las que resultan transformaciones de átomos livianos en átomos pesados, de manera que se forman los átomos de helio y otros elementos a partir del hidrógeno. ¿Qué se requiere para este proceso?

En 1929, Atkinson y Houtermans sugirieron a la **fusión nuclear como fuente de energía del Sol y de las estrellas**; una década después Hans Bethe, a partir de esta idea, propuso *una secuencia de reacciones nucleares que podrían liberar grandes cantidades de energía* similar a la que creemos ocurre en el Sol. Ello se logró en 1954 al estallar la primera bomba de hidrógeno.

Si en la Química clásica existen dos procesos o reacciones químicas que son cualitativamente iguales a la fusión y la fisión, ¿por qué entonces en una reacción química, como la que a continuación describiremos, los científicos no fueron capaces de descubrir la equivalencia entre masa y energía desde hace siglos? Porque las energías involucradas son incomparablemente menores que en el dominio nuclear, de modo que las correspondientes pérdidas de masa son indetectables, aún para los aparatos más modernos.

Cuando moléculas de oxígeno se mezclan con moléculas de hidrógeno para formar agua, tiene lugar una reacción exoenergética (es decir, se libera energía), en la cual se produce una cantidad considerable de calor; de hecho la temperatura de la flama que se produce en la reacción alcanza los 2 800 °C. Este es el análogo químico de la fusión.



La energía liberada en la anterior reacción es apenas del orden de unos cuantos electronvolts (eV), que comparados con los *millones de electronvolts (MeV) de una reacción nuclear*, resultan despreciables.

Por otra parte, el fulminato de mercurio –compuesto de mercurio, cuya fórmula es $\text{Hg}(\text{CNO})_2$ – proporciona un ejemplo químico análogo a la fusión. En efecto, cuando se le golpea, explota, es decir, se parte bruscamente en sus componentes, produciéndose una violenta expansión de los gases a altas temperaturas, lo cual se manifiesta como una onda de choque explosiva que se propaga con una velocidad de aproximadamente 3 000 m/s.

2.4.1 REACCIONES TERMONUCLEARES O DE FUSIÓN

Una reacción de fusión es más eficiente que una de fisión, porque aproximadamente el 1 % de la masa inicial se transforma en energía, en contra de un 0.09 % en la fisión, es decir, diez veces más. Con base en esto muy bien podríamos preguntar:

¿Por qué el hombre ha construido reactores de fisión y no de fusión?

La respuesta nos la da la dificultad de iniciar y mantener estable un proceso autosostenido de fusión.

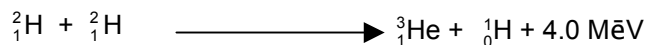
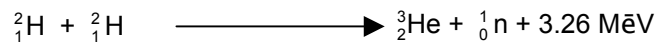
Las reacciones de fusión que ocurren en el Sol y en otras estrellas se denominan reacciones termonucleares, lo cual no es otra cosa que la soldadura de los núcleos atómicos por la alta temperatura. Para que ocurra una reacción de este tipo los núcleos deben chocar a velocidades muy altas, con el fin de vencer la repulsión eléctrica mutua, y éstas únicamente corresponden a temperaturas extremadamente altas que se encuentran en el Sol y en las estrellas. A la elevada temperatura del Sol, alrededor de 657 millones de toneladas de hidrógeno se convierten en 653 millones de toneladas de helio (He) cada segundo. Los restantes cuatro millones de toneladas se descargan como energía. Se puede decir, en forma un tanto literal, que estas reacciones son combustiones nucleares, en tanto las reacciones termonucleares son análogas a la combustión química común.

Antes de la reacción de la bomba atómica, las temperaturas requeridas para iniciar la fusión nuclear sobre la Tierra eran inalcanzables, mas al descubrirse que las temperaturas en el interior de la explosión de una bomba atómica son de cuatro a cinco veces la correspondiente al centro del Sol, la bomba termonuclear quedó al alcance de la mano. Esta primera bomba de hidrógeno se detonó en 1954.

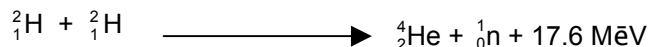
En tanto que la masa crítica* del material fisionable limita el tamaño de una bomba de fisión (bomba atómica), no existe límite alguno de este tipo para la bomba de fusión (bomba termonuclear o de hidrógeno). Como en el caso de un depósito de petróleo, aunque un simple fósforo pueda encender un depósito de petróleo, nada que sea menos energético que una bomba de fisión puede iniciar la combustión de una bomba termonuclear. Por ello, *cualquier cantidad de combustible nuclear puede almacenarse de manera segura, hasta que se enciende.*

2.4.2 REACCIONES DE FUSIÓN

Las reacciones de fusión que parecen más prometedoras como origen de energía son: la combinación directa de dos deuterones de una de las siguientes maneras:



Y la combinación directa de un deuterón y un tritón para formar una partícula α :



* La masa crítica es el mínimo material fisionable en un reactor o bomba nuclear que sostendrá una reacción en cadena.

Los isótopos del hidrógeno ^2_1H , deuterio ^2_1D y tritio ^3_1T son las sustancias químicas necesarias para llevar a cabo las reacciones anteriores, y se encuentran en forma abundante en los océanos. Por ejemplo, 30 litros de agua de mar contienen un gramo de deuterio, que al fusionarse, libera tanta energía como 10 000 litros de gasolina o el equivalente a 80 toneladas de nitrotolueno (TNT). *Esta abundancia de combustible para fusión hace que la cantidad de energía que puede liberarse de manera controlada sea casi ilimitada.*

La fusión controlada se produce empleando gases calientes, completamente ionizados, dentro de un campo magnético potente. La finalidad de tener una temperatura elevada, es asegurar que los núcleos individuales de ^2_1H y ^3_1H tengan energía suficiente para reunirse y reaccionar a pesar de la repulsión electrostática. El campo magnético se emplea como recipiente, para guardar el gas reactivo de cualquier contacto con otro material que pueda enfriarlo o contaminarlo; la posibilidad de que se funda la pared es mínima puesto que el gas, aunque tenga una temperatura de varios millones de °C, no tiene una densidad de energía elevada. Aunque los reactores de fusión presentan más dificultades prácticas que los de fisión, se tiene la esperanza que llegarán a ser una realidad en el siglo XXI.

2.4.3 PROBLEMAS TÉCNICOS⁷

Para que ocurran las reacciones de fusión, los reactores deben encontrarse dentro de un intervalo de temperatura de 10^8 a 10^9 °C durante un tiempo adecuado. Este tiempo depende de la cercanía entre las partículas. En estas temperaturas elevadas, la materia se presenta en forma de plasma. *Uno de los principales problemas de los diseñadores del reactor de fusión ha sido la forma de almacenar una sustancia a esa temperatura.* No pueden utilizarse recipientes hechos de los materiales comunes debido, principalmente, a que el plasma perdería calor en ellos con tal rapidez que nunca se alcanzarían las temperaturas de fusión.

Como los plasmas son partículas cargadas, los campos magnéticos los afectan. El plasma puede almacenarse en un campo magnético de forma apropiada. Conforme la fusión ocurre y la temperatura aumenta, la presión del plasma causa su expansión. *Debido a que las partículas del plasma se desplazan a enormes velocidades, el propio plasma genera corriente eléctrica. Ambos efectos causan rupturas del "recipiente" magnético, un problema difícil de resolver.*

El alcanzar la temperatura apropiada, el almacenamiento durante el tiempo necesario y el empaquetamiento de suficientes partículas en un cierto espacio son los **problemas a resolver**.

¿Quién puede predecir qué papel desempeñará este fascinante campo en el futuro?

⁷ Tomado de SMOOT y PRICE. *Química. Un curso moderno*. Compañía Editorial Continental, México, 1982.

ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

Para que apliques lo aprendido sobre la fisión y fusión nuclear, anota los datos que se piden sobre los cambios nucleares:

PROCESOS NUCLEARES	EXPLICACIÓN	EJEMPLO	ENERGÍA LIBERADA	APLICACIÓN	PROBLEMAS TÉCNICOS AL USARLOS
FISIÓN NUCLEAR					
FUSIÓN NUCLEAR					

EXPLICACIÓN INTEGRADORA

Enseguida sintetizamos lo más importante de los temas de fisión y fusión nuclear, con ello reconocerás sus semejanzas y diferencias.

La conversión de masa en energía (fisión y fusión) vistas en estos dos últimos temas, es una gesta nuclear del siglo XX que conlleva las implicaciones más profundas para toda la humanidad.

La **Fisión** consiste en la rotura de grandes núcleos atómicos en dos fragmentos de un tamaño muy similar, en la que se lleva a cabo una gran pérdida de masa y la correspondiente liberación de considerables cantidades de energía. Cuando la rotura de un núcleo induce la rotura de los demás, el proceso se llama **reacción en cadena**, que permite generar un torrente de energía.

El reactor nuclear es una máquina capaz de producir energía lentamente durante un largo periodo de tiempo, mediante una reacción en cadena de fisión controlada.

El proceso de **Fusión** consiste en la unión de dos núcleos ligeros para formar un solo núcleo más pesado. De nuevo se produce una pérdida de masa (por separado, los dos núcleos poseen más masa que cuando se funden) y de nuevo hay una liberación de energía. Este es el fenómeno primario para la producción de energía del universo; es un fuego de estrellas. Por el momento se puede liberar este torbellino de energía en los horribles espasmos de la bomba H, pero el uso controlado de la potencia de fusión, en toda su prometedora gloria, pertenece aún al futuro.⁸

⁸ Tomado de HECHT E. *Física en perspectiva*. Addison Wesley Iberoamericana. Wilmington, Delaware E.U.A., 1987.

2.5 RELACIÓN DE LA FÍSICA CON OTRAS CIENCIAS⁹

¿Qué tiene que ver la Física con el origen de otras ciencias?,
¿cuáles son las aportaciones mutuas entre las ciencias que nos
explican cómo es el mundo?

Introducción

La Física es la más fundamental y general de las ciencias, y ha tenido un profundo efecto en todo el desarrollo científico. En realidad, la Física es el equivalente actual de lo que se acostumbra a llamar filosofía natural, de la cual provienen la mayoría de nuestras ciencias modernas. Estudiantes de muchas disciplinas se encuentran aprendiendo Física a causa del rol básico que ésta juega en todos los fenómenos.

