

**COLEGIO DE BACHILLERES**  
**DIRECCIÓN DE PLANEACIÓN ACADÉMICA**  
**COORDINACIÓN DEL SISTEMA DE ENSEÑANZA ABIERTA**

**QUÍMICA II**  
**FASCÍCULO II**  
**ESTRUCTURA ATÓMICA Y CAMBIOS NUCLEARES**

*Reyna Dalia Campos Vargas*  
*José Guadalupe Monroy*

## INTRODUCCIÓN

Durante los primeros 150 años de la Química moderna, aproximadamente de 1750 a 1900, se reunió gran cantidad de información sobre los elementos y los compuestos, y se propusieron diversas leyes y teorías; sin embargo, el comportamiento de la materia es tan complejo que es necesario seguir investigando y experimentando para tratar de explicarlo.

En el fascículo I de Química II se analizaron los trabajos de Dalton y cómo éstos lo llevaron a concluir sobre la existencia del átomo. En esta entrega presentaremos los experimentos que se han hecho para comprender la estructura interna de los átomos y el desarrollo de los diferentes modelos que han tratado de explicar sus propiedades.

## CUESTIONAMIENTO GUÍA

John Dalton propuso la teoría de que la materia está formada por átomos; pero, ¿son los átomos indivisibles e indestructibles?, ¿los átomos de un mismo elemento tienen la misma masa como propuso Dalton?

Como éstas, existen muchas interrogantes acerca del comportamiento de la materia, entre las cuales se pueden citar las siguientes, que son del dominio de la Fisicoquímica: ¿Por qué ciertos objetos al frotarse se electrifican? ¿Qué son los relámpagos y las chispas que surgen en cualquier descarga eléctrica? ¿Qué relación existe entre materia y electricidad? ¿Cómo se forma el arco iris?

En una sociedad moderna hay gran cantidad de aparatos que nos facilitan la vida, ejemplo de ello son los tubos de anuncios luminosos, las lámparas de vapor de sodio que iluminan con su luz amarilla las calles de nuestra ciudad, o el televisor, que nos es tan familiar; pero, ¿te has puesto a pensar en cuál es su origen o cómo funcionan?

Así como existen objetos que facilitan nuestras actividades diarias, hay otros sobre los cuales te habrás preguntado: ¿La energía atómica es nuestra amiga? ¿En qué lugares se realizan procesos radiactivos? ¿Qué protección existe contra la emisión de partículas radiactivas? ¿Por qué produce tanta potencia la energía atómica? ¿Cómo podría conocerse parte de nuestro pasado mediante la radiactividad? ¿Existen posibilidades reales en este momento para solicitar que se cierren todas las plantas nucleares del mundo sin que se afecte el suministro actual y futuro de energía eléctrica?

Las respuestas a estas y otras preguntas las encontrarás en este fascículo al estudiar la estructura de los átomos y los fenómenos nucleares.

## NATURALEZA ELÉCTRICA DE LA MATERIA

Cuando se frota una regla de plástico sobre la piel o el cabello se observa que ésta puede atraer pequeños trozos de papel. Este fenómeno ya lo habían notado los griegos, aunque ellos no usaban reglas de plástico, sino barras de ámbar. Al frotarse con un paño de lana, el ámbar, adquiere una carga eléctrica y, como la regla de plástico, puede atraer objetos pequeños, como la paja; sin embargo, no sólo el ámbar y la regla de plástico pueden adquirir carga eléctrica, también otros materiales, como el vidrio cuando se frota con tela de seda. Pero resulta que la carga que adquiere el vidrio es distinta a la del ámbar, puesto que entre ambos salta una chispa cuando se ponen en contacto (si la carga electrostática es muy grande).

Durante mucho tiempo la electricidad se consideró como un fluido que pasaba de un material a otro, lo que explicaba el porqué de la chispa. Posteriormente, por convención, se definió que la carga de una varilla de vidrio es positiva y que la de ámbar es negativa.

### ACTIVIDADES

La diferencia de cargas se puede comprobar fácilmente si haces un experimento como el que se muestra en la figura 1, en que se emplea una barra de plástico, otra de vidrio, un pedazo de piel y otro de tela que no sea de lana, y dos globos suspendidos por hilos separados, de manera que puedan moverse con libertad.

Frota la barra de plástico con la piel y acércala al péndulo. Observarás que la barra atrae la esfera hasta hacer contacto con ella y después la rechaza. Este fenómeno se explica porque al frotar la barra de plástico con la piel adquiere carga negativa; al hacer contacto con los globos les imparte carga negativa por contacto y finalmente la rechaza porque cargas de igual signo se repelen. Al repetir el experimento con la varilla de vidrio y la tela sucede el mismo fenómeno, pues al frotar la varilla de vidrio con la tela adquiere carga positiva, y al hacer contacto con el globo le transfiere a éste la carga positiva; después la rechaza porque cargas de igual signo se repelen. Los globos se atraen cuando se toca uno con la varilla de plástico y otro con la de vidrio.

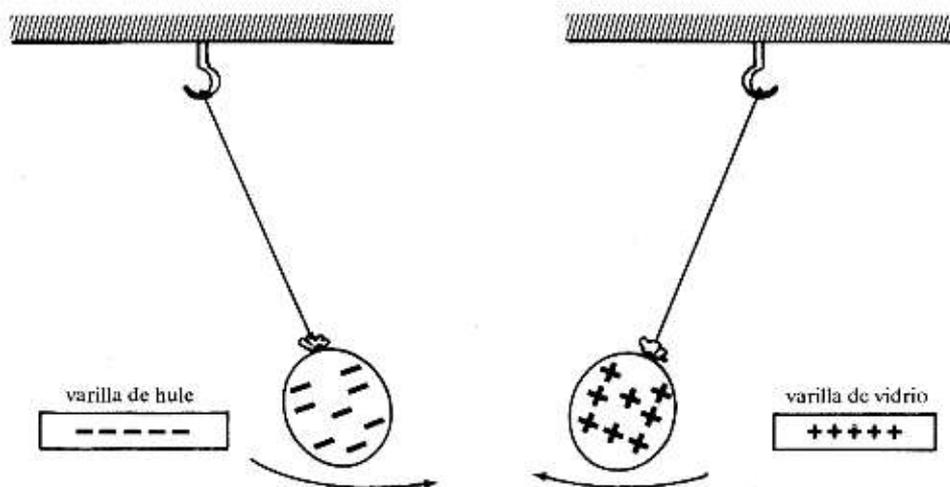


Figura 1. Propiedades eléctricas de la materia y los dos tipos de carga.

Del experimento anterior se concluye que cargas del mismo signo se repelen y cargas de diferente signo se atraen.

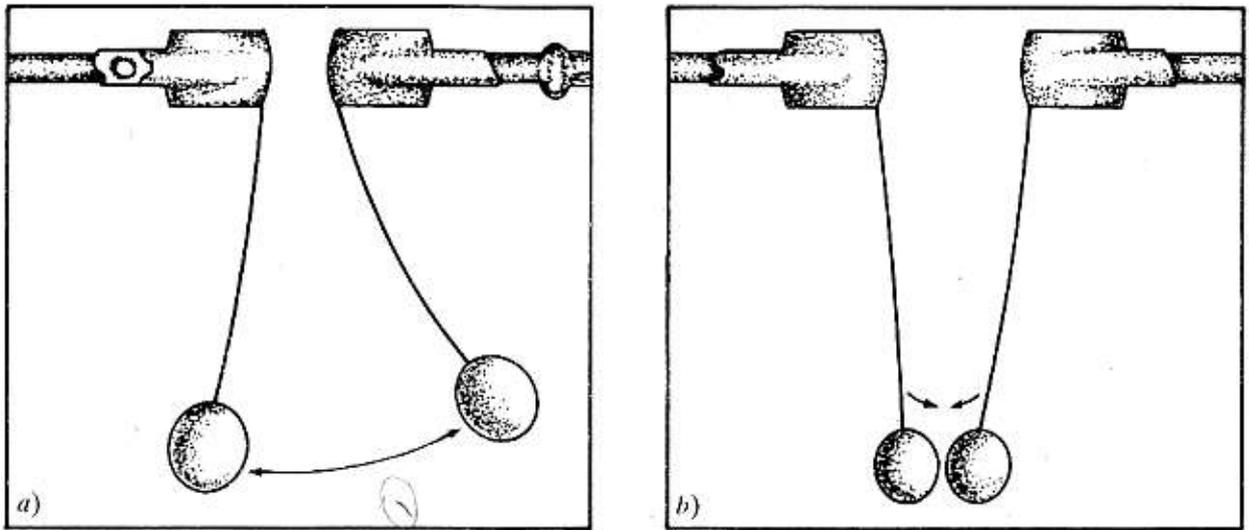


Figura 2. a) Cargas eléctricas de signo igual se repelen; b) Cargas eléctricas de signo contrario se atraen.

En general, se considera que los cuerpos adquieren carga eléctrica cuando se frotan, lo cual se debe a que los electrones pasan de un cuerpo a otro. De este modo, los cuerpos adquieren carga positiva cuando pierden electrones y negativa cuando los gana. Asimismo, si dos cuerpos adquieren la misma carga, pero de diferente signo, y se ponen en contacto, se volverán neutros porque sus cargas totales se redistribuyen de manera uniforme, y si estos cuerpos se encuentran separados, pero conectados por un trozo de alambre metálico, también se volverán neutros, lo cual demuestra que la carga es capaz de fluir a través del metal. Al paso de la carga por un alambre se le llama *corriente eléctrica*.

Por otra parte, las cargas no sólo pueden transportarse a través del metal, también lo hacen a través de las disoluciones, aunque con mayor dificultad tanto en el aire como en el vacío, como se observa en los rayos o relámpagos. Un relámpago es una chispa que se forma porque la atmósfera adquiere una carga y la tierra adquiere otra diferente; lo mismo sucede si acercamos varillas de diferente carga.

Fue Michael Faraday (1791-1867), al estudiar sistemáticamente el paso de la corriente eléctrica en soluciones (fenómenos electrolíticos), quien introdujo los términos de *ion*, *ánodo* y *cátodo*: el ion es la partícula cargada en disolución; el ánodo, la placa o electrodo al cual se dirigen los iones negativos, y el cátodo, la placa o electrodo hacia el cual se dirigen los iones positivos.

Las interacciones de los cuerpos cargados se miden cuantitativamente en términos de la fuerza de atracción o de repulsión entre ellos. Esta fuerza depende de la cantidad de carga eléctrica de cada objeto,  $Q^+$  y  $Q^-$ , y es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa ( $d$ ), donde  $K$  es una constante de proporcionalidad, relación que se conoce como *Ley de Coulomb*.

$$F = \frac{K Q^+ Q^-}{d^2}$$

En el Sistema Internacional de unidades (SI), la unidad de carga se expresa en coulombs (C). En este caso la cantidad de carga no se define mediante la Ley de Coulomb, sino que se relaciona con el flujo de carga a través

de un conductor y se define como la carga que se transfiere a través de cualquier sección transversal de un conductor en un segundo, cuando la corriente es constante e igual a un amperio.

$$1C = 6.25 \times 10^{18} \text{ electrones.}$$

## TUBO DE RAYOS CATÓDICOS

Si dos alambres se someten a un salto potencial eléctrico y después se acercan, surgirá una chispa o un arco entre los dos; mas si sus extremos están dentro de un tubo de vidrio sellado (figura 3), donde se hace un vacío casi completo, la descarga de un alambre a otro queda considerablemente atenuada. Esta descarga se llama *rayo catódico*, y provoca una débil luminiscencia amarillo-verdosa.