En este momento trataremos de explicar cuáles son los problemas fundamentales en las otras ciencias, pero, por supuesto, es imposible realmente tratar en un espacio tan reducido las materias complejas, sutiles y agradables de esos otros campos. La falta de espacio también impide que discutamos la relación entre la Física y la Ingeniería, la industria, la sociedad y la guerra, o aún la más notable relación entre la Matemática y la Física. (La Matemática no es una ciencia desde nuestro punto de vista, en el sentido que no es una ciencia natural. El experimento no es una prueba de su validez).

Debemos, incidentalmente, dejar en claro desde un comienzo que si una cosa no es una ciencia, no es necesariamente mala. Por ejemplo, el amor no es una ciencia. De manera que, si se dice que algo no es ciencia, no significa que haya algo malo en esto; significa simplemente que no es una ciencia.

Química

La ciencia que es quizás la más profundamente afectada por la Física es la Química. Históricamente, en su comienzo, la Química trataba casi enteramente de lo que ahora llamamos Química inorgánica, la química de las sustancias que no están asociadas con los objetos vivientes. Se necesitó de un análisis considerable para descubrir la existencia de muchos elementos y sus relaciones –cómo se forman los numerosos compuestos relativamente simples que se encuentran en las rocas, la tierra, etc-.

Esta química primitiva fue muy importante para la Física. La interacción entre las dos ciencias era muy grande porque la teoría de los átomos fue comprobada en gran parte con experimentos de Química. La teoría de la Química, es decir, de las reacciones mismas, fue resumida ampliamente en la tabla periódica de Mendeleiev, la cual establece numerosas relaciones extrañas entre los diversos elementos, y fue la colección de reglas sobre qué sustancia se combina con cuál otra y cómo, lo que constituyó la Química inorgánica. Todas estas reglas fueron últimamente explicadas en principio por la mecánica cuántica, de manera que la Química teórica es en realidad Física. Por otro lado, debe ponerse énfasis en que esta explicación es *en principio*. Ya

⁹ Tomado de FEYNMAN. *The Feynman lectures of physics*. Fondo Educativo interamericano.

hemos discutido la diferencia entre saber las reglas del juego de ajedrez y ser capaz de jugar. De manera que podemos conocer las reglas, pero no podemos jugar muy bien. Resulta así muy difícil predecir precisamente qué sucederá en una reacción química dada; sin embargo, la parte más profunda de la Química teórica debe terminar en la mecánica cuántica.

Hay también una rama de la Física y la Química que ambas ciencias desarrollaron conjuntamente y que es extremadamente importante. Este es el método estadístico aplicado a una situación en que hay leyes mecánicas, que se llama, propiamente, *mecánica estadística*. En cualquier situación química está implicado un gran número de átomos y hemos visto que los átomos se agitan todos en una forma complicada y casual. Si pudiéramos analizar cada colisión y fuéramos capaces de seguir en detalle el movimiento de cada molécula, esperaríamos poder deducir lo que sucede, pero los muchos números que se necesitan para seguir la trayectoria de todas esas moléculas exceden tan enormemente la capacidad de cualquier computador, y ciertamente la capacidad de la mente, que fue necesario desarrollar un método para tratar con tales situaciones complicadas. La mecánica estadística es entonces la ciencia de los fenómenos del calor, o la termodinámica. La Química inorgánica es una ciencia, ahora reducida esencialmente a lo que se llaman la Físico-química y la Química cuántica; la Físico-química para estudiar las velocidades con que ocurren las reacciones y qué es lo que está sucediendo en detalle (¿cómo chocan las moléculas?, ¿cuáles partes saltan primero?, etc.), y la Química cuántica para ayudarnos a comprender lo que sucede en términos de las leyes físicas.

La otra rama de la Química es la *Química orgánica*, la Química de las sustancias que están asociadas con las cosas vivientes. Por un tiempo se creyó que las sustancias que están asociadas con las cosas vivas eran tan maravillosas que no podían ser hechas a mano a partir de materiales inorgánicos. Esto es absolutamente cierto; son exactamente lo mismo que las sustancias hechas en Química inorgánica, pero comprenden disposiciones más complicadas de los átomos. Evidentemente, la Química orgánica tiene una relación muy estrecha con la Biología, que suministra sus sustancias, y con la industria; más aún, puede aplicarse mucha Físico-química y mecánica cuántica tanto a los compuestos orgánicos como a los inorgánicos. Sin embargo, los principales problemas de la Química orgánica no están en esos aspectos, sino más bien en el análisis y síntesis de las sustancias que se forman en los sistemas biológicos, en las cosas vivas. Esto conduce imperceptiblemente, a pasos, hacia la Bioquímica y luego a la Biología misma, o Biología molecular.

Biología

Así llegamos a la ciencia de la *Biología*, que es el estudio de las cosas vivas. En los primeros días de la Biología, los biólogos tenían que tratar con problemas puramente descriptivos de buscar *qué* cosas vivas había, y así ellos tenían sólo que contar cosas tales como los pelos de los miembros de las pulgas. Después que estos asuntos fueron resueltos con gran interés, los biólogos se fueron hacia la *maquinaria* interior de los cuerpos vivos, primero desde un punto de vista global, naturalmente, porque se requiere algún esfuerzo para entrar en los detalles más finos.

Había una interesante relación primaria entre la Física y la Biología en la cual la Biología ayudaba a la Física en el descubrimiento de la *conservación de la energía*, lo cual fue primeramente demostrado por Mayer, en conexión con la cantidad de calor que recibe y cede una criatura viva.

Si miramos más de cerca a los procesos biológicos de los animales vivos, vemos muchos fenómenos físicos: la circulación de la sangre, bombas, presión, etc. Hay nervios: sabemos qué es lo que pasa cuando nos paramos sobre una piedra puntiaguda, y que de una manera u otra la información va desde la pierna hacia arriba. Es interesante cómo sucede.

En sus estudios sobre los nervios, los biólogos han llegado a la conclusión que los nervios son tubos muy finos con una compleja pared, que es muy delgada; a través de esta pared la célula bombea iones; así que hay iones positivos en el exterior y negativos en el interior, como en un capacitor. Ahora bien, esta membrana tiene una propiedad interesante; si se "descarga" en un lugar, es decir, si algunos iones son capaces de atravesar en algún lugar de manera que allí se reduce el voltaje eléctrico, dicha influencia eléctrica se hace sentir sobre los iones vecinos y afecta la membrana de tal manera, que deja pasar también los iones en los puntos vecinos. Esto a su vez la afecta más allá, etc., y así hay una onda de "penetrabilidad" de la membrana que recorre la fibra cuando está "excitada" en un extremo al pararse sobre una piedra puntiaguda. Esta onda es algo análogo a una larga secuencia de fichas de dominó verticales; si se empuja la del extremo, ésta empuja a la próxima, etc. Por cierto, esto transmitirá solamente un mensaje, a no ser que las fichas de dominó se paren de nuevo; y análogamente en una célula nerviosa hay procesos que bombean lentamente de nuevo a los iones hacia afuera para que el nervio quede listo para el próximo impulso. Así es como sabemos lo que estamos haciendo (o por lo menos dónde estamos).

Por supuesto, los efectos eléctricos asociados con este impulso nervioso pueden ser captados con instrumentos eléctricos y, debido a que son efectos eléctricos, evidentemente la Física de los efectos eléctricos ha tenido mucha influencia en la comprensión del fenómeno.

El efecto opuesto es que, desde algún lugar del cerebro, se envía hacia afuera un mensaje a lo largo de un nervio. ¿Qué sucede en el extremo del nervio? Allí el nervio se ramifica en cositas finas, conectadas a una estructura cerca de un músculo, llamada placa terminal. Por razones que no son exactamente comprendidas, cuando un impulso llega al término del nervio, se eyectan pequeños paquetes (cinco a diez moléculas de una vez) de un compuesto químico llamado acetilcolina α (neurotransmisor) y ellos afectan la fibra muscular y la hacen contraerse. —¡Cuán simple!—.

¿Qué hace que se contraiga un músculo? Un músculo es un número muy grande de fibras muy cerca unas de otras, que contiene dos sustancias diferentes, miosina y actomiosina, pero el mecanismo mediante el cual la reacción química inducida por la acetilcolina α puede modificar las dimensiones de la molécula es aún desconocido. Así, los procesos fundamentales en el músculo que producen los movimientos mecánicos no son conocidos.

La Biología es un campo tan enormemente vasto que hay montones de otros problemas que ni siquiera podemos mencionar: problemas de cómo funciona la visión (qué produce la luz en el ojo), cómo funciona el oído, etc. (La forma en que funciona el *pensamiento* la discutiremos más tarde bajo Psicología).

Bien, esas cosas concernientes a la Biología que hemos discutido aquí no son, desde un punto de vista biológico, realmente fundamentales en el fondo de la vida, en el sentido que aun si las comprendiéramos todavía no comprenderíamos la vida misma. Para dar un ejemplo: los hombres que estudian los nervios estiman que su trabajo es muy importante porque, después de todo, usted no puede tener animales sin nervios. Pero se puede tener vida sin nervios. Las plantas no tienen ni nervios ni músculos, pero están funcionando, están igualmente vivas.

Así, para los problemas fundamentales de la Biología debemos observar más profundamente; cuando así hacemos, descubrimos que todos los seres vivientes tienen un gran número de características en común.

El rasgo más común es que están hechos de células, dentro de cada una de las cuales hay un mecanismo complejo para hacer cosas químicamente. En las células de las plantas, por ejemplo, hay un mecanismo para recoger luz y generar sacarosa, la que es consumida en la oscuridad para mantener la planta viva. Cuando la planta está siendo comida, la sacarosa genera en el animal una serie de reacciones químicas muy estrechamente relacionadas con la fotosíntesis (y su efecto opuesto en la oscuridad) en las plantas.

En las células de los sistemas vivos hay muchas reacciones químicas complicadas en las cuales un compuesto se transforma en otro y viceversa. Para dar una idea del enorme esfuerzo que se ha hecho en el estudio de la Química, la figura siguiente resume nuestro conocimiento actualizado sobre justamente una pequeña parte de las muchas series de reacciones que ocurren en las células, quizás un pequeño porcentaje o algo así de ellas.