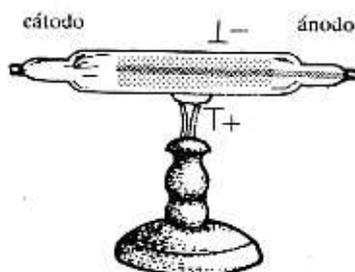


Figura 3. Tubo de rayos catódicos.

Fueron J. Plücker, Johann Hittorf y William Crookes quienes demostraron, en 1858, que los rayos catódicos:

1. Producen luminiscencia en una pantalla fluorescente colocada en su trayectoria y paralela a ella (figura 4).

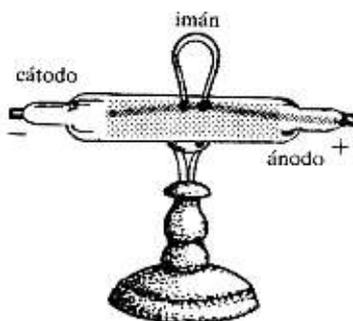


Figura 4. Luminiscencia de los rayos catódicos y desviación de los mismos con un imán.

2. Se desplazan en línea recta, y se alejan del cátodo, a menos que los afecte una fuerza externa (figura 5).

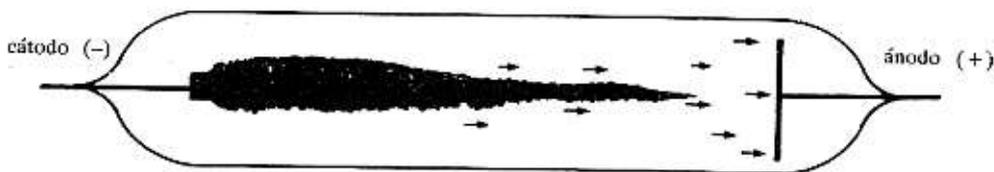


Figura 5. Desplazamiento en línea recta de un rayo catódico.

3. Son desviados de su trayectoria por campos eléctricos y magnéticos, lo que demuestra que los rayos catódicos son de naturaleza negativa, puesto que son atraídos por el campo eléctrico positivo y repelidos por el negativo (figura 6).

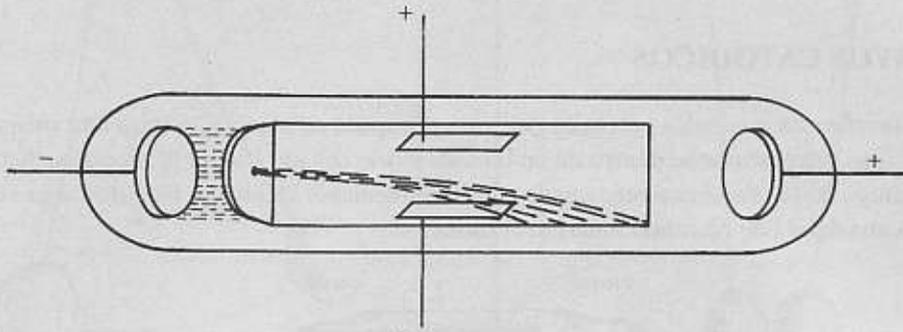


Figura 6. Desviación de la trayectoria por la acción de un campo eléctrico.

4. Producen sombras, lo cual demuestra que los rayos catódicos no atraviesan objetos sólidos (figura 7).

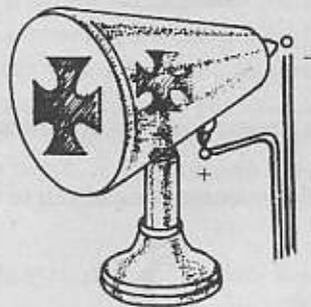


Figura 7. Los rayos catódicos producen sombras.

5. Hacen girar un pequeño molinete, lo cual también demuestra que los rayos catódicos son partículas que tienen masa.

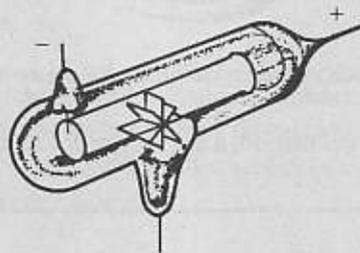


Figura 8. Hacen girar un pequeño molinete.

El estudio de los rayos catódicos demostró la existencia de partículas negativas, a las que se llamó *electrones*, además de permitir el desarrollo de diversos aparatos de uso cotidiano y científico, como el televisor, y los cinescopios de estos aparatos, descendientes de los primeros tubos de rayos catódicos.

## ELECTRÓN

En 1895 Jean Perrin demostró en forma definitiva que la carga de los rayos catódicos es negativa, y dos años después, en 1897, descubrió que su velocidad era aproximadamente igual a la décima parte de la velocidad de la luz y que sus propiedades no dependían de la composición del gas en el tubo de rayos catódicos. También en 1897, Joseph Thomson demostró, que los rayos catódicos son en realidad corrientes de partículas negativas y adoptó para éstas el nombre de electrones, propuesto en 1891 por Stoney.

Para cuantificar la masa de los electrones, Thomson modificó el tubo de rayos catódicos de tal manera que los rayos pasaran a través de un colimador hasta llegar a una pantalla de sulfuro de zinc colocada en el fondo del tubo, donde un campo eléctrico y otro magnético desviaban su trayectoria. Al estudiar el grado de deflexión en los campos eléctrico y magnético, Thomson determinó la relación carga/masa de los electrones, cuyo valor es  $1.76 \times 10^8$  coulombs/gramo.

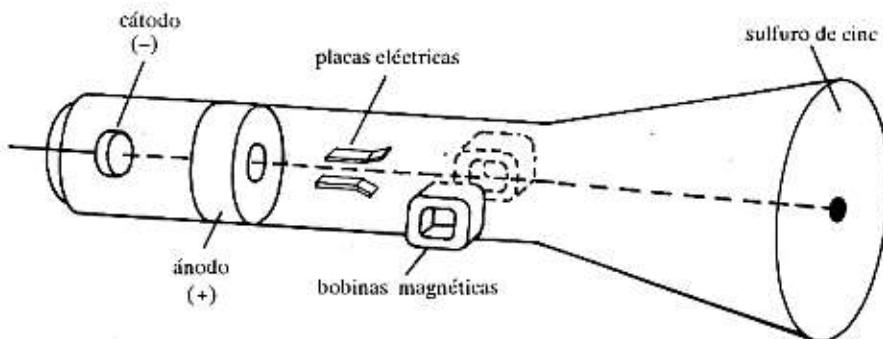


Figura 9. Aparato usado por Thomson.

Una vez determinada la relación carga/masa del electrón, Robert Millikan llevó a cabo en 1909 el experimento de la *gota de aceite* mediante el cual encontró que la carga del electrón es de  $1.6 \times 10^{-19}$  coulombs. En este experimento, Millikan roció aceite dentro un recipiente y observó que una gota del mismo entre dos placas metálicas, tras someterla a la acción de los rayos X, se cargaba negativamente, y si se aplicaba un alto voltaje la gota era atraída por una de las placas.

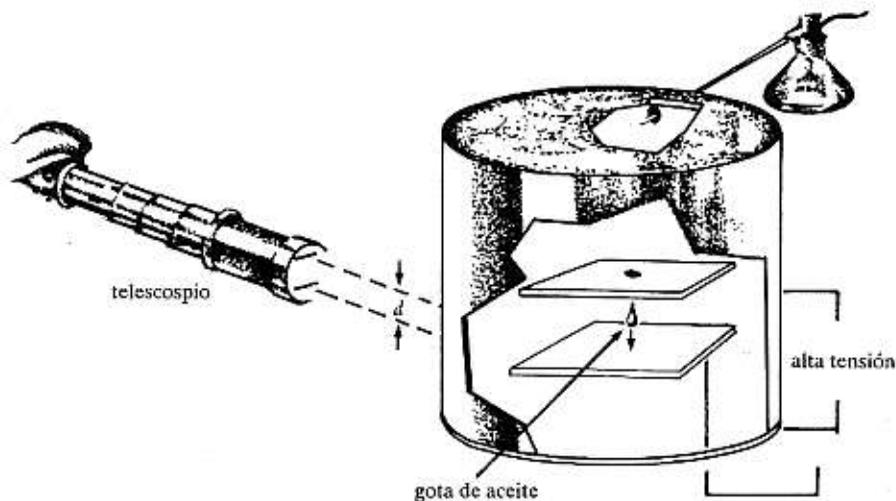


Figura 10. Experimento de la gota de aceite.

A partir de la relación carga/masa del electrón y su carga se determinó que la masa del electrón es de  $9.1 \times 10^{-28}$  g. Se sabe que la masa de un átomo de hidrógeno (el más ligero de todos los elementos) es casi dos mil veces más pesada que la del electrón, lo que significa que las partículas catódicas forman parte de los átomos.

La masa del electrón se puede calcular al despejar la masa de la relación carga/masa, cuyo valor es de  $1.7588 \times 10^8$  C/g, conociendo la carga del electrón que es de  $1.6022 \times 10^{-19}$  C, como se demuestra a continuación:

$$\frac{e}{m} = 1.7588 \times 10^8 \text{ C/g.}$$

Sustituyendo

$$\frac{1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}}{m} = 1.7588 \times 10^8 \text{ C/g.}$$

Despejando

$$m = \frac{1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}}{1.7588 \times 10^8 \text{ C/g}} = 9.1 \times 10^{-28} \text{ g.}$$

## PROTÓN

Cuando no está por completo al vacío, el tubo de rayos catódicos también puede generar una corriente de partículas positivas, las que en 1886 estudió por primera vez Eugen Goldstein. Estos rayos positivos o *rayos canales* se producen al chocar los rayos catódicos con los átomos gaseosos del tubo, colisión que produce iones positivos que viajan hacia el cátodo agujerado y lo atraviesan (figura 11).

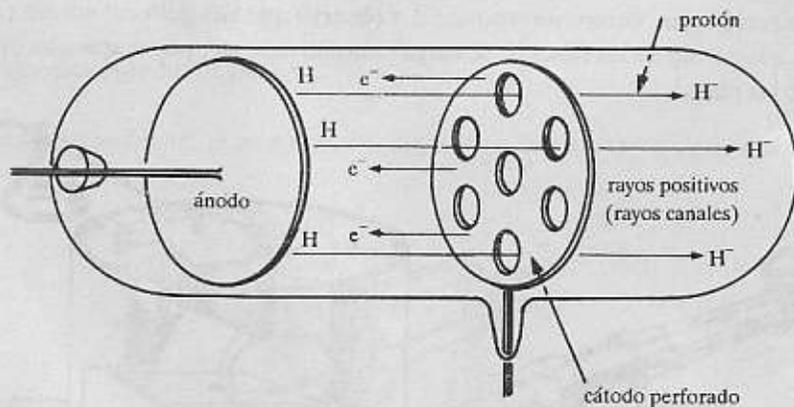


Figura 11.

Goldstein, por medio de un tubo de rayos catódicos que contenía hidrógeno y un disco metálico perforado como cátodo, descubrió los rayos canales, que viajan en dirección opuesta a los catódicos y tienen carga positiva. Estos tubos son el principio de los modernos tubos mercuriales. La carga positiva reside en el protón, partícula fundamental cuya carga es igual a la del electrón, pero de signo opuesto, y masa casi dos mil veces más grande que la del electrón. El protón es un átomo de hidrógeno que perdió un electrón.

**Tabla 1.** Características del electrón y del protón.

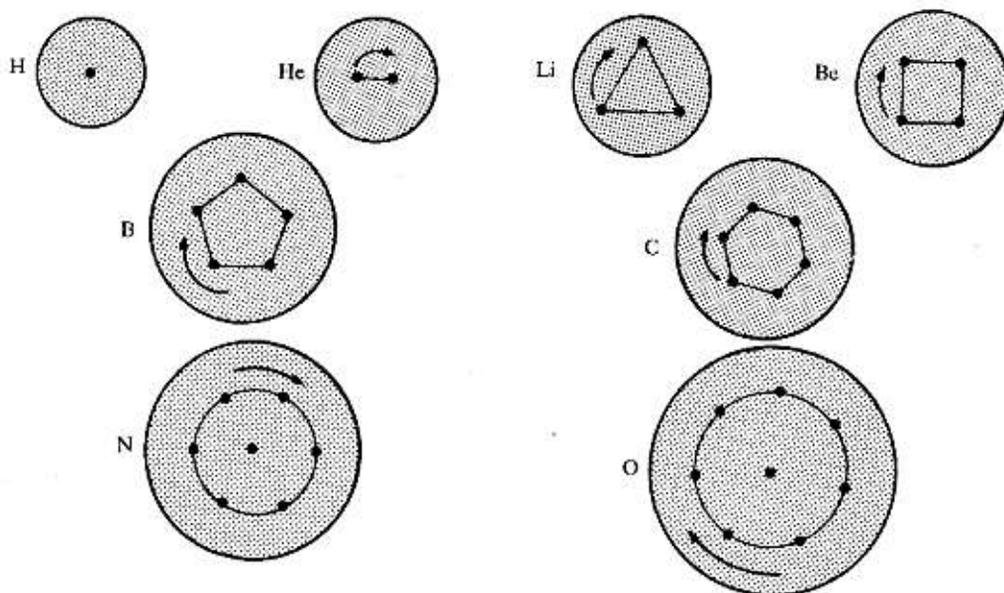
Partícula	Carga eléctrica		Masa	
			<i>g</i>	<i>uma</i>
Electrón	$-1.6 \times 10^{-19}$	-1	$19.1 \times 10^{-28}$	0.00055
Protón	$+1.6 \times 10^{-19}$	+1	$1.67 \times 10^{-24}$	1.00727

En la primera década de nuestro siglo parecía claro que cada átomo contenía regiones con cargas positivas y negativas, la cuestión era saber cómo estaban distribuidas.

## MODELO ATÓMICO DE THOMSON

Al descubrir que los elementos emiten partículas minúsculas se tenía que descartar una de las suposiciones fundamentales de la teoría atómica de Dalton, la cual dice que si algunos elementos pueden emitir parte de sí mismos, entonces no son indestructibles.

Fue Joseph Thomson quien propuso el siguiente modelo: "El átomo es una esfera cuyo diámetro mide  $10^{-8}$  cm, cargada uniforme y positivamente y dentro de la cual «flotan» electrones negativos y el número de electrones negativos es igual a la carga de la esfera, para que en su conjunto el átomo resulte neutro." Este modelo se conoce como *pastel de pasas*, donde la masa del pastel es la carga positiva y las pasas los electrones. De acuerdo con él, la rotación de los electrones dentro de la carga positiva daría estabilidad al átomo.



**Figura 12.** Representación de diferentes elementos de acuerdo con el modelo de Thomson.

Ventajas y desventajas del modelo de Thomson

- Ejemplifica muy bien el carácter eléctrico de la materia.

- Constituye el primer intento para explicar el concepto de valencia en función de los diferentes arreglos electrónicos de los átomos.
- De 1902 a 1906 la comunidad científica lo consideró como un modelo adecuado.

## PRÁCTICA DE LABORATORIO NÚM. 1

### Conceptos antecedentes

1. ¿Cómo se electriza un cuerpo?
2. ¿Cuáles son las propiedades eléctricas y magnéticas de la materia?
3. ¿A qué se llama electrodo?
4. ¿Cuál es la naturaleza eléctrica de los rayos catódicos?
5. ¿Cuáles son los tipos de carga eléctrica?

### Material

- |  |                           |
|--|---------------------------|
| Piel de conejo                         | 1 tubo de rayos catódicos |
| Tela delgada                           | 1 bobina Tesla            |
| Barra de plástico                      | 1 imán de barra           |
| 1 tubo de Crookes con la cruz de Malta | 2 péndulos                |
| 1 tubo de rayos catódicos con molinete |                           |

### Procedimiento

Experimento 1. Electrización por frotamiento (figura 13).

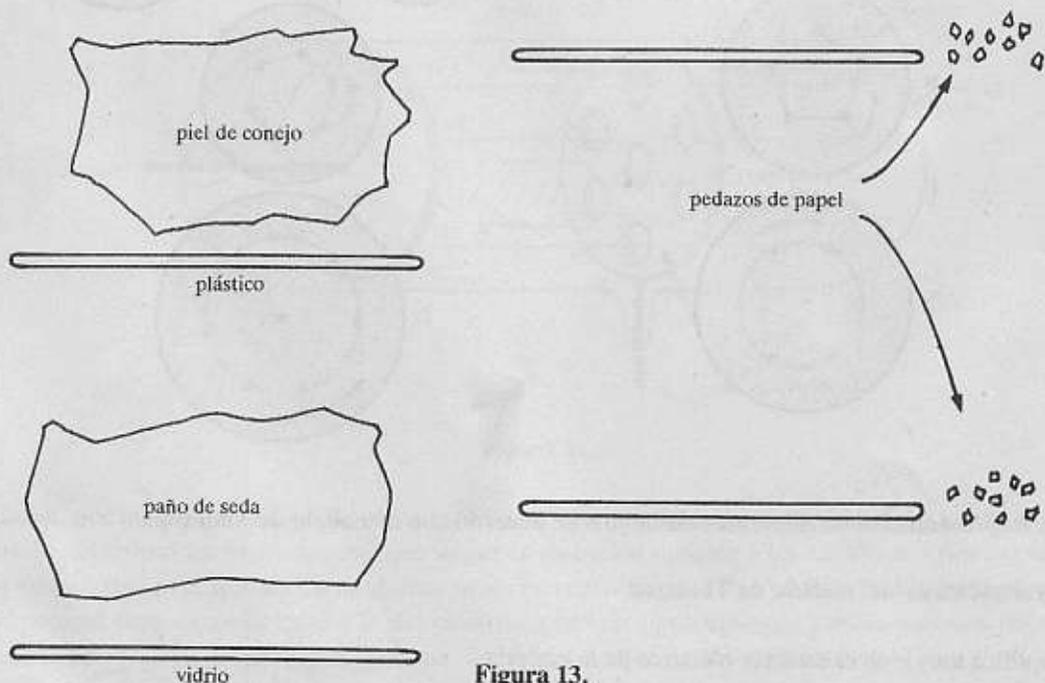


Figura 13.

- a) ¿Qué sucede al frotar la barra de plástico con la piel de conejo y acercarla a unos trozos de papel?  
 b) ¿Qué se observa al frotar la barra de vidrio con tela delgada, como una blusa, y acercarla a los trocitos de papel?

Experimento 2. Electrización por contacto (figura 14).

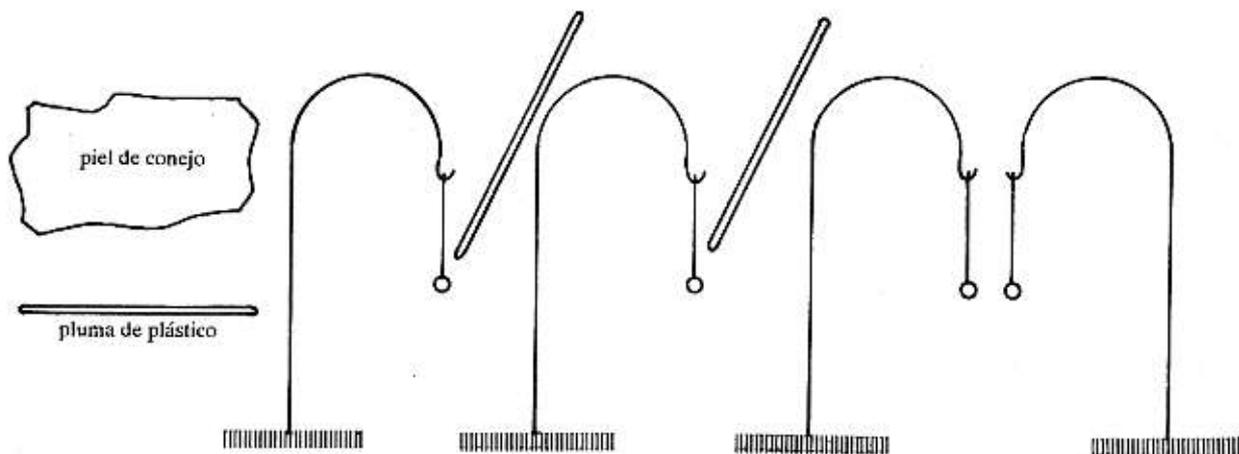


Figura 14.

- a) Frota una pluma o regla de plástico con la piel de conejo y acércala a una esferita del péndulo hasta tocarla. Haz lo mismo con la segunda y en seguida acerca los péndulos.  
 b) ¿Qué sucedió entre las dos esferitas?

Experimento 3. Naturaleza eléctrica de los rayos catódicos (figura 15).

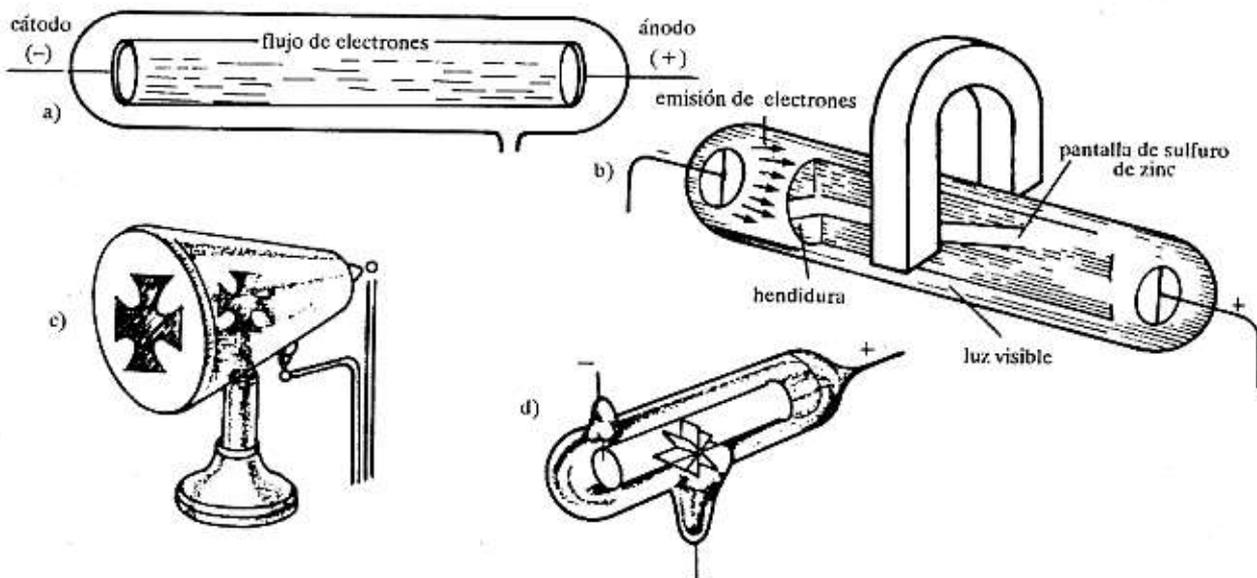


Figura 15.

- a) Acerca la bobina Tesla al cátodo del tubo de rayos catódicos y observa la trayectoria de éstos.
- b) ¿Qué ocurre al acercar el imán a los rayos catódicos?
- c) Repite el experimento con el tubo de la cruz de Malta.
- d) Repite ahora el experimento con el tubo que contiene el molinete.