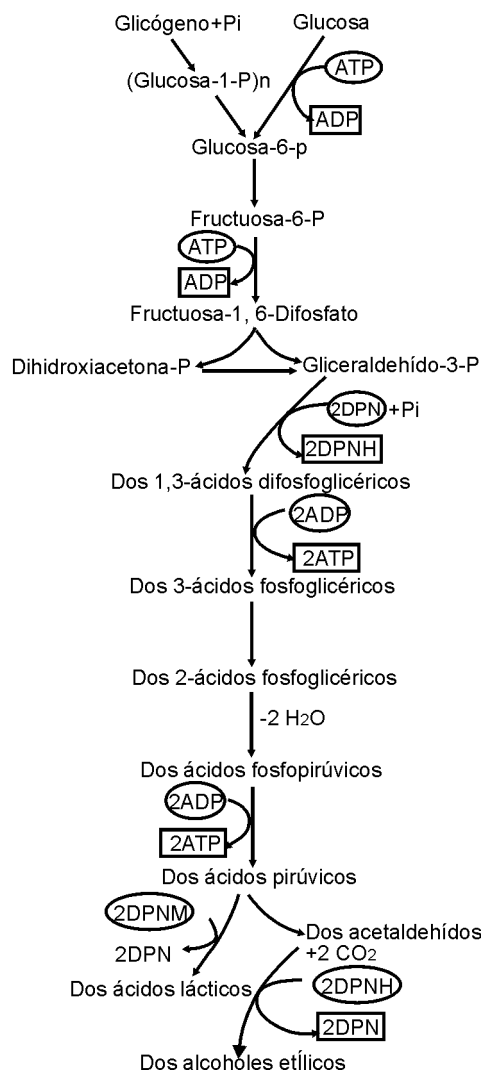


Figura 43. El ciclo de Krebs.

Aquí vemos una serie entera de moléculas que cambian de una a otra en una secuencia o ciclo de pasos más bien pequeños. Se le llama el ciclo de Krebs, el ciclo respiratorio. Cada uno de los compuestos químicos y cada uno de los pasos es bastante simple, en función de qué cambios se hacen en la molécula, pero –y esto es un descubrimiento central importante en Bioquímica– estos cambios son relativamente difíciles de llevar a cabo en un laboratorio. Si tenemos una sustancia y otra muy similar, la primera no se convierte simplemente en la otra porque las dos formas están corrientemente separadas

por una barrera o "loma" de energía. Consideren esta analogía: si queremos trasladar un objeto de un lugar a otro que está en el mismo nivel pero en el otro lado de una loma, podemos empujarlo por encima de la cumbre; pero hacerlo así requiere que se le agregue alguna energía. Así la mayoría de las reacciones químicas no ocurren, porque hay lo que se llama una *energía de activación* de por medio. Para agregar un átomo extra a nuestro compuesto químico se necesita que lo acerquemos lo suficiente para que pueda ocurrir un reordenamiento; entonces se pegará. Pero si no podemos darle la energía requerida para acercarlo suficientemente, no completará el propósito, realizará parte del camino hacia arriba de la loma y volverá hacia abajo de nuevo. Sin embargo, si pudiéramos literalmente tomar las moléculas en nuestras manos y empujar y tirar los átomos alrededor de tal manera de abrir un hueco para permitir la entrada de un nuevo átomo, y luego dejarlos volver, habríamos encontrado otro camino alrededor de la loma, el cual no necesitaría de energía extra, y la reacción procedería fácilmente. Ahora, realmente hay en las células moléculas muy grandes, mucho más grandes que aquellas cuyos cambios hemos estado describiendo, que en alguna forma complicada sujetan a las moléculas pequeñas en forma adecuada para que la reacción pueda realizarse fácilmente. Esas cosas muy grandes y complicadas se llaman *enzimas*. (Primeramente se llamaron fermentos porque se descubrieron originalmente en la fermentación del azúcar. En realidad, algunas de las primeras reacciones en el ciclo fueron descubiertas allí.) La reacción procederá en presencia de una enzima.

Una enzima está hecha de otra sustancia llamada *proteína*. Las enzimas son muy complicadas y cada una es diferente, estando cada una construida para controlar cierta reacción especial. Los nombres de las enzimas están escritos en la figura anterior en cada reacción. (Algunas veces la misma enzima puede controlar dos reacciones). Ponemos énfasis en que las enzimas mismas no intervienen directamente en la reacción. Ellas no cambian; solamente dejan pasar un átomo de un lugar a otro. Habiendo hecho esto, la enzima está lista para hacerlo con la próxima molécula, como una máquina de una fábrica. Por cierto, debe haber un suministro de ciertos átomos y una forma de disponer de otros átomos. Tómese el hidrógeno, por ejemplo: hay enzimas que sobre ellas tienen unidades especiales que transportan el hidrógeno para todas las reacciones químicas. Por ejemplo, hay tres o cuatro enzimas óxido-reductoras que se usan en diferentes lugares, sobre todo nuestro ciclo. Es interesante que el mecanismo que libera algún hidrógeno en un lugar tomará aquel hidrógeno y lo usará en algún otro lugar.

La característica más importante del ciclo de Krebs mostrado en la figura es la transformación de GDP en GTP (Guanosin di-fosfato en Guanosin tri-fosfato), porque una sustancia contiene mucha más energía que la otra. Justamente, así como hay una "caja" en ciertas enzimas para transportar átomos de hidrógeno, hay ciertas "cajas" transportadoras de energía que implican al grupo trifosfato. Entonces, la GTP tiene más energía que la GDP y si el ciclo se desplaza en un sentido, estamos produciendo moléculas que tienen una energía extra que puede movilizar otro ciclo que requiere energía, por ejemplo la contracción de un músculo. El músculo no se contraerá a no ser que haya GTP. Podemos tomar fibra muscular, ponerla en agua y agregar GTP, y las fibras se contraerán transformando GTP en GDP si está presente la enzima correcta. Así, el sistema real está en la transformación GDP-GTP; en la oscuridad la GTP, que se ha estado almacenando durante el día, se usa para producir el ciclo completo en la otra dirección. Una enzima, ustedes ven, no se preocupa en qué dirección procede la reacción pues, si lo hiciera, violaría una de las leyes de la Física.

La Física es de gran importancia en la Biología y otras ciencias por otra razón, que tiene que ver con técnicas experimentales. En realidad, si no fuera por el gran desarrollo de la Física experimental, estos cuadros bioquímicos no se conocerían hoy. La razón es que la herramienta más útil de todas para el análisis de este sistema fantásticamente complejo es *marcar* los átomos que se usan en las reacciones. Así, si pudiéramos introducir en el ciclo algún dióxido de carbono que tiene una "marca verde", y luego medir después de tres segundos dónde está la marca verde, y de nuevo medir después de 10 segundos, etc., podríamos seguir el curso de las reacciones. ¿Qué son las "marcas verdes"? Son *isótopos* diferentes. Recordemos que las propiedades químicas de los átomos están determinadas por el número de *electrones*, no por la masa del núcleo. Pero puede haber, en el carbono por ejemplo, seis neutrones o siete neutrones junto con los seis protones que tienen todos los núcleos de carbono. Químicamente, los dos átomos C^{12} y C^{13} son iguales, pero difieren en peso y tienen propiedades nucleares diferentes, y por eso son distinguibles. Usando estos isótopos de pesos diferentes, o aún isótopos radiactivos como el C^{14} , lo que da un medio más sensible para seguir cantidades muy pequeñas, es posible seguir las reacciones.

Ahora volvemos a la descripción de enzimas y proteínas. Todas las proteínas no son enzimas, pero todas las enzimas son proteínas. Hay muchas proteínas, tales como las proteínas de los músculos, las proteínas estructurales que están, por ejemplo, en los cartílagos, pelo, piel, etc., que no son enzimas en sí mismas. Sin embargo, las proteínas son una sustancia muy característica de la vida: en primer lugar forman todas las enzimas, y segundo, forman gran parte del resto de la materia viviente. Las proteínas tienen una estructura muy interesante y simple. Son una serie, o cadena, de diferentes *aminoácidos*. Hay veinte aminoácidos diferentes, y todos ellos pueden combinarse entre sí para formar cadenas cuya espina dorsal es CO-NH, etc. Las proteínas no son otra cosa que cadenas de varios de estos veinte aminoácidos. Cada uno de los aminoácidos sirve probablemente para algún propósito especial, llamados *esenciales*. Algunos, por ejemplo, tienen un átomo de azufre en cierto lugar; cuando dos átomos de azufre están en la misma proteína, forman un enlace, esto es, unen la cadena en dos puntos y forman un anillo. Otro tiene átomos de oxígeno extra que lo hace una sustancia ácida, otro tiene una característica básica. Algunos tienen grandes grupos colgando hacia afuera por un lado, de modo que ocupan mucho espacio. Uno de los aminoácidos llamado prolina no es realmente un aminoácido. Hay una pequeña diferencia, con el resultado que cuando la prolina está en la cadena hay un retorcimiento en la cadena. Si quisiéramos producir una proteína en particular, daríamos estas instrucciones: ponga uno de esos ganchos de azufre aquí; luego agregue algo que ocupe lugar; luego prenda algo para poner una enroscadura en la cadena. En esta forma obtendremos una cadena de aspecto complicado, enganchada a sí misma y teniendo una estructura compleja; presumiblemente ésta es justamente la manera en que se forman todas las variedades de enzimas. Uno de los grandes triunfos en los tiempos recientes (desde 1960), fue descubrir por fin la disposición atómica espacial exacta de ciertas proteínas, las que envuelven unos 56 a 60 aminoácidos en hilera. Más de un millar de átomos (más cercano a dos mil, si contamos los átomos de hidrógeno) han sido localizados en una estructura compleja en dos proteínas. La primera fue la hemoglobina. Uno de los aspectos tristes de este descubrimiento es que no podemos ver cosa alguna de esta estructura; no comprendemos cómo funciona y la forma en que lo hace. Por cierto, ése es el próximo problema por atacar.

Otro problema es: ¿cómo saben las enzimas qué cosa son? Una mosca de ojos rojos forma una mosca de ojos rojos, y así la información de la estructura entera de enzimas para hacer un pigmento rojo debe pasar de una mosca a la siguiente. Esto es hecho por una sustancia en el núcleo de la célula, no una proteína, llamada DNA (abreviación de ácido desoxiribonucleico). Esta es la sustancia clave que pasa de una célula a otra (por ejemplo, las células germinales femeninas (óvulos) y masculinos (espermatozoides) llamados gametos, en su núcleo comparten la información genética de cómo elaborar enzimas. Así el DNA es el “programa” de codificación. ¿Qué aspecto tiene el programa y cómo funciona? Primero, el programa debe ser capaz de reproducirse a sí mismo. Segundo, debe ser capaz de instruir a las proteínas. Respecto a la reproducción, podemos pensar que procede como en la reproducción celular. Las células simplemente aumentan de tamaño y luego se dividen por la mitad. ¿Deberá ser así con las moléculas de DNA, entonces, de modo que ellas también aumentan de tamaño y se dividen por la mitad? ¡Cada átomo por cierto no aumenta de tamaño y se divide por la mitad! No, es imposible reproducir una molécula, excepto de un modo algo más inteligente.