### *Hipótesis*

Después de analizar el procedimiento haz una hipótesis para cada experimento.

Experimento 1 \_\_\_\_\_

Experimento 2 \_\_\_\_\_

Experimento 3 \_\_\_\_\_

### *Registro de observaciones*

Describe lo que pasó en cada experimento:

Experimento 1

a) \_\_\_\_\_

b) \_\_\_\_\_

Experimento 2

a) \_\_\_\_\_

b) \_\_\_\_\_

Experimento 3

a) \_\_\_\_\_

b) \_\_\_\_\_

c) \_\_\_\_\_

d) \_\_\_\_\_

## Questionario de reflexión

### Experimento 1:

- ¿Qué pasa con las barras al frotarlas?
- ¿Por qué los cuerpos se electrizan?
- ¿Cuántos tipos de carga existen?

### Experimento 2

- ¿Cuál es la naturaleza eléctrica?
- El tubo de la cruz de Malta demuestra que los rayos catódicos viajan...

Tomando en cuenta las hipótesis realizadas y tus observaciones da tus conclusiones de los experimentos llevados a cabo.



## RADIATIVIDAD

El físico francés Henri Becquerel observó en 1896 al trabajar con minerales en el Museo de Historia Natural de París que alguno de éstos emitían radiaciones espontáneas, lo que le llevó a pensar que se trataba de radiaciones del mismo tipo que los rayos X, pues eran capaces de velar una placa fotográfica que había cerca de los minerales. Tal suceso condujo a Becquerel a clasificar los minerales que producían la impresión de la placa fotográfica, sin que ésta se expusiera a los efectos de la luz solar, concluyendo que todas las sales de uranio producían el mismo efecto. A fines del siglo pasado se comprobó que la propiedad de emitir radiaciones no era exclusiva del uranio, pues también se observó en el torio.

En 1898, María Sklodowska y Pierre Curie aislaron dos nuevos elementos: el polonio y el radio, como impurezas en el sulfuro de bismuto y en el cloruro de bario. Ambos elementos también manifestaban la emisión de radiaciones, pero con mayor intensidad que el uranio. A estos elementos que presentan la propiedad de emitir radiaciones en forma espontánea se les llamó *radiactivos* y al fenómeno *radiactividad*.

Entre los años de 1900 a 1903 Joseph Thomson, Villard, Frederick Soddy y Ernest Rutherford, tras experimentar en un dispositivo como el que se muestra en la figura 16, concluyeron que existen tres tipos de emisiones radiactivas: *alfa* (partícula positiva), *beta* (partícula negativa) y *gamma* (radiación de alta energía).

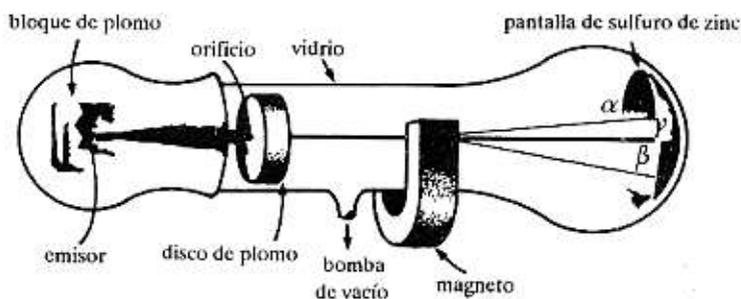


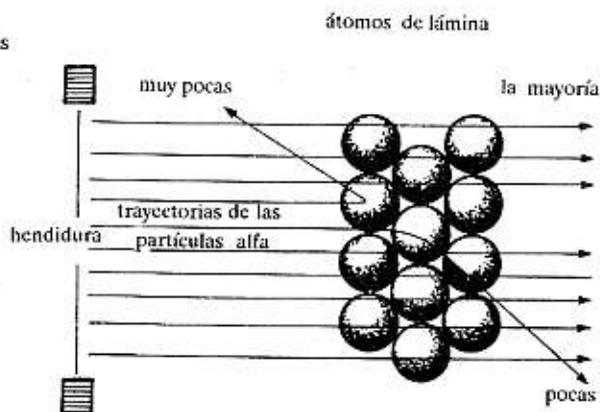
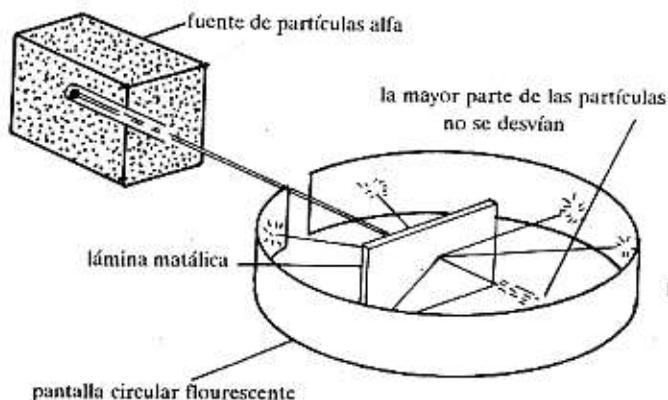
Figura 16. Representación esquemática de la obtención de los tres tipos de emisiones radiactivas.

## MODELO ATÓMICO DE RUTHERFORD

Rutherford puso a prueba el modelo de Thomson con sus experimentos sobre la radiación alfa y demostró que tal modelo era insostenible.

En 1908-1909 bajo la guía de Rutherford, Hans Geiger y E. Marsden reportaron experimentos significativos respecto de la estructura del átomo. Estudiaron el efecto del bombardeo de partículas alfa sobre una laminilla de oro, que se seleccionó porque puede laminarse fácilmente, con espesores de hasta 100 átomos. Sin embargo, al igual que otros sólidos, el oro casi no puede comprimirse, por lo que se supone que sus átomos tienen un empaque muy compacto.

Su primera observación fue que la mayor parte de las partículas alfa pasaban a través de los átomos de oro, supuestamente de empaque compacto (figuras 17 y 18) con poca o ninguna desviación, por lo que Rutherford supuso que la mayor parte del átomo es espacio vacío.



**Figura 17.** Dispersión de las partículas alfa.

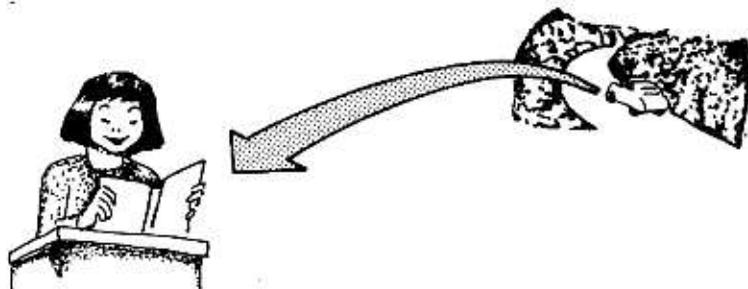
**Figura 18.** Interpretación de Rutherford al bombardeo de átomos de oro con partículas alfa.

La segunda observación permitió descubrir que unas cuantas partículas eran desviadas y algunas partículas alfa rebotaban en el oro, fenómeno que no explicaba el modelo de Thomson.

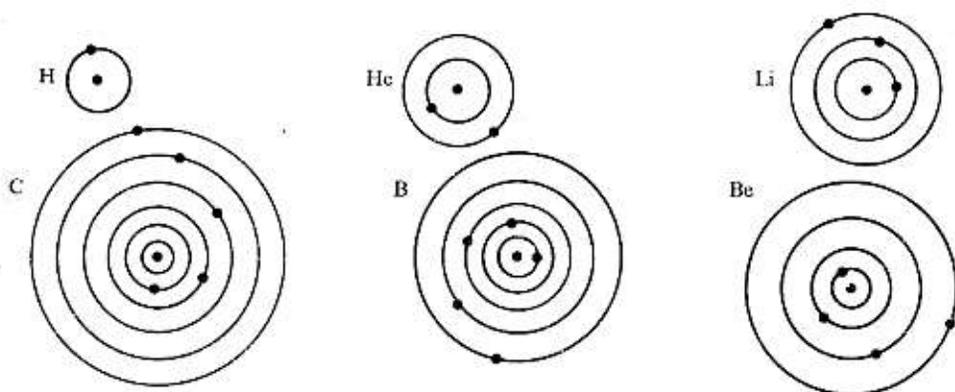
En virtud de que las partículas alfa son repelidas, Rutherford dedujo que debía existir una parte del átomo más pesada que las partículas alfa y de carga positiva, a la cual llamó *núcleo atómico*. Rutherford describió su modelo atómico como un sistema solar en miniatura que consistía en lo siguiente:

- Cada átomo tiene un pequeño centro de diámetro  $10^{-2}$  centímetros.
- En el núcleo se concentra la mayor parte de la masa del átomo y toda la carga positiva.
- Los electrones del átomo están muy separados del núcleo, formando la superficie externa del átomo.

Para darte idea de la magnitud del vacío que existe en el átomo, coloca en la línea de la portería de un campo de fútbol un pequeño balón o canica (el electrón) y a la mitad del mismo una pelota de ping pong, fútbol o basketbol (el núcleo) y apreciarás el enorme vacío que hay en el átomo. El tamaño del átomo es de  $10^{-8}$  centímetros.

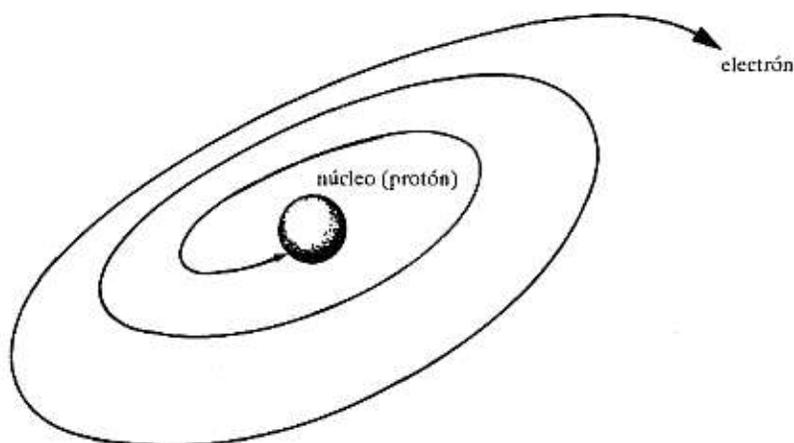


**Figura 19.** Analogía de la distancia entre el núcleo y los electrones. Si tú fueras del tamaño del núcleo, los electrones estarían alejados de ti a distancias tan grandes como 61 kilómetros.



**Figura 20.** Representación de diferentes elementos de acuerdo con el modelo de Rutherford.

En mayo de 1911, Rutherford publicó en el *Journal of the Literary and Philosophical Society* de la ciudad de Manchester un informe sobre sus descubrimientos, el cual los físicos de esa época tomaron con reserva, pues los electrones no podían mantener la trayectoria circular que proponía porque, de acuerdo con las leyes del electromagnetismo clásico, un electrón o todo objeto eléctricamente cargado, que está acelerado o cuya dirección lineal es modificada, emite radiación electromagnética, en tanto según el modelo de Rutherford el electrón debería emitir radiación electromagnética, lo que llevaría a la disminución de la energía del electrón, que en consecuencia describiría una trayectoria en espiral hasta caer en el núcleo. Vemos que al suponer que el electrón gira alrededor del núcleo, Rutherford no logró impedir que se precipitara sobre éste (figura 21).



**Figura 21.** En el modelo planetario del átomo, el electrón describiría una espiral decreciente alrededor del núcleo hasta ocurrir el colapso.