La estructura de la sustancia DNA fue estudiada por un largo tiempo, primero químicamente, para encontrar la composición, y luego con rayos X para encontrar la estructura en el espacio. El resultado fue el siguiente descubrimiento notable: la molécula de DNA es un par de cadenas enrolladas una sobre la otra. La espina dorsal de cada una de estas cadenas, que son análogas a las cadenas de las proteínas pero químicamente bastante diferentes, es una serie de grupos de azúcar y fosfato, como se muestra en la siguiente figura 44. Ahora vemos cómo la cadena puede contener instrucciones, pues si pudiéramos dividir esta cadena por la mitad, tendríamos una serie AT GC TA... y cada cosa viviente podría tener una serie diferente. Así tal vez, de alguna manera, las instrucciones específicas para la manufactura de proteínas están contenidas en la serie específica del DNA.

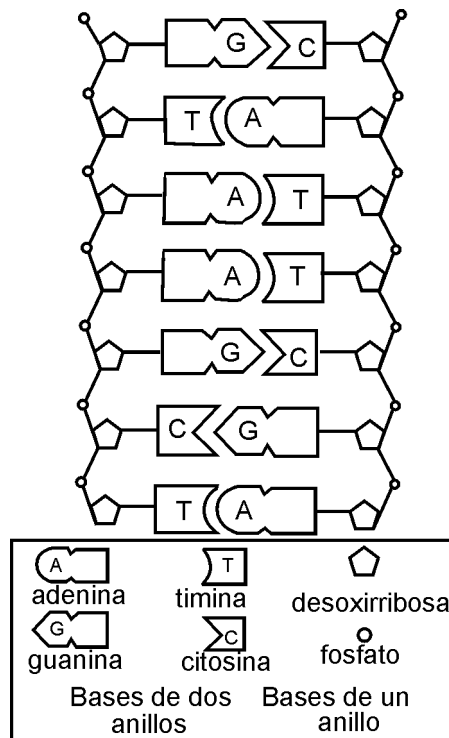


Figura 44. Diagrama esquemático del DNA.

Unidos a cada azúcar a lo largo de la línea, y ligando las dos cadenas entre sí, hay ciertos pares de uniones cruzadas. Sin embargo, no son todas de la misma naturaleza; hay cuatro tipos, llamados adenina (A), timina (T), citosina (C) y guanina (G), pero llamémoslas A, T, C, y G. La cosa interesante es que sólo ciertos pares pueden situarse uno opuesto al otro, por ejemplo A con T y C con G. Estos pares están puestos en ambas cadenas de tal manera que "encajan entre sí" y tienen una fuerte energía de interacción. Sin embargo, C no encajará con A, y T no encajará con C; *sólo encajarán en pares*, A contra T, y C contra G. Por lo tanto, si uno es C el otro debe ser G, etc. Cada una debe tener una letra complementaria específica en la otra cadena.

¿Qué pasa entonces con la reproducción? Supóngase que separamos esta cadena en dos. ¿Cómo podemos hacer otra justamente como ésta? Si en las sustancias de las células hay un departamento productor que entrega fosfato (PO_4), azúcar ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) y unidades de A, T, C, G, que no están conectadas en cadena, los únicos que se unirán a nuestra cadena separada serán los correctos, los complementos de TAAGC..., *es decir*, ATTTCG... Así lo que sucede es que la cadena se divide por la mitad durante la división celular, una mitad que terminará por ir con una célula y la otra mitad que terminará en la otra célula; cuando se separan, se forma una nueva cadena complementaria de cada mitad de cadena.

A continuación viene la pregunta, precisamente, ¿cómo determina el orden de las unidades A, T, C, G la disposición de los aminoácidos en la proteína? Este es el problema central no resuelto actualmente en Biología. Las primeras claves o partes de información, sin embargo, son éstas: hay en la célula pequeñísimas partículas llamadas microsomas, y se sabe ahora que éste es el lugar donde se fabrican las proteínas. Pero los microsomas no están en el núcleo, donde están el DNA y sus instrucciones. Algo parece que sucede. Sin embargo, también se sabe que pequeñas piezas moleculares se desprenden del DNA –no tan largas como la gran molécula de DNA que lleva toda la información en sí misma, pero como una pequeña sección de ella–. Ésta se llama RNA, pero esto no es esencial. Es una especie de copia del DNA, una copia resumida. El RNA, que en cierta forma lleva un mensaje acerca de qué proteína debe fabricar, va hacia el microsoma. Eso es conocido. Sin embargo, los detalles de cómo los aminoácidos entran y se disponen de acuerdo con el código que está contenido en el RNA, son, de pronto, aún desconocidos. No sabemos cómo leerlo. Si conociéramos, por ejemplo, la "alineación" A, T, C, C, G, no podríamos decirle a usted qué proteína será producida.

Ciertamente ninguna otra materia o campo está haciendo más progresos en tantos nuevos frentes en el momento presente que la Biología, y si tuviéramos que nombrar la suposición más poderosa de todas que conducen a uno más y más a un intento de comprender la vida, es aquélla en que *todas las cosas están hechas de átomos*, y en que todo lo que las cosas vivas hacen puede ser comprendido en términos de las agitaciones y movimientos de los átomos.

Astronomía

En esta explicación fugaz del mundo entero, debemos ahora pasar a la Astronomía. *La Astronomía es más antigua que la Física. En realidad, dio origen a la Física* al mostrar la hermosa simplicidad del movimiento de las estrellas y planetas, cuya comprensión fue el comienzo de la Física. Pero el descubrimiento más notable de toda la Astronomía es que *las estrellas están hechas de átomos de la misma naturaleza que los que se encuentran en la Tierra*.* ¿Cómo se hizo esto? Los átomos liberan luz que tiene frecuencias definidas. Algo así como el timbre de un instrumento musical que tiene tonos definidos o frecuencias de sonido. Cuando estamos escuchando varios tonos diferentes podemos distinguirlos, pero cuando miramos con nuestros ojos una mezcla de colores no podemos distinguir las partes de que está hecha, porque el ojo no es ni cercanamente tan discernidor como el oído a este respecto. Sin embargo, con un espectroscopio podemos analizar las frecuencias de las ondas luminosas y de esa manera podemos ver los tonos de los átomos que hay en las diferentes estrellas. De hecho, dos elementos químicos se descubrieron en una estrella antes que se descubrieran en la Tierra. El helio

* ¡Qué manera de precipitarnos a través de esto! Cuánto contenido tiene cada frase de esta breve historia. "Las estrellas están hechas de los mismos átomos que los de la Tierra". Corrientemente yo tomo un pequeño tópico como éste para dictar una clase. Los poetas dicen que la ciencia elimina la belleza de las estrellas –meros globos de átomos de gas-. Nada es "mero". Yo también puedo ver las estrellas en una noche despejada y sentir las. ¿Pero veo yo más o menos? La vastedad de los cielos ensanchan mi imaginación –clavado en este carrusel, mi pequeño ojo puede coger la luz de un millón de años de edad, una vasta estructura de la cual yo soy una parte- quizás mi material fue arrojado de alguna estrella olvidada, como el que está arrojando una allí. O verlas con el ojo más grande de Palomar, apartándose desde un punto común de partida donde quizás estuvieron todas juntas. ¿Cuál es la estructura, o el significado, o el porqué? No le hace daño al misterio conocer un poco de él. ¡Porque mucho más maravillosa es la verdad que la que cualquier artista en el pasado imaginó! ¿Por qué los poetas del presente no hablan de ella? ¿Qué hombres son los poetas que pueden hablar de Júpiter como si fuera un hombre, pero si es una inmensa esfera rotante de metano y amoníaco deben permanecer mudos?

fue descubierto en el Sol, de ahí su nombre, y el tecnecio fue descubierto en ciertas estrellas frías. Esto, por supuesto, nos permite progresar en la comprensión de las estrellas, porque ellas están hechas de los mismos tipos de átomos que existen en la Tierra. Ahora sabemos mucho acerca de los átomos, especialmente en cuanto a su comportamiento bajo condiciones de alta temperatura, pero no de alta densidad; así podemos analizar con la mecánica estadística el comportamiento de la sustancia estelar. *Aun cuando no podemos reproducir las condiciones en la Tierra usando leyes básicas de la Física, podemos a menudo decir precisamente, o muy aproximadamente, qué sucederá.*

Así es como la Física ayuda a la Astronomía. Por extraño que parezca, comprendemos la distribución de materia en el interior del Sol mucho mejor que lo que comprendemos el interior de la Tierra. Lo que sucede en el interior de una estrella se comprende mejor que lo que pudiera adivinarse de la dificultad de tener que mirar un pequeño punto luminoso a través de un telescopio, porque podemos calcular qué deben hacer los átomos en las estrellas en la mayoría de las circunstancias.

Uno de los descubrimientos más impresionantes fue el origen de la energía de las estrellas, que las hace continuar quemándose. Uno de los hombres que descubrió esto había salido con su amiga la noche siguiente de haberse dado cuenta que en las estrellas se debían estar produciendo *reacciones nucleares* para que brillaran. Ella dijo: "¡Mira qué bonito brillan las estrellas!" Él dijo: "Sí, justamente ahora soy el único hombre en el mundo que sabe por qué brillan". Ella simplemente se rió de él. Ella no estaba impresionada de haber salido con el único hombre del mundo que, en ese momento, sabía por qué brillan las estrellas. Bueno, es triste estar solo, pero así son las cosas en este mundo.

Es la "combustión" nuclear del hidrógeno la que suministra la energía del Sol; el hidrógeno se convierte en helio. Además, en última instancia, la producción de los diversos elementos químicos se verifica en los centros de las estrellas a partir del hidrógeno. El material del que estamos hechos nosotros fue "cocinado" una vez en una estrella y escupido hacia fuera. ¿Cómo lo sabemos? Porque hay una clave. La proporción de los diferentes isótopos (cuánto C^{12} , cuánto C^{13} , etc.) es algo que nunca cambia en las reacciones químicas, porque las reacciones químicas son tan idénticas para las dos. Las proporciones son puramente el resultado de reacciones nucleares. Observando las proporciones de los isótopos en el rescoldo frío y apagado en que estamos, podemos descubrir cómo fue el horno donde se formaron los materiales de que estamos hechos. Aquel horno fue como las estrellas, y así es muy probable que nuestros elementos fueron "hechos" en las estrellas y escupidos en las explosiones que llamamos novas y supernovas. La Astronomía está tan cerca de la Física que estudiaremos muchas cosas astronómicas a medida que prosigamos.

Geología

Ahora pasemos a lo que se llama *ciencias de la tierra*, o Geología. Primero la meteorología y el tiempo. Por cierto, que *los instrumentos de meteorología son instrumentos físicos, y el desarrollo de la Física experimental hizo posible estos instrumentos*, como se explicó anteriormente. Sin embargo, la teoría de la meteorología nunca ha sido investigada satisfactoriamente por los físicos. "Bien", dirán ustedes "no

hay otra cosa que aire, y conocemos las ecuaciones de los movimientos del aire". Sí, es cierto. "Así, si sabemos las condiciones del aire de hoy ¿por qué no podemos calcular las condiciones del aire de mañana?" Primero, no sabemos realmente cuál es la condición de hoy, porque el aire está arremolinándose y dando vueltas por todas partes. Resulta ser muy susceptible y aún inestable. Si han visto alguna vez correr suavemente el agua sobre una represa y luego convertirse en un gran número de burbujas y gotas cuando cae, comprenderán lo que quiero decir con inestable. Ustedes conocen la condición del agua antes que traspase el vertedero; es perfectamente tranquila; pero en el momento que comienza a caer, ¿dónde empiezan las gotas? ¿Qué determina lo grande que van a ser los trozos y dónde estarán? Esto no se sabe, porque el agua es inestable. Aún una masa de aire moviéndose suavemente, al traspasar una montaña se convierte en complejos remolinos y torbellinos. En muchos campos encontramos esta situación de *flujo turbulento* que no podemos analizar actualmente. ¡Dejemos rápidamente el asunto del tiempo y discutamos sobre Geología!

El asunto básico para la Geología es: ¿qué hace que la Tierra sea lo que es? Los procesos más obvios están al frente de nuestros ojos, los procesos de erosión de los ríos, los vientos, etc. Es bastante fácil comprenderlos, pero por cada poco de erosión hay algo más que está sucediendo. Las montañas no son más bajas hoy en promedio de lo que fueron en el pasado. Debe haber procesos *formadores* de montañas. Encontrarán, si estudian Geología, que hay procesos formadores de montañas y volcanismos, los que nadie comprende pero que son la mitad de la Geología. El fenómeno de los volcanes no se comprende realmente. Lo que produce un terremoto, a la postre, no se comprende. Se comprende que si hay algo empujando a otra cosa, cede repentinamente y se desliza –eso está bien–. Pero ¿qué es lo que empuja, y por qué? La teoría es que hay corrientes en el interior de la Tierra –corrientes circulantes, debido a la diferencia de temperatura interior y exterior–, las cuales en su movimiento empujan ligeramente la superficie. Así si hay dos circulaciones opuestas vecinas, la materia se acumula en la región donde se juntan y forman cadenas de montañas que están en condiciones desafortunadas de tensión y así producen volcanes y terremotos.

¿Qué pasa en el interior de la Tierra? Mucho se sabe acerca de la velocidad de las ondas sísmicas a través de la Tierra y la distribución de densidades de la Tierra. Sin embargo, los físicos han sido incapaces de obtener una buena teoría sobre lo densa que deberá ser una sustancia a las presiones que se esperarían en el centro de la Tierra. En otras palabras, no podemos calcular las propiedades de la materia muy bien en dichas circunstancias. Lo hacemos mucho menos bien con la Tierra que lo hacemos con las condiciones de la materia en las estrellas. La matemática implicada parece ser un poco difícil, hasta ahora, pero quizás no pasará mucho tiempo antes de que alguien se dé cuenta que es un problema importante y que realmente lo solucione. El otro aspecto, por cierto, es que aún si supiéramos la densidad, no podríamos calcular las corrientes de circulación. Tampoco podemos realmente deducir las propiedades de las rocas a elevadas presiones. No podemos decir con qué rapidez las rocas "cederán"; todo eso debe ser resuelto por el experimento.

Psicología

Consideremos a continuación la ciencia de la *Psicología*. Incidentalmente, el psicoanálisis no es una ciencia: en el mejor de los casos es un proceso médico, o quizás aún brujería. Tiene una teoría acerca de qué produce la enfermedad –muchos "espíritus" diferentes, etc.–. El hechicero tiene una teoría de que una enfermedad como la malaria está causada por un espíritu que viene del aire; no se sana agitando una culebra sobre él; en cambio, la quinina sí ayuda a la malaria. Así, si están enfermos, yo les aconsejaría que vayan al hechicero, porque es el hombre en la tribu que sabe más acerca de enfermedades; por otro lado, su conocimiento no es ciencia. El psicoanálisis no ha sido cuidadosamente comprobado por el experimento y no hay manera de encontrar una lista del número de los casos en los cuales resulta, el número de casos en que no resulta, etcétera.

Las otras ramas de la Psicología, que implican cosas como la fisiología de las sensaciones –qué sucede en el ojo, y qué sucede en el cerebro– son, si quieren, menos interesantes. Pero cierto progreso pequeño, pero real, se ha hecho al estudiarlas. Uno de los progresos técnicos más interesantes puede ser o no llamado Psicología. El problema central de la mente, si quieren, o del sistema nervioso es éste: cuando un animal aprende algo, puede hacer algo diferente de lo que podía hacer antes y sus células cerebrales deben haber cambiado también, si es que está hecho de átomos. ¿En qué sentido es diferente? No sabemos dónde mirar, o qué buscar, cuando algo se memoriza. No sabemos qué significa o qué cambio hay en el sistema nervioso cuando se aprende una realidad. Este es un problema muy importante que no ha sido resuelto en absoluto. Suponiendo, sin embargo, que existe algo como la memoria, el cerebro es una masa tan enorme de alambres y nervios interconectados que probablemente no puede ser analizado en una forma directa. Hay una analogía de esto con las máquinas computadoras y los elementos de computación, en que también tienen muchas líneas, y que tienen algún tipo de elemento análogo, quizás, a la sinapsis o conexión de un nervio con otro. Esto es una materia muy interesante que no tenemos tiempo de discutir más allá –las relaciones entre el pensamiento y las máquinas computadoras–. Debe apreciarse, por cierto, que esta materia nos dirá muy poco acerca de las complejidades reales del comportamiento humano ordinario. Todos los seres humanos son tan diferentes. Pasará mucho tiempo antes que lleguemos ahí. Debemos empezar mucho más atrás. Si pudiéramos siquiera deducir cómo funciona un perro, habríamos avanzado bastante. Los perros son más fáciles de comprender, pero nadie aún sabe cómo funcionan los perros.

¿Cuáles han sido los alcances y limitaciones de la Física en comparación con otras ciencias?

Para que la Física sea útil a las otras ciencias en una forma teórica, que no sea la invención de instrumentos, la ciencia en cuestión debe suministrar al físico una descripción del tema en el lenguaje del físico. Ellos pueden decir: "¿por qué salta una rana?", y el físico no puede contestar. Si ellos le dicen lo que es una rana, que hay tantas moléculas, que hay un nervio aquí, etc., eso es diferente. Si ellos nos dijeran, más o menos, a qué se parecen la Tierra y las estrellas, entonces podemos resolverlo. Para que la teoría física sea de alguna utilidad, debemos saber exactamente dónde están colocados los átomos. Para comprender la Química, debemos saber exactamente qué

átomos están presentes, pues de lo contrario no podemos analizarla. Esta es solamente la primera limitación, por supuesto.

Hay otro tipo de problema en las ciencias hermanas, que no existe en la Física; podemos llamarlo, a falta de un término mejor, el asunto histórico. ¿Cómo se llegó a eso? Si comprendemos todo acerca de la Biología, quisiéramos saber cómo todas las cosas que hay en la Tierra fueron a dar en ella. Existe la teoría de la evolución. Una parte importante de la Biología. En Geología, no sólo queremos saber cómo se están formando las montañas, sino cómo se formó la Tierra entera en el comienzo, el origen del sistema solar, etc. Esto, por supuesto nos conduce a querer saber qué tipo de materia existía en el mundo. ¿Cómo evolucionan las estrellas? ¿Cuáles fueron las condiciones iniciales? Este es el problema de la historia de la Astronomía. Se ha descubierto mucho acerca de la formación de las estrellas, de la formación de los elementos de los cuales estamos hechos y hasta un poco acerca del origen del Universo.

No hay problemas históricos que se estén estudiando en la Física actualmente. No tenemos una pregunta: "Aquí están las leyes de la Física, ¿cómo se llegó a ellas?" No nos imaginamos, por ahora, que las leyes de la Física están en cierto modo cambiando con el tiempo, que en el pasado fueran diferentes de lo que son en el presente. Por supuesto que pueden ser, y en el momento en que encontremos qué son, la pregunta histórica de la Física estará ligada con el resto de la historia del universo y entonces los físicos estarán hablando de los mismos problemas que los astrónomos, los geólogos y los biólogos.

Finalmente, hay un problema físico que es común a muchos campos, que es muy viejo y que no ha sido resuelto. No es el problema de encontrar nuevas partículas fundamentales, sino algo que quedó desde hace mucho tiempo atrás –más de cien años–. Nadie en la Física ha sido realmente capaz de analizarlo matemáticamente en forma satisfactoria a pesar de su importancia para las ciencias hermanas. Es el análisis de *fluidos circulantes o turbulentos*. Si observamos la evolución de una estrella, se llega a un punto donde podemos deducir que va a comenzar la convección, y a partir de esto ya no podemos deducir qué va a pasar. Unos pocos millones de años más tarde la estrella hace explosión, pero no podemos explicar la razón. No podemos analizar el tiempo. No conocemos los esquemas de los movimientos que debería haber en el interior de la Tierra. La forma más simple del problema es tomar una cañería que es muy larga y empujar agua a través de ella a gran velocidad. Preguntamos: para empujar una cantidad dada de agua a través de esa cañería, ¿cuánta presión se necesita? Nadie puede analizarlo partiendo de principios primarios y de las propiedades del agua. Si el agua fluye muy lentamente, o si usamos algo espeso como la miel, entonces podemos hacerlo exactamente. Ustedes lo encontrarán en su texto. Lo que no podemos realmente hacer es tratar con agua real y fresca que corre a través de una cañería. Este es el problema central que deberíamos resolver algún día y que no lo hemos hecho.