#### Ventajas y desventajas del modelo de Rutherford

- Nació el concepto de que en el núcleo atómico se encuentra toda la masa y la mayor parte de la carga positiva del átomo.
- Describió en forma adecuada la dispersión de las partículas alfa en el oro, la plata, el cobre y el aluminio.

- En 1911 y 1913 no se encontró una explicación que permitiera justificar por qué el electrón no cae sobre el núcleo.

## ACTIVIDADES

1. ¿Qué contribución aportaron los siguientes científicos a la teoría atómica?
  - a) Dalton.
  - b) Thomson.
  - c) Rutherford.
2. ¿Cuáles de las siguientes afirmaciones son correctas?
  - a) John Dalton desarrolló una importante teoría a principios del siglo XIX.
  - b) Dalton afirmó que los átomos están compuestos de protones, neutrones y electrones.
  - c) El hidrógeno es el átomo más pequeño.
  - d) Un protón es 1 837 veces más pequeño que un electrón.
  - e) Thomson descubrió que el electrón forma parte de los átomos.
  - f) Los rayos catódicos están formados por electrones.
3. ¿Qué lugar del átomo contiene la mayor parte de la masa?
4. ¿Cuáles son las diferencias entre electrón y protón?
5. ¿Qué experimento condujo a Rutherford a deducir los siguientes postulados:
  - a) El núcleo del átomo contiene la mayor parte de la masa atómica.
  - b) El núcleo del átomo tiene carga positiva.
  - c) El átomo en su mayor parte es espacio vacío.
6. Describe el átomo que se imaginó Rutherford.

## ESPECTROS

Todos hemos visto la formación de un arco iris después de llover y aparecer el sol, efecto que se debe al paso de la luz solar a través de pequeñas gotas de agua que se encuentran en suspensión en la atmósfera, las cuales producen la dispersión de la luz, es decir, su descomposición en los diferentes colores que la constituyen. Este fenómeno lo reprodujo Marcus Marci en 1664 al hacer pasar un rayo de sol a través de un prisma (base de cualquier espectroscopio) que, a la vez, proyectó sobre una superficie blanca en la pared (figura 22).

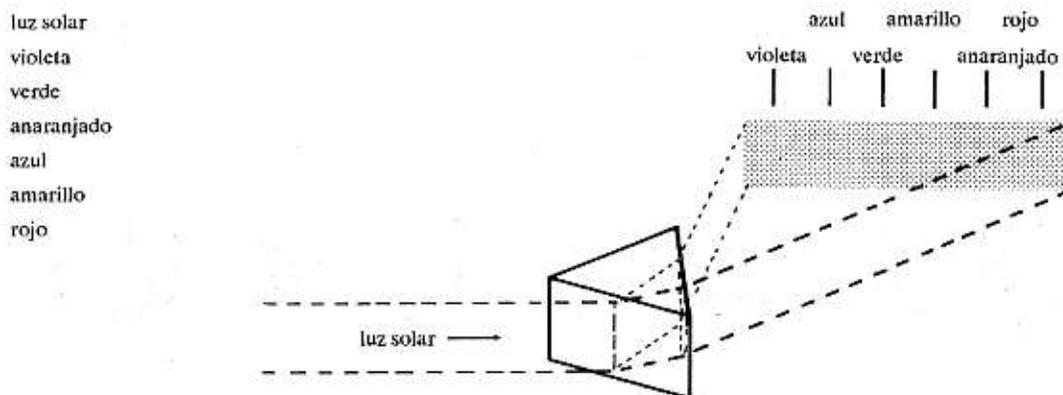


Figura 22. Espectro continuo de la luz solar.

Antes de proseguir es necesario considerar las teorías existentes acerca de la naturaleza de la luz.

La luz se propaga en el espacio en forma ondulatoria. En 1865 James Clerk Maxwell determinó que las ondas de luz tienen carácter electromagnético, es decir, que pueden interactuar con los cuerpos cargados y con los dipolos magnéticos (como la brújula). El físico alemán Heinrich Hertz demostró experimentalmente esta hipótesis al medir la velocidad con que se propagan a través del espacio los impulsos electromagnéticos generados por una descarga eléctrica y comprobó que es idéntica a la velocidad de la luz.

Veamos cómo se pueden interpretar las propiedades de la luz mediante una teoría ondulatoria: cada onda se caracteriza por su longitud (figura 23), amplitud y la velocidad con que viaja; la longitud determina su color y se representa por la letra griega lambda ( $\lambda$ ); la amplitud determina su intensidad, es decir, su brillantez; la velocidad de la luz es de  $300\,000\text{ km/seg}$  y se representa por la letra  $c$ ; la frecuencia se define como el número de ondas que pasan por un punto dado en un segundo y se representa por la letra nu ( $\nu$ ), y la unidad de medida de la frecuencia es el hertz (ciclos/segundo).

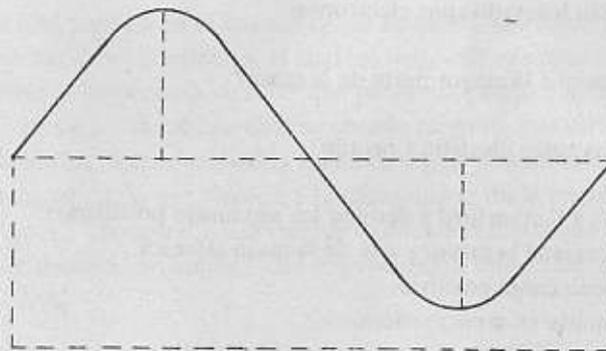


Figura 23. Representación de una onda, longitud y amplitud.

El *espectro* es la imagen de una radiación que se obtiene después de que ésta se descompone en las diversas radiaciones simples que la integran; por lo tanto, el arco iris es un ejemplo de espectro. La figura 24 muestra el espectro de toda la radiación electromagnética.

$\text{\AA}$  = Angstrom, el cual equivale a  $10^{-8}$  metros.

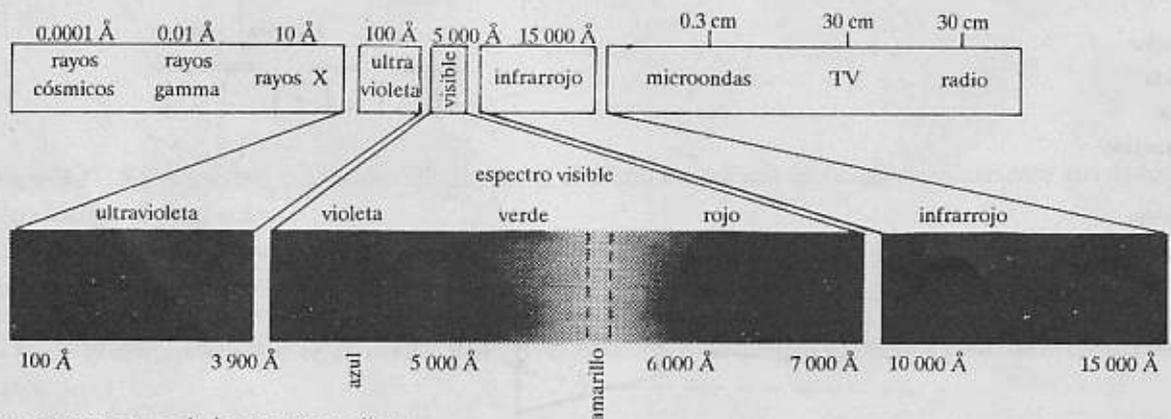


Figura 24. Espectro de la energía radiante.

En 1802, el químico inglés William Wollaston advirtió mediante el primer espectro copiado de rejillas, que el espectro de la luz visible tenía dentro del arco iris ciertas líneas oscuras de diferente grosor, lo que lo llevó a descubrir las líneas oscuras del espectro del sol, las cuales cien años más tarde cobraron gran importancia en las investigaciones sobre la estructura del átomo.

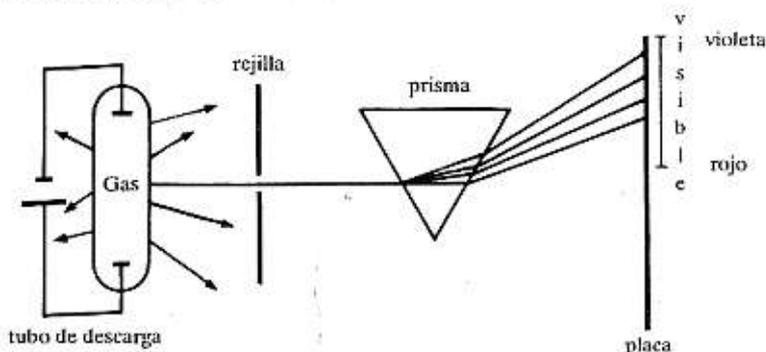


Figura 25. Espectroscopio de rejilla.

Joseph von Fraunhofer perfeccionó el espectroscopio y llegó a contar hasta 574 rayas, nombró las principales, señaló su ubicación exacta en el espectro e investigó el origen, orden y significado de las líneas oscuras del espectro solar. Más tarde, Gustav Kirchhoff y Robert Bunsen interpretaron el misterio de las rayas de Fraunhofer mediante el procedimiento de hacer pasar luz a través de una muestra de sodio gaseoso, lo que evidenció que en el Sol hay sodio, pues apareció una de las rayas oscuras de Fraunhofer en el experimento. Así nació el análisis espectral, que permite en la actualidad conocer qué elementos hay no sólo en el Sol y en la Tierra, sino también en cuerpos celestes tan lejanos como las estrellas.

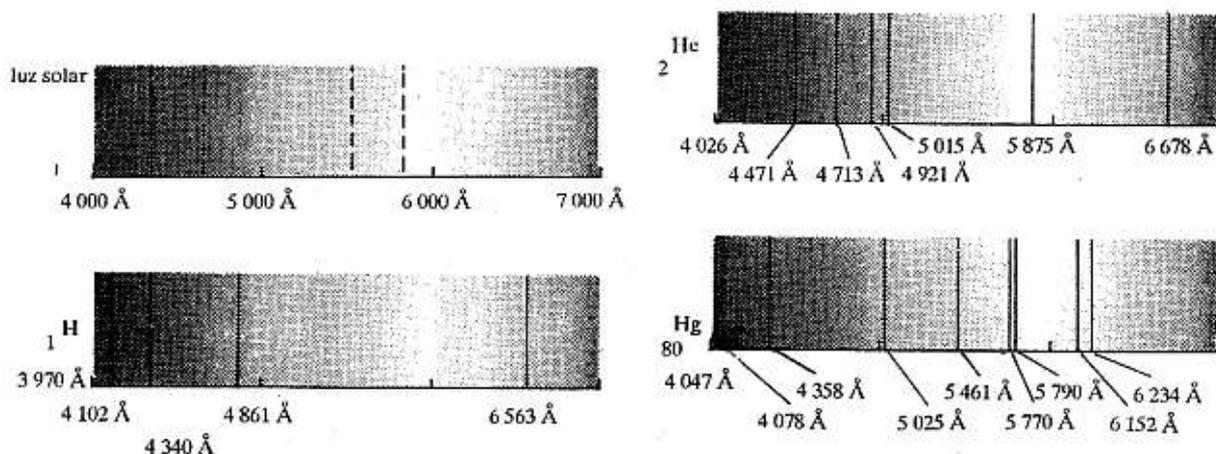


Figura 26. Los espectros de distintos elementos permiten el análisis espectral de las estrellas.

Los espectros se clasifican en de líneas, de bandas y continuos, de los cuales sólo se hará referencia a los de líneas, debido a que cada elemento en estado gaseoso tiene su propio espectro de líneas (figura 26). Éstos se clasifican en:

**Espectro de líneas de absorción.** Se produce al enviar luz blanca a través de un elemento en estado gaseoso (como el experimento de Kirchhoff). Los átomos del gas absorben radiación de ciertas longitudes de onda que aparecen como líneas oscuras después de que el prisma dispersa la luz (figura 27).