Decía una vez un poeta: "El Universo entero está en un vaso de vino". Probablemente nunca sabremos lo que quería decir, pues los poetas no escriben para ser comprendidos. Pero es cierto que si miramos un vaso de vino lo suficientemente cerca, vemos el universo entero. Ahí están las cosas de la Física: el líquido que se arremolina y se evapora dependiendo del viento y del tiempo, las reflexiones en el vidrio, y nuestra imaginación agrega los átomos. El vidrio es un destilado de las rocas terrestres y en su

composición vemos los secretos de la edad del universo y la evolución de las estrellas. ¿Qué extraño arreglo de elementos químicos hay en el vino? ¿Cómo llegaron a ser? Están los fermentos, las enzimas, los sustratos y los productos. Allí en el vino se encuentran la gran generalización: toda vida es fermentación. Nadie puede descubrir la química del vino sin descubrir, como lo hizo Louis Pasteur, la causa de muchas enfermedades. ¡Cuán vívido es el vino tinto que imprime su existencia dentro del conocimiento de quien lo observa! ¡Si nuestras pequeñas mentes, por alguna convivencia, dividen este vaso de vino, este universo, en partes –Física, Biología, Geología, Astronomía, Psicología, etc.–, recuerden que la naturaleza no lo sabe! Así, reunamos todo de nuevo sin olvidar en última instancia para qué sirve. Dejemos que nos dé un placer final más: ¡bébanlo y olvídense de todo!

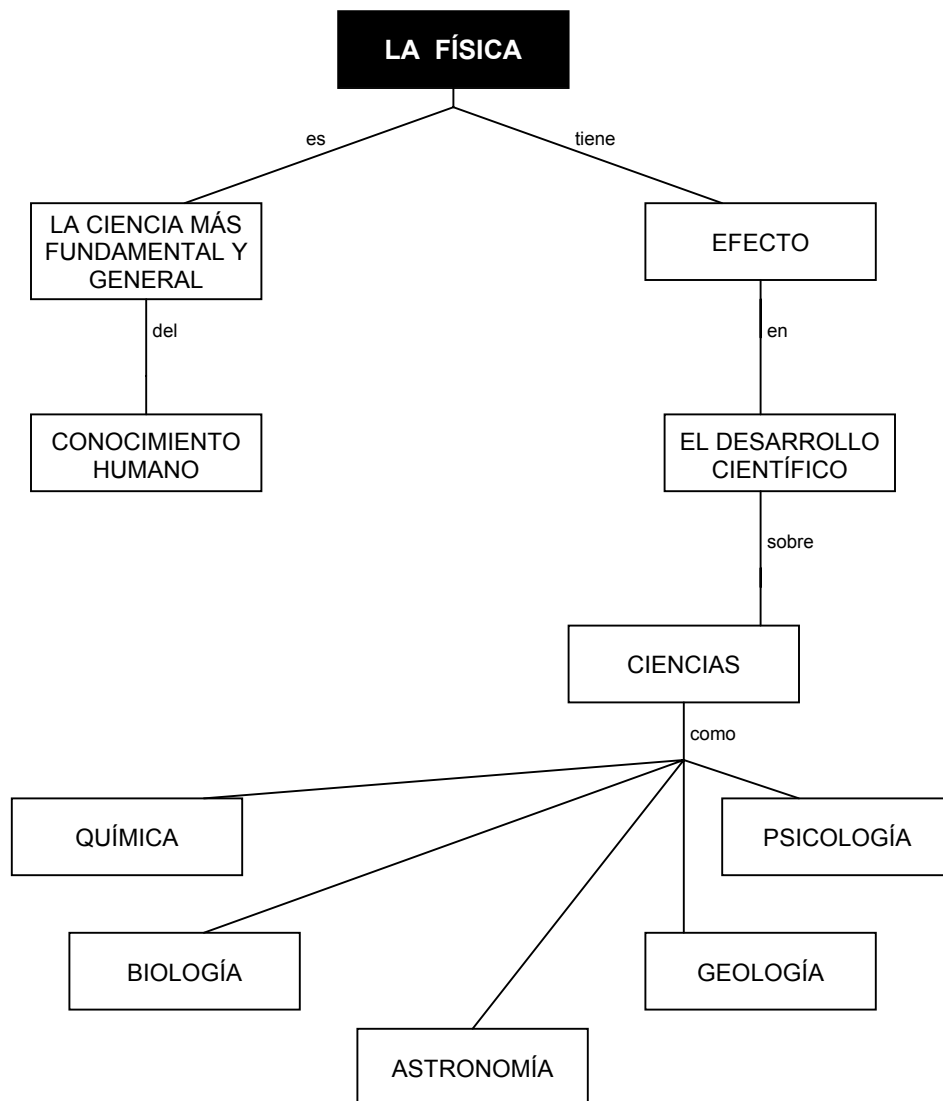
ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

Basándote en la lectura anterior, describe brevemente la relación que tiene la Física con las siguientes ciencias para reafirmar lo aprendido en el tema.

CIENCIA	DESCRIPCIÓN
QUÍMICA	
BIOLOGÍA	
ASTRONOMÍA	
GEOLOGÍA	
PSICOLOGÍA	

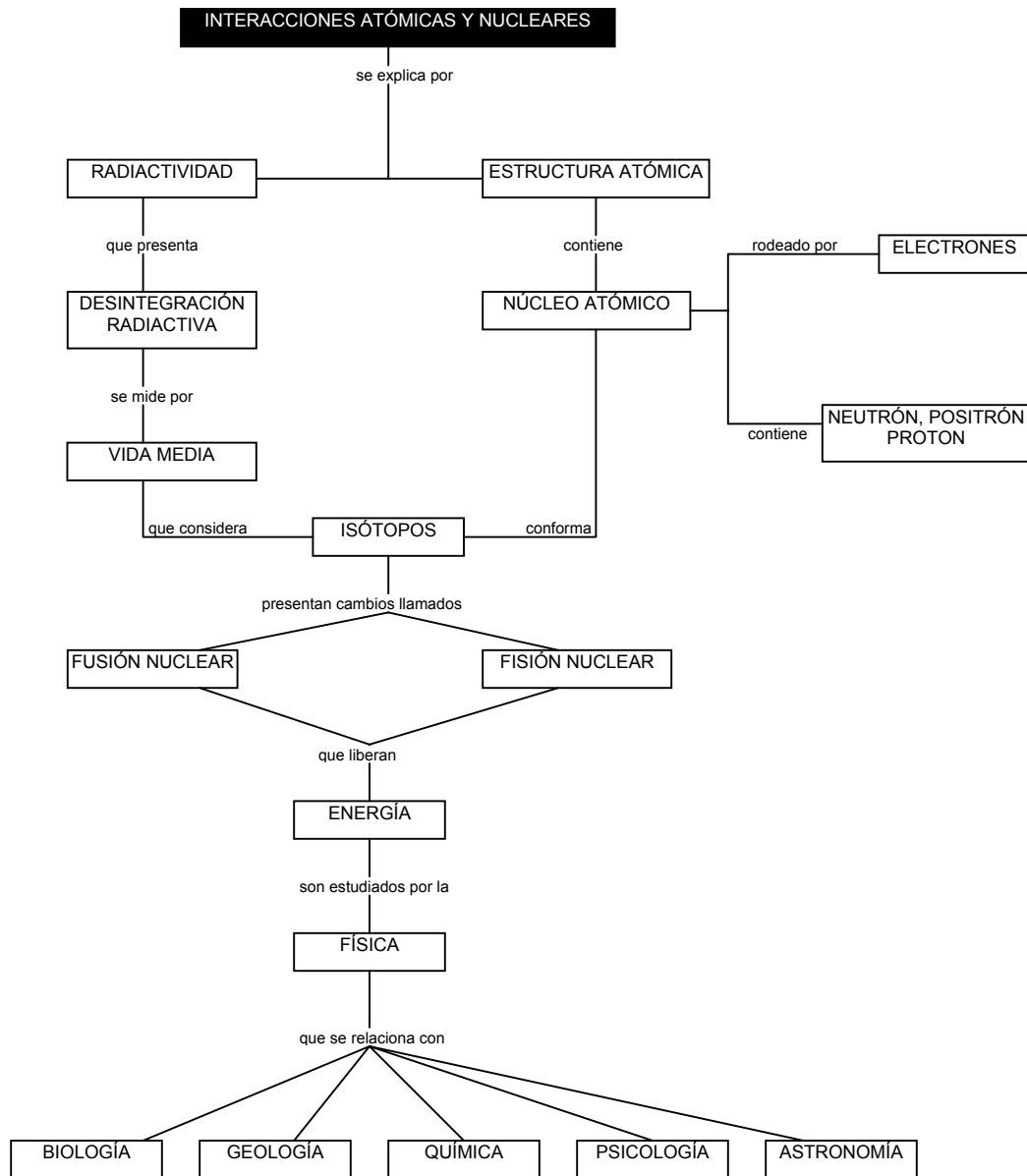
EXPLICACIÓN INTEGRADORA

En el siguiente mapa conceptual podrás reconocer la importancia que tiene la Física en el conocimiento científico.



RECAPITULACIÓN

Para que reconozcas lo estudiado en este capítulo, desarrolla una síntesis a partir del siguiente esquema. Puedes complementarlo añadiendo otros conceptos y relaciones entre ellos.



ACTIVIDADES INTEGRALES

Con la intención de que reafirmes lo aprendido sobre las interacciones atómicas y nucleares, realiza lo que se te pide a continuación:

I. Relaciona ambas columnas, poniendo dentro del paréntesis la letra que corresponda:

- | | |
|--|--------------------------|
| a) Partícula positiva de masa pequeña | () Neutrón |
| b) Radiaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia, alto poder de penetración | () Radiación α |
| c) De las radiaciones α , β y γ ¿cuál tiene mayor poder de ionización, pero poco poder de penetración? | () Radiación γ |
| c) Tienen carga positiva y se identifican como átomos de helio que han perdido sus electrones | () Radiación β |
| e) Con su descubrimiento marcó el inicio de la Física nuclear | |

II. En los siguientes cuestionamientos coloca dentro del paréntesis la letra que corresponda:

1. Descubrió que una solución de sal de uranio funcionaba como agente radiactivo, sin la necesidad de ser expuesto al Sol y, con ello, que la radiación era independiente de la influencia de la luz solar.

- | | |
|---------------|-------|
| a) Röntgen | () |
| b) Becquerel | |
| c) Rutherford | |
| d) Curie | |

2. Realizó la separación del polonio y el radio mediante el tratamiento químico de una tonelada de peblenda.

- | | |
|---------------|-------|
| a) Röntgen | () |
| b) Becquerel | |
| c) Rutherford | |
| d) Curie | |

3. Al someter un campo electromagnético a radiaciones α y β ¿con qué signo resultan sus cargas?
- a) Ambas partículas con carga positiva ()
 - b) Ambas partículas con carga negativa
 - c) Las partículas α con carga positiva y las partículas β con carga negativa
 - d) Las partículas α con carga negativa y las partículas β con carga positiva
4. ¿Qué fenómeno físico ocurre cuando un determinado núcleo pierde su identidad original convirtiéndose en un núcleo distinto?
- a) Una transmutación ()
 - b) Una desintegración
 - c) Una dispersión
 - d) Una integración
5. ¿De qué depende la desintegración de un núcleo atómico?
- a) Temperatura ()
 - b) Presión
 - c) Densidad
 - d) Número de neutrones
6. ¿Mediante qué proceso se produce la fisión? ()
- a) Se forma un núcleo pesado mediante la colisión de núcleos ligeros
 - b) Se forman dos o más núcleos a partir del bombardeo de dos o más núcleos pesados
 - c) Cuando tiene lugar una reacción en cadena
 - d) Se emiten uno o más neutrones en una transmutación
7. ¿En qué tipo de estimaciones podemos usar la expresión de Einstein: $E = mc^2$?
- a) Estimar la energía cinética de los productos de fisión ()
 - b) Estimar la energía requerida para producir la fisión
 - c) Estimar el defecto de masa que se observa en un fenómeno de fisión
 - d) Estimar la energía total, liberada en un proceso de fisión
8. ¿Qué papel desempeña un reactor nuclear en una planta nucleoelectrónica?
- a) Generador eléctrico ()
 - b) Fuente de calor
 - c) Turbina
 - d) Transformador de calor en energía eléctrica

III. Resuelve los siguientes problemas:

1. Si la vida media de cierto isótopo radiactivo es de 10 días, ¿en cuánto tiempo quedará $1/128$ de dicho isótopo?
2. Considerando que la intensidad de la radiación solar sobre la Tierra es del orden de 1 Kw/m^2 y que la energía liberada es posible estimarla con la expresión $E_{\text{liberada}} = (\Delta m) c^2$; comprueba que la intensidad de la radiación solar total, a la distancia que hay, entre el Sol y la Tierra, es del orden de $3 \times 10^{23} \text{ Kw}$ ó $3 \times 10^{26} \text{ watts}$.

AUTOEVALUACIÓN

Ahora te presentamos las respuestas que debiste considerar para tus Actividades Integrales, con la intención de que revises tu nivel de aprendizaje.

I. Relación de columnas.

- (e)
- (c)
- (b)
- (d)

II. Cuestionario.

1. (b) Becquerel.
2. (d) Curie.
3. (c) Las partículas α con carga positiva y las partículas β con carga negativa.
4. (b) Una desintegración.
5. (d) Número de neutrones.
6. (b) Se forman dos o más núcleos a partir del bombardeo de dos o más núcleos pesados.
7. (c) Estimar el defecto de masa que se observa en un fenómeno de fisión.
8. (b) Fuente de calor.

III. Problemas.

1. Días: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70
Producto: 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128

2. La radiación total del Sol a la distancia que hay entre él y la Tierra, se debe entender como la radiación que se emite en el área de una esfera cuyo radio es la distancia Sol-Tierra. Por lo tanto, primero debes calcular dicha área mediante la expresión $4\pi r^2$, considerando que $r = 1.49 \times 10^{11} \text{ m}$ (distancia Sol - Tierra). En segundo lugar, si la radiación en 1 m^2 de esa área es de 1 Kw ¿cuál será para el área que obtienes?

$$A = 4\pi r^2$$

$$A = 4(3.1416)(1.49 \times 10^{11} \text{ m})^2$$

$$A = 2.78 \times 10^{23} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ m}^2 \text{ — } 1 \text{ kw}$$

$$2.78 \times 10^{23} \text{ m}^2 \text{ — } X$$

$$X = \frac{1 \text{ kw} (2.78 \times 10^{23} \cancel{\text{m}^2})}{1 \cancel{\text{m}^2}}$$

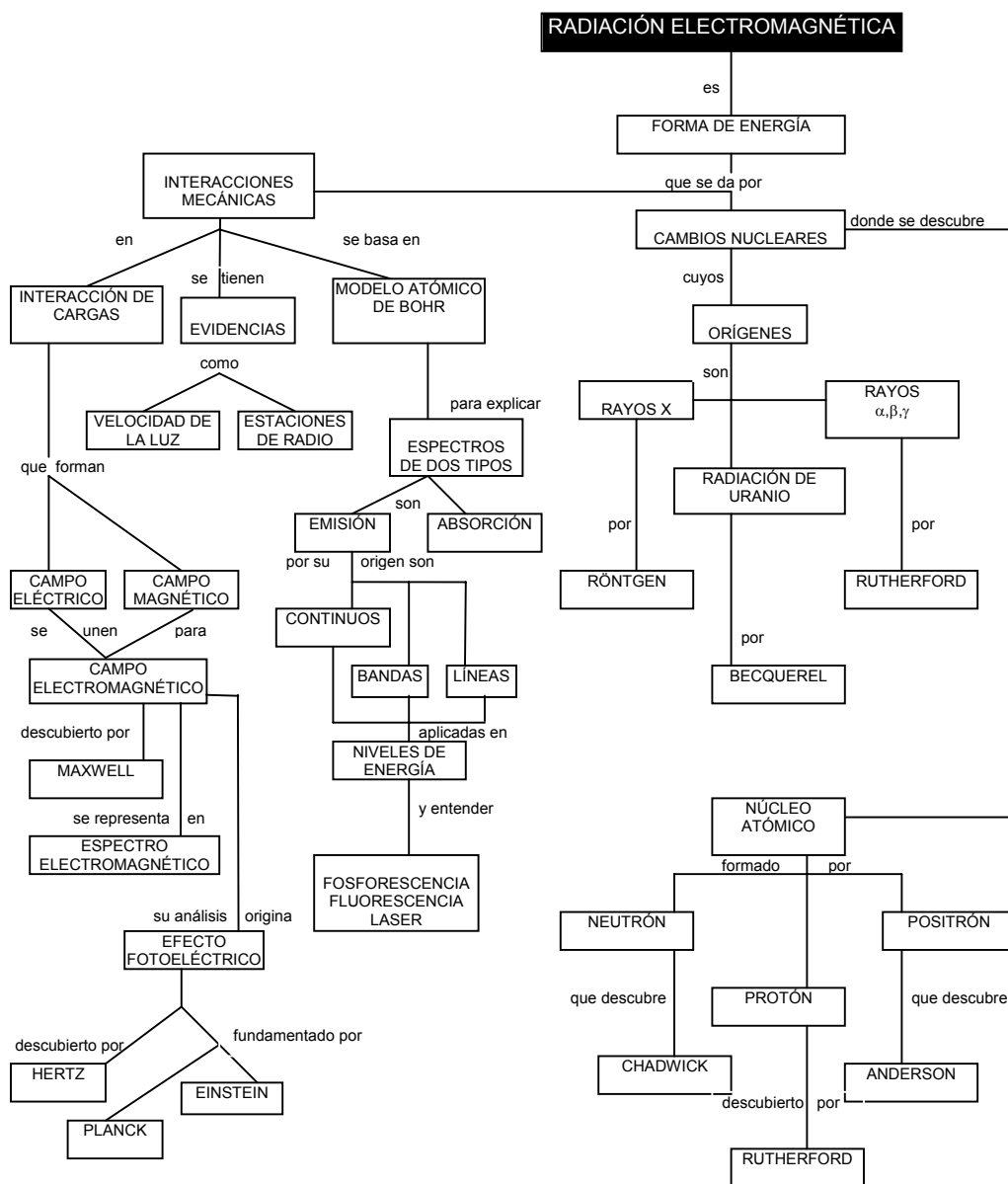
$$X = 2.78 \times 10^{23} \text{ kw}$$

$$2.78 \times 10^{23} \cong 3.0 \times 10^{23}$$

$$3.0 \times 10^{23} \cancel{\text{kw}} \times \frac{10^3 \text{ w}}{\cancel{\text{kw}}} = 3 \times 10^{26} \text{ w}$$