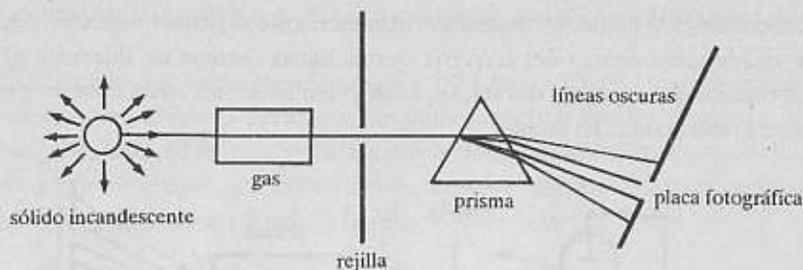


Figura 27. Espectrómetro para obtener el espectro de absorción de un gas.

*Espectro de líneas de emisión.* Se produce cuando se hace pasar una corriente eléctrica a través de un tubo que contiene un elemento gaseoso. Esto se observa en los tubos de luces de neón, sodio o de mercurio. Una vez que la luz pasa a través del prisma se observan sólo unas pocas líneas de colores.

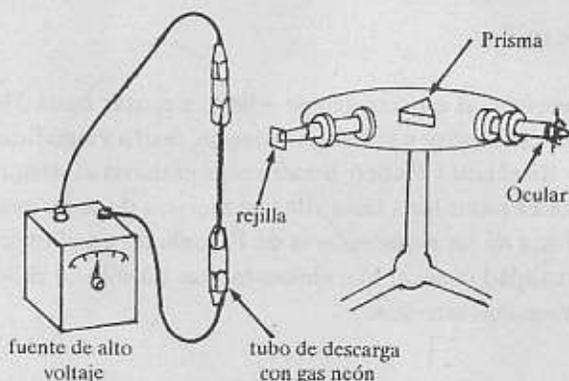


Figura 28. Espectroscopio para observar un espectro de emisión de un gas.

*Espectro de líneas del hidrógeno.* Cada línea o raya corresponde a la longitud de onda de la energía emitida cuando el electrón de un átomo de hidrógeno, que previamente absorbió energía, cae a un nivel de energía menor, como lo explicó el modelo atómico del danés Niels Bohr.



Figura 29. Espectro de emisión del hidrógeno.

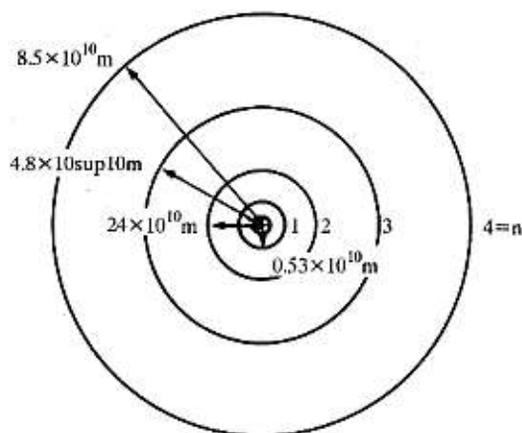
## MODELO ATÓMICO DE BOHR

En 1911 ya se habían sentado las bases del siguiente paso en la evolución de la estructura del átomo; se sabían de él sus dimensiones y su masa; que estaba formado de un núcleo, de órbitas y de electrones. Así pues, se tenían dos modelos irreconciliables: el de Thomson y el de Rutherford. Había buena cantidad de datos, leyes, ex-

perimentos, pero no existía un modelo del átomo que resolviera las contradicciones que había entre la teoría y la realidad, hacía falta alguien que resolviera y revolucionara todos los conocimientos acumulados y los ordenara en un modelo congruente con lo que se sabía, y ése fue Niels Bohr.

Además, Bohr ligó tres conceptos físicos: átomos, radiaciones y electrones, mediante el concepto del *cuanto* propuesto por el físico alemán Max Planck al explicar la naturaleza de la energía radiante emitida por las sustancias calientes. Albert Einstein utilizó la teoría de Planck y llegó a la conclusión de que la radiación no puede ni emitirse ni absorberse de manera continua, sino que la energía radiante es discontinua y consiste en paquetes individuales de energía llamados *cuantos* o *fotones*.

Bohr propuso en 1913 una teoría atómica que no sólo explicaba los espectros de líneas, sino también la causa por la que no caen los electrones al núcleo, modelo que le permitió calcular la posición de las líneas del espectro del hidrógeno. Bohr empezó su estudio con el modelo del sistema solar de Rutherford, y al efecto impuso limitaciones a la energía y al movimiento de los electrones. También demostró matemáticamente que las líneas del espectro de hidrógeno se originan al pasar un electrón de un nivel a otro, por lo que el electrón emite energía cuya frecuencia se puede calcular, encontrando que éste gira en órbitas circulares o en radios bien definidos, nunca en órbitas de radios intermedios (figura 30).



**Figura 30 .** Niveles principales de energía para el átomo de hidrógeno según Bohr. Las flechas muestran los radios.

Estos radios bien definidos tienen ciertos valores, los cuales se obtienen a partir de números positivos (1, 2, 3, etc.), a los que se les asigna la literal  $n$ , la que se denomina *número cuántico principal*. Los valores de  $n$  se pueden sustituir en otra ecuación, lo que permite calcular las frecuencias de las líneas espectrales del hidrógeno.

Los valores de  $n$  en el modelo atómico de Bohr, tienen un significado físico; por ejemplo, si  $n = 1$ , significa que los electrones se encuentran más cercanos al núcleo, en la capa u órbita más interna; los electrones con un valor de  $n = 2$  están a continuación de los  $n = 1$ , y conforme nos alejamos del núcleo, se encuentran ahora en una capa superior con más energía.

Normalmente, los niveles energéticos que ocupan los electrones están en una situación de energía relativamente baja llamada *estado basal* ( $n = 1$ ); al someterse a altas temperaturas u otras formas de energía, los átomos pasan a un nivel energético mayor, que se denomina estado excitado, y cuando los electrones excitados re-

gresan a su nivel de energía excedente en forma de un fotón o cuanto de luz, la cantidad de energía que se absorbe o se emite es igual a la diferencia de energía entre los dos niveles energéticos.

Lo más notable del trabajo de Bohr es que su teoría explicaba las líneas del hidrógeno descubiertas por el matemático suizo J.J. Balmer en 1885. Encontró que las longitudes de onda de una serie de líneas se relacionaban entre sí por medio de la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

donde  $R_H = 10\,967\,758 \text{ m}^{-1}$

Al aplicar el modelo de Bohr al espectro del hidrógeno y usar la ecuación anterior resulta que  $n_1$  corresponde al nivel al que llega el electrón mientras que  $n_2$  al nivel del estado excitado, y al fijar  $n_1 = 2$  y modificar  $n_2$  se obtiene la serie común de Balmer que se observa en la figura 29.

Durante algún tiempo el modelo de Bohr fue en extremo atractivo, no sólo porque explicó las enigmáticas regularidades de los espectros de líneas, sino porque añadió la hipótesis de que las propiedades químicas dependen del número de electrones externos; así, hizo posible contar con un modelo racional que explicaba las propiedades químicas periódicas de los elementos. Su razonamiento es el siguiente:

Como sólo son permitidos ciertos valores energéticos específicos (designados por  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ ) para los electrones en los átomos, de la misma manera el número de electrones en cada órbita también debe estar limitado, es decir, debe tener un máximo. Este máximo es igual a  $2n^2$ . De esta forma, el nivel energético con  $n = 1$  tendrá una población máxima de dos electrones [ $2(1)^2 = 2$ ]; el segundo nivel  $2(2)^2 = 8$ ; el tercero  $2(3)^2 = 18$ ; el cuarto  $2(4)^2 = 32$ , y así sucesivamente.

Imaginemos la construcción sucesiva de los átomos mediante la adición de electrones alrededor del núcleo: para tener un átomo neutro, debemos poner en órbita tantos electrones como protones existan en el núcleo, y cada electrón ingresa en el nivel energético de menor energía que esté disponible o vacío. En el caso del hidrógeno con  $z = 1^+$ , el electrón solitario ingresa en el nivel  $n = 1$ ; el helio con  $z = 2$  también acomoda sus electrones en el nivel 1; pero en el caso del litio, con tres electrones, el tercer electrón ingresaría en el nivel 2, dado que el  $n = 1$  ya está lleno.

La siguiente tabla presenta una lista de los 18 primeros elementos en relación con el aumento de su número atómico.

Tabla 2.

Núm. atómico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Elemento	H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
Población electrónica $n = 1$	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$n = 2$		1	1	2	3	4	5	6	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8
$n = 3$											1	2	3	4	5	6	7	8
	gas noble									gas noble					gas noble			

\* Z representa la carga nuclear o el número de protones de un átomo.

En la capa  $n = 1$  se pueden acomodar dos electrones como máximo; por lo tanto, cada elemento tendrá hasta dos electrones en este nivel.

En la capa  $n = 2$  se pueden acomodar ocho electrones como máximo; por lo consiguiente, cada elemento tendrá hasta ocho electrones en este nivel de energía.

El helio y el neón se llenan por completo y son químicamente inertes; el argón es otro elemento que no es reactivo, del que se debería esperar que tuviera completo el tercer nivel hasta los 18 electrones, pero se observa que tan sólo tiene ocho; sin embargo, el argón se comporta como si tuviera su capa externa llena, lo mismo que ocurre con los demás elementos pertenecientes a este grupo en la tabla periódica: He, Ne, Ar, Kr, Xe y Rn.

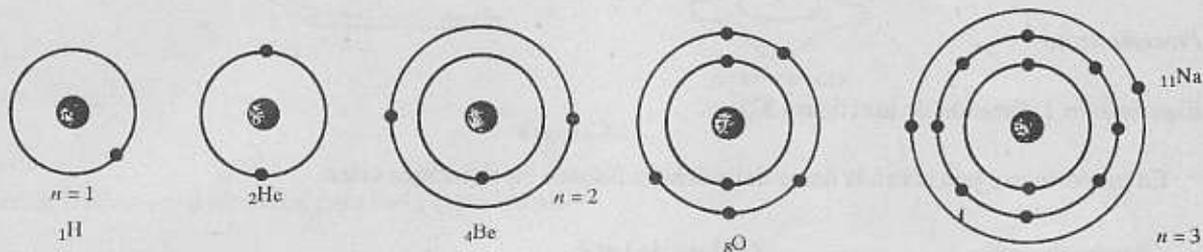


Figura 31. Representación de diferentes elementos de acuerdo con el modelo de Bohr.

#### Aportaciones y limitaciones del modelo de Bohr

- Describe con precisión el espectro atómico observado en el átomo de hidrógeno.
- Explica la estabilidad de los átomos a partir de la existencia de niveles de energía o estados estacionarios, en los cuales, a pesar de que está acelerado, el electrón no emite radiación y, por lo tanto, no cae al núcleo.
- No explica los espectros de otros elementos ni la estructura del espectro, es decir, se encontró que las líneas espectrales no eran líneas sencillas, sino un conjunto de varias de ellas.
- En los átomos, las propiedades químicas están determinadas por los electrones más alejados del núcleo y no por los más internos.
- Para elementos de la misma familia química, los electrones de valencia son los mismos y la tendencia a perderlos crecerá conforme aumente el número de niveles en el átomo, pues los electrones externos estarán ligados débilmente al núcleo.

## PRÁCTICA DE LABORATORIO NÚM. 2

### Conceptos antecedentes

1. ¿Cuál es la naturaleza de la luz?
2. ¿A qué se llama espectro?
3. ¿Qué es el espectro electromagnético?
4. ¿Por qué las sustancias emiten luz al calentarlas?
5. ¿Por qué se dice que los espectros de líneas son como las huellas dactilares?

## Material

- 1 bobina Tesla
- 1 mechero Bunsen
- 1 espectroscopio
- Tubos de descarga de diferentes elementos
- Porta-asa con alambre
- 15 ml de ácido clorhídrico (HCl)
- 1 marco de sustancias con sales de diferentes metales
- 1 vaso de p.p. de 100 ml
- 1 soporte universal con pinzas de tres dedos

## Procedimiento

### Experimento 1. Emisión de luz (figura 32).

En un porta-asa pon sobre la llama del mechero Bunsen las siguientes sales:

- |                    |                      |
|--------------------|----------------------|
| Cloruro de sodio   | Cloruro de bario     |
| Cloruro de litio   | Cloruro de cobre     |
| Cloruro de potasio | Cloruro de estroncio |

– Observa la luz que desprenden en forma directa y luego a través de un espectroscopio.

*Nota:* Antes de poner a la flama una sal en el alambre, introduce éste en el ácido clorhídrico para lavarlo y en seguida ponlo a la flama del mechero con el fin de eliminar impurezas. Repite la operación hasta que el alambre deje de dar coloración en la flama. Anota tus observaciones en un cuadro.

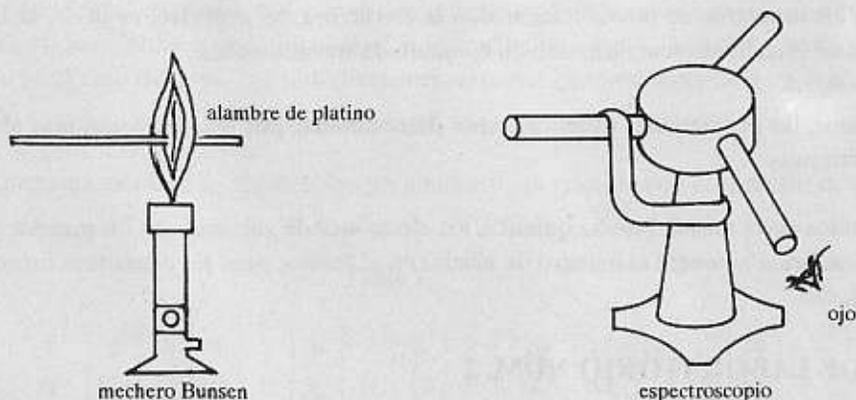


Figura 32.

### Experimento 2. Estudio de los espectros ópticos (figura 33).

Monta un tubo de descarga como muestra la figura 33, acerca la bobina Tesla a un extremo y observa la luz que desprende por medio del espectroscopio. Repite el experimento con otro de los tubos de descarga.

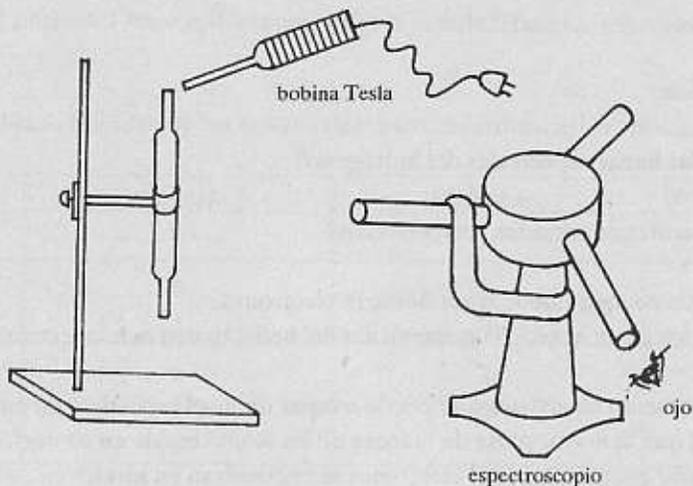


Figura 33.

*Hipótesis.* Elabora una hipótesis para cada experimento.

*Experimento 1* \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

*Experimento 2* \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

*Registro de observaciones*

Experimentos 1 y 2.

<i>Sustancia</i>	<i>Emite luz (color)</i>	<i>Tipo de espectro</i>
1		
2		
3		
4		
5		

*Cuestionario de reflexión*

1. ¿Por qué cada sustancia emite luz diferente?
2. ¿Qué le ocurre a la luz cuando pasa a través del prisma del espectroscopio?
3. ¿Cuál es la diferencia entre el espectro de la luz solar y lo observado?
4. ¿Cómo apoyan estos experimentos el estudio de los modelos atómicos?
5. ¿Qué se necesita, en cada caso, para que la sustancia emita luz?

*Conclusión.* Toma en cuenta las hipótesis propuestas y confróntalas con lo observado en esta práctica.

## ACTIVIDADES

Responde lo que se te pide:

1. ¿Cómo se forman las líneas espectrales del hidrógeno?
2. ¿Qué es un espectro?
3. ¿Cuáles de los siguientes enunciados son correctos?

- a) El tercer nivel de energía puede tener hasta 18 electrones.
- b) Los átomos de los gases nobles, con excepción del helio, tienen ocho electrones en su nivel externo de energía.
- c) El número máximo de electrones que puede ocupar un nivel específico de energía  $n$  es  $2n^2$ .
- d) Bohr concluyó que la mayor parte de la masa de un átomo reside en su núcleo.
- e) La teoría de Bohr propone que los electrones se encuentran en niveles cuantizados de energía.

4. ¿Cómo se forma el arco iris?

## MODELO ATÓMICO DE BOHR-SOMMERFELD

No debe sorprendernos que el éxito de la teoría de Bohr en la explicación del espectro de hidrógeno no se repitiera en la de otros elementos dado que ésta sólo es exacta en un sistema atómico compuesto de un electrón y el núcleo. Por ello fracasó aun con el sencillo átomo de helio, que tiene dos electrones y un núcleo.

Arnold Sommerfeld razonaba que si el átomo es homólogo al sistema solar, el electrón debe girar no sólo en círculos, como el modelo de Bohr, sino también en elipses, con la particularidad de que el núcleo debe hallarse en uno de los focos de éstas. Sommerfeld trabajó en un nuevo modelo que suponía la existencia de un segundo número entero,  $l$ , el *número cuántico secundario*, y demostró que la energía del electrón es diferente en distintas elipses y con diferentes valores de  $l$ , por lo cual los niveles de energía debían depender de dos números cuánticos:  $n$  y  $l$ .

El número  $n$  o número cuántico principal es similar al de Bohr y tiene relación con la distancia entre el núcleo y el electrón. Conforme  $n$  crece aumenta dicha distancia; los valores posibles de  $n$  son los enteros 1, 2, 3, etc. Por su parte,  $l$  tiene que ver con la excentricidad de la órbita elíptica (figura 34).

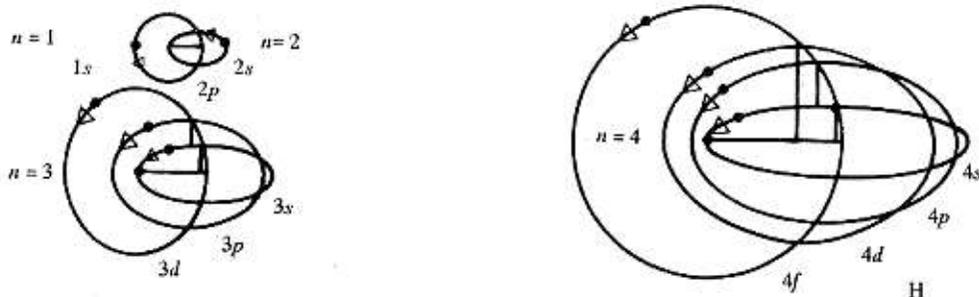


Figura 34. Las cuatro órbitas de Sommerfeld para los niveles  $n = 1, 2, 3$  y  $4$ , donde  $l$  toma los valores que van desde 0 hasta  $n - 1$

Para cada valor de  $n$ , el número  $l$  toma  $n$  diferentes valores (desde 0 hasta  $n - 1$ ) como lo muestra la siguiente tabla.

**Tabla 3.** Muestra de los valores de  $n$  y  $l$  y las formas de las órbitas.

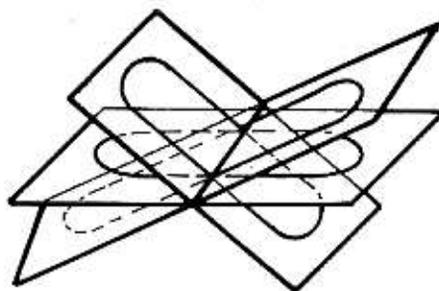
Valores de $n$	Valores de $l$	Nombre	Forma de la órbita
1	0	1s	circular
2	0	2s	elíptica
	1	2p	circular
3	0	3s	elipse excéntrica
	1	3p	elipse
	2	3d	circular
4	0	4s	elipse muy excéntrica
	1	4p	elipse excéntrica
	2	4d	elipse
	3	4f	circular

Sommerfeld también propuso que las órbitas electrónicas se trazaran en varios planos diferentes, de acuerdo con los valores de un tercer número cuántico,  $m$ , llamado *número cuántico magnético* (figura 35), el cual define la orientación del plano de la órbita;  $m$  toma valores que van desde  $-l$  hasta  $+l$ ; por ejemplo, si  $l = 2$ ,  $m$  puede valer  $-2, -1, 0, 1$  y  $2$ , y existen cinco orientaciones diferentes de las órbitas como lo muestra la tabla 4:

**Tabla 4.** Valores de  $l$  y  $m$  y el número de órbitas para cada subnivel.

Nombre de la órbita	Valores de $l$	Posibles valores de $m$	Número de órbitas
s	0	0	1
p	1	-1, 0, 1	3
d	2	-2, -1, 0, 1, 2	5
f	3	-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3	7

Las letras  $s, p, d, f$  se eligieron basándose originalmente en las observaciones de los espectros de líneas, en las que se detectó que ciertas líneas pertenecen a una serie "bien definida" (*sharp*), y éstas se asocian con las transiciones energéticas que incluyen la subcapa  $s$ ; otras líneas pertenecen a las series que se llamaron *principal, difusa y fundamental*, de donde derivan las designaciones  $s, p, d$  y  $f$ .



**Figura 35.** El número cuántico  $m$  define la orientación del plano de la órbita.

## Aportaciones y limitaciones del modelo de Bohr-Sommerfeld

- Propuso órbitas elípticas, además de circulares, lo que implica la existencia de subniveles de energía.
- No obstante que nuevas teorías desplazaron al modelo de Bohr y Sommerfeld, la existencia de niveles cuantizados de energía y de los números cuánticos  $n$ ,  $l$  y  $m$  no se ha modificado. Lo que sí cambió en las teorías actuales es la concepción de que el electrón es un corpúsculo que viaja en una trayectoria bien definida.
- Aun cuando la visión actual es mucho más compleja, lo que nos interesa en este curso es explicar cómo las propiedades de los átomos tienen que ver con los niveles y subniveles que ocupan sus electrones más externos, y para ello nos bastará el modelo de Bohr y Sommerfeld. Quien desee profundizar en este tema le recomendamos la lectura del libro *Una hojeda a la materia* de A. Aguilar y J. Flores.