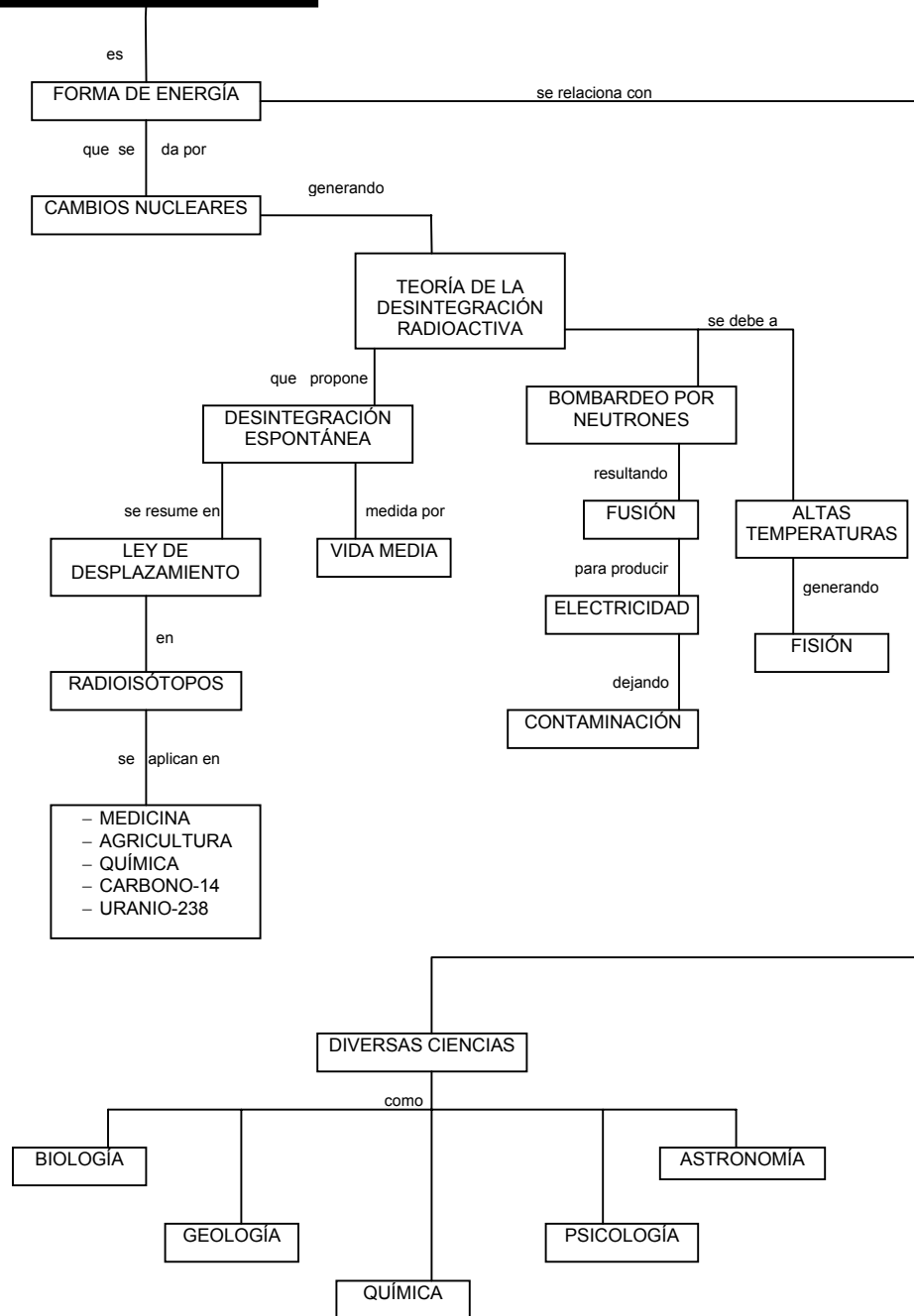
RECAPITULACIÓN GENERAL

El siguiente mapa conceptual* muestra los contenidos más importantes de este fascículo. Revisalo y podrás reconocer la relación que existe entre los temas abordados.



* La última ramificación del mapa conceptual continúa en la siguiente página.

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA



ACTIVIDADES DE CONSOLIDACIÓN

Con la intención de que reafirmes tus conocimientos sobre *radiación electromagnética e interacciones atómicas y nucleares*, resuelve lo que te pedimos enseguida:

I. Relaciona ambas columnas, colocando dentro del paréntesis la letra que corresponda al enunciado correcto:

- | | |
|---|-----------------------|
| a) Elemento usado en la bomba atómica sobre Nagasaki. | 1. () Tritio |
| b) Cambio nuclear que sucede a 10^8 °C. | 2. () Fisión nuclear |
| c) Vida media del carbono-14. | 3. () Rayos X |
| d) Carga eléctrica del electrón. | 4. () Plutonio |
| e) Equivale a los átomos de helio. | 5. () Rayos α |
| f) Cambio nuclear debido al bombardeo de neutrones sobre el uranio-238. | 6. () 5 568 años |
| g) Isótopo del hidrógeno. | 7. () Fusión nuclear |
| h) Permite fotografiar objetos ocultos. | |

II. En los siguientes enunciados, coloca en el paréntesis de la izquierda una letra F si es falso y V si es verdadero.

8. () Los rayos gamma Λ son de menor penetración que los rayos alfa α y beta β .
9. () Un átomo de radio emite una partícula alfa α y pierde una carga positiva de 2 con una masa de 4 protones.
10. () El tiempo de vida media es suficiente para que la mitad del total de núcleos hayan decaído.
11. () Un electrón al caer de nivel de energía absorbe un fotón de luz.
12. () El efecto fotoeléctrico es el desplazamiento de neutrones en la superficie de una sustancia.
13. () De acuerdo a Rutherford las sustancias radiactivas emiten rayos α , β , γ .
14. () Cuando un núcleo original emite una partícula β el núcleo atómico aumenta uno.
15. () La fusión consiste en la unión de dos núcleos ligeros para formar un solo núcleo más ligero.

16. () La Física es el equivalente actual de lo que acostumbraban llamar filosofía natural.
17. () Cerca de una corriente eléctrica existe un campo eléctrico.

AUTOEVALUACIÓN

Ahora te presentamos las respuestas que debiste obtener para las Actividades de Consolidación, revísalas y con ello verificarás tus aciertos o equivocaciones para poder ubicar tu nivel de aprendizaje sobre este compendio fasciculado de Física III.

I. Relación de columnas.

1. (g)
2. (f)
3. (h)
4. (a)
5. (e)
6. (c)
7. (b)

II. Falso y verdadero.

8. (F)
9. (V)
10. (V)
11. (F)
12. (F)
13. (V)
14. (V)
15. (F)
16. (V)
17. (F)

GLOSARIO

Electromagnetismo: Estudio de los fenómenos eléctricos y magnéticos. Su progresiva unificación parte de las relaciones observadas entre ambos, evidenciadas por Oersted (1819) y cuantificadas por Ampere y Faraday. El descubrimiento de la autoinducción (1831) despejó camino a realizaciones técnicas de vastas consecuencias: el motor eléctrico y la generación de electricidad de uso público. La síntesis teórica, obra de Maxwell (1860) y los trabajos de Lorentz, plasmaron incompatibilidad con la Física clásica que sólo pudieron aclararse con la Teoría de la relatividad. La conciliación entre electromagnetismo y la Física cuántica es obra de Einstein (Teoría del efecto fotoeléctrico, 1905).

Espectro: Imagen de una radiación luminosa (arcoiris), obtenida después de haber sido descompuesta en las diversas radiaciones simples que la integran. Si la radiación procede de cuerpos incandescentes se produce un espectro de emisión. Los espectros de absorción son rayas negras que corresponden a las radiaciones simples absorbidas por cuerpos interpuestos en el foco emisor de radiaciones luminosas y espectroscopio.

Radiaciones nucleares: Presentan movimiento ondulatorio a la velocidad de la luz.

C = Velocidad de la luz 300 000 000 m/s

Radiación nuclear	Símbolo	Masa u.m.a.	Carga	Velocidad	Penetración	Identidad	Efecto ionizante
Alfa α	${}^4_2\text{He}$	4.0026	2+	0.1 C	baja	núcleo de helio	alta
Beta β	$-ie$	0.00055	1-	0.9 C	baja a moderada	electrón	moderada
Gamma γ	γ	0	0	C	alta	radiación electromagnética	baja
Neutrón	${}^1_0\text{n}$	1.0087	0	0.00001 a 0.1 C	muy alta	neutrón	baja

Radioisótopo: Cada uno de los isótopos radiactivos de un elemento químico determinado.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ABOITES**, Vicente. El laser. La ciencia desde México. FCE-SEP-Caballito-Conacyt, México, 1991.
- ALVARENGA**, Máximo. Física General. 3ª. ed., Harla, México, 1983.
- BELTRÁN L.**, Virgilio. Para atrapar un fotón. La ciencia desde México. FCE-SEP-Caballito-Conacyt, México, 1992.
- BRADWEIN**, *et al.*. Física. La energía, sus formas y sus cambios. Publicaciones Cultural, México, 1973.
- DE LOS REYES**, Jorge. Física moderna 5. Limusa-SEA. Colegio de Bachilleres, México, 1981.
- FEYMAN**, Richard. Física. Mecánica, radiación y calor. Vol. I, Fondo Educativo Interamericano, Bogotá.
- GAMOW**, George. Materia, tierra y cielo. 3ª. ed., CECSA, México, 1974.
- GENZER-SCHAIM**, *et. al.*. Física. Publicaciones Cultural. 4ª. reimp., México, 1981.
- HABER-SCHAIM**, *et. al.*. Física. PSSC. 3ª. ed., Reverté, España, 1975.
- HEWITT**, Paul G.. Conceptos de Física. Limusa-Noriega Editores, México, 1992.
- LOVETT** C., Bárbara. Los creadores de la nueva Física. Los físicos y la teoríacuántica. FCE, México, 1983.
- RICKARDS** C., Jorge. Las radiaciones: reto y realidades. La ciencia desde México. Conacyt, México, 1988.
- SEGRE**, Emilio. De los rayos X a los quarks. Folios Ediciones, México, 1983.
- TIPPENS** E., Paul. Física: conceptos y aplicaciones. 2ª. ed., McGraw-Hill Interamericana, México, 1988.
- WHITE** Harvey, E.. Física moderna. Vol. II, Limusa-Noriega Editores, México, 1992.

DIRECTORIO

Jorge González Teyssier
Director General

Javier Guillén Anguiano
Secretario Académico

Francisco Lara Almazán
Coordinador Sectorial Norte

Alfredo Orozco Vargas
Coordinador Sectorial Centro

Hector de Ita Montaña
Coordinador Sectorial Sur

Álvaro Álvarez Barragán
**Coordinador de Administración Escolar
y del Sistema Abierto**

José Noel Pablo Tenorio
Director de Asuntos Jurídicos

María Elena Saucedo Delgado
Directora de Servicios Académicos

María Elena Solís Sánchez
**Director de Información y Relaciones
Públicas**

Ricardo Espejel
Director de Programación

Lilia Himmelstine Cortés
Directora de Planeación Académica

Héctor J. Castellanos Orozco
Director Administrativo

Mario Enrique Martínez de Escobar y Ficachi
Director de Extensión Cultural

Jaime Osuna García
Director de Recursos Financieros

AGRADECEMOS LA PARTICIPACIÓN DE:

*Nazarena Anza Garrido
Leonel Bello Cuevas
Hugo Alfredo Camacho Sierra
Javier Darío Cruz Ortiz
Amalia España Zamudio
Teresa Inés Fernández de Lara Ramírez
Jesús Ernesto Flores López
Eduardo Pérez Pascual*