## CONFIGURACIÓN ELECTRÓNICA

Si algún valor puede adjudicarse a las teorías de la estructura ello debe comprender el de ser capaces de explicar las diferencias de reactividad de diversos elementos y también el porqué de las propiedades físicas y químicas de los elementos, así como la forma en que se repiten en la tabla periódica. La periodicidad de los elementos descarta en forma definitiva a la masa o al número atómico como factores determinantes de la reactividad química, por lo que los núcleos atómicos no son los responsables de la conducta química de los elementos. Debemos buscar la explicación en la arquitectura configuracional de los electrones externos a fin de saber por qué los elementos actúan como lo hacen.

Al pasar de un elemento a otro en la tabla periódica, el número atómico y la carga nuclear aumentan en una unidad. Para conservar la electroneutralidad de los átomos, este progresivo incremento de la carga nuclear debe acompañarse de un aumento simultáneo en el número de los electrones circundantes. En consecuencia, al pasar del hidrógeno con  $z = 1$  al laurencio con  $z = 103$ , el número de electrones alrededor del núcleo debe incrementarse progresivamente de uno en uno, desde un electrón para el hidrógeno hasta el valor de 103 para el laurencio. En virtud de que estos electrones ocupan la estructura externa de los átomos, deben disponerse en los niveles y subniveles de energía, cada uno de los cuales contiene un número máximo de electrones, como ya se estudió en temas anteriores.

¿Cuál es el sucesivo acomodo de cada electrón en la arquitectura del átomo?

No todos los electrones de un átomo se ubican a la misma distancia del núcleo como lo establecieron Bohr y Sommerfeld, sino que se encuentran en niveles y subniveles de energía. A los niveles de energía ( $n$ ) se les asigna un número comenzando por  $n = 1$ , para el nivel más cercano al núcleo, y así sucesivamente hasta llegar al nivel  $n = 7$ , para los elementos conocidos. (Teóricamente el número de niveles es infinito.)

Cada nivel de energía está ubicado más lejos del núcleo y los electrones en éstos a distancias más grandes tienen mayor cantidad de energía. El orden de los principales niveles de energía es de:

$$1 < 2 < 3 < 4 < 5 < 6 < 7$$

Como se observa, el número de electrones para cada nivel es limitado, y se puede calcular con la fórmula  $2n^2$  (ver tabla 5).

**Tabla 5.** Número máximo de electrones que pueden existir en cada subnivel y en cada uno de los primeros cuatro niveles.

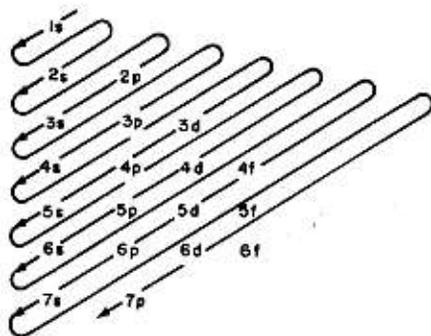
Nivel de energía	Subniveles	Número de electrones
$n = 1$	$s$	2 — 2
$n = 2$	$s$	2 — 8
	$p$	6 — 8
$n = 3$	$s$	2 — 18
	$p$	6 — 18
	$d$	10 — 18
$n = 4$	$s$	2 — 32
	$p$	6 — 32
	$d$	10 — 32
	$f$	14 — 32

Los principales niveles de energía tienen subniveles que se identifican con las letras  $s, p, d, f$ , en el orden siguiente:

$$s < p < d < f$$

Asimismo, la población de un nivel y de un subnivel está limitada a  $2n^2$ . Un subnivel  $s$  puede acomodar como máximo dos electrones; un subnivel  $p$  sólo seis electrones; un subnivel  $d$  10 electrones, y un subnivel  $f$  14 electrones, que corresponden al doble del número de diferentes valores del número cuántico magnético  $[2\ell(2\ell + 1)]$ .

Los electrones en los átomos polielectrónicos se distribuyen de acuerdo con la energía de cada subnivel de manera que los electrones ocupan primero los subniveles debido a que los niveles dentro del átomo difieren en energía, de menor energía de acuerdo con el principio de construcción progresiva, como se observa en la figura 36.

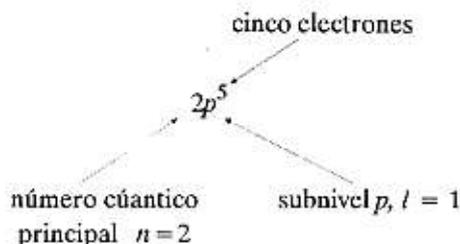


**Figura 36.** Orden de llenado de los subniveles atómicos de acuerdo con el principio de construcción progresiva.

La configuración del átomo con  $z$  electrones se obtiene al añadir un electrón más a la configuración del átomo con  $z - 1$  electrones, colocando el último de acuerdo con el orden especificado en este esquema.

En la distribución de la población electrónica en niveles y subniveles se designa un número que indica el nivel de energía, una letra que indica el subnivel y un índice que indica el número de electrones; por ejemplo:

El número máximo de electrones que en el primer nivel de energía es de dos, se localiza en el subnivel  $s$ , y se



les designa como  $1s^2$ ; el subnivel  $s$  del segundo nivel de energía ( $n = 2$ ) se identifica con  $2s$ , el tercer nivel como  $3s$  y, así, sucesivamente. Por otra parte, el segundo nivel de energía, con un máximo de dos electrones en  $s$  y seis en  $p$ , se identifica con  $2s^2 2p^6$ .

El número de electrones presente en el átomo de un elemento es igual a su número atómico y para establecer su configuración electrónica, la suma de los exponentes debe ser igual a su número atómico.

Para comprender lo anterior, a continuación se describen las configuraciones electrónicas de algunos elementos:

Elemento	Configuración electrónica
$^1_1\text{H}$	$1s^1$
$^2_2\text{He}$	$1s^2$
$^3_3\text{Li}$	$1s^2 2s^1$
$^4_4\text{Be}$	$1s^2 2s^2$
$^5_5\text{B}$	$1s^2 2s^2 2p^1$
$^6_6\text{C}$	$1s^2 2s^2 2p^2$
$^7_7\text{N}$	$1s^2 2s^2 2p^3$
$^8_8\text{O}$	$1s^2 2s^2 2p^4$
$^9_9\text{F}$	$1s^2 2s^2 2p^5$
$^{10}_{10}\text{Ne}$	$1s^2 2s^2 2p^6$
$^{26}_{26}\text{Fe}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$
$^{31}_{31}\text{Ga}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^1$

Hasta el subnivel  $3p$ , la secuencia de llenado de los subniveles es la que se espera de acuerdo con el aumento de energía de los niveles y subniveles; sin embargo, después de haberse llenado el subnivel  $3p$ , se presenta una variante: el tercer nivel de energía debería completar lógicamente su capacidad de 18 electrones con los del  $3d$ , antes de que los electrones entraran al subnivel  $4s$ ; mas como no se tiene este orden de llenado porque el subnivel  $4s$  tiene menor energía que el  $3d$ ; en consecuencia, debido a que los subniveles se llenan de acuerdo con la energía creciente, los últimos electrones del escandio al zinc se acomodarán primero en el  $4s$  y después en el  $3d$ .

\* El subíndice a la izquierda de cada símbolo es el número atómico.

## ESPÍN

Samuel Goldsmit propuso un cuarto número cuántico ( $m_s$ ) que describe las dos formas en que un electrón puede orientarse con respecto de un campo magnético. Se puede considerar que un electrón rota alrededor de su propio eje, ya sea en el sentido de las manecillas del reloj o en el sentido opuesto en relación con el campo; a esta rotación o giro se conoce con el nombre de *espín electrónico*. Este número cuántico  $m_s$  tiene dos valores:

$$+\frac{1}{2} \text{ o } -\frac{1}{2}$$

La ubicación de los electrones en los átomos se puede describir en función de los cuatro números cuánticos:  $n$ ,  $l$ ,  $m$  y  $m_s$ .

No puede haber dos electrones en un mismo átomo con sus cuatro números cuánticos iguales.

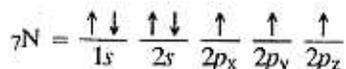
Tal es el *principio de exclusión de Pauli*, llamado así en honor de Wolfgang Pauli (1900-1958). Otro enunciado de este principio es que si dos electrones de un átomo ocupan un mismo subnivel entonces deben tener diferentes valores de  $m_s$ ; por ejemplo, en un átomo de helio dos electrones ocupan el subnivel  $1s$  del estado normal; éstos tienen espines opuestos, y se dice que están apareados; luego entonces, sus números cuánticos son:

$n$	$l$	$m$	$m_s$
1	0	0	$+\frac{1}{2}$
1	0	0	$-\frac{1}{2}$

Si dos electrones del átomo de helio tuvieran espines iguales, estarían sin aparear.

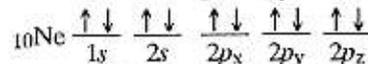
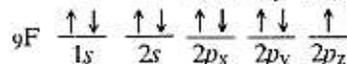
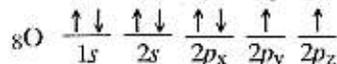
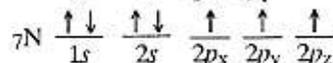
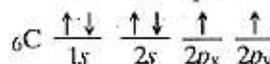
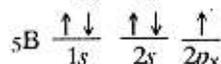
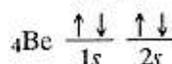
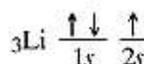
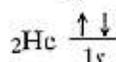
Al tener un subnivel de átomo diferentes orientaciones, los electrones se distribuyen en éstas de manera que los espines queden paralelos. Este concepto se conoce como regla de Hund, y significa que cada orientación se ocupa primero por un electrón y después se forman las parejas.

Para comprender lo anterior a continuación se describe la configuración electrónica vectorial de un átomo de nitrógeno:



En los subniveles  $1s$  y  $2s$  se encuentran apareados sus electrones porque sólo tienen una orientación en el espacio, pero el subnivel  $2p$  tiene tres orientaciones en el espacio y al ubicar los electrones éstos tienen espines paralelos.

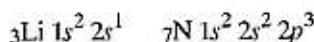
Los siguientes ejemplos muestran la aplicación de la regla de Hund y del principio de construcción:



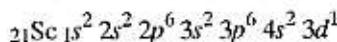
## CONFIGURACIONES ELECTRÓNICAS Y TABLA PERIÓDICA

La tabla periódica es un instrumento por medio del cual se conoce y comprende el comportamiento químico de los elementos, así como el de los innumerables compuestos que éstos integran. Está formada por siete periodos y 18 grupos, dividida en cuatro bloques de elementos, *s*, *p*, *d* y *f*, dependiendo del subnivel donde se localice el electrón diferencial.<sup>1</sup>

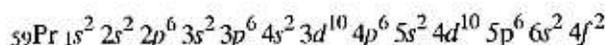
Los elementos que forman los bloques *s* y *p* se llaman *representativos*. Ésto constituyen los grupos 1, 2 y 13 al 18, y tienen colocado su electrón diferencial en el subnivel *s*; por ejemplo:



El conjunto de elementos con un electrón diferencial situado en el subnivel *d* forma los grupos del 3 al 12 y se denomina de *transición*; por ejemplo:



Los elementos del bloque *f* tienen su electrón diferencial colocado en el subnivel *f*, y reciben el nombre de *tierras raras* o de *transición interna*; por ejemplo:



La siguiente tabla periódica muestra cómo se forman los bloques de elementos de acuerdo con la configuración electrónica de su electrón diferencial.

<sup>1</sup> Último electrón de un elemento que entra en una configuración electrónica, el cual se puede diferenciar del elemento que le antecede y del que le sucede.

## ELEMENTOS REPRESENTATIVOS Y DE TRANSICIÓN

Periodo	Subniveles que se van llenando	Bloque del subnivel <i>s</i>		1 <i>ls</i> <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>H</td><td>He</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td></tr></table>										H	He	1	2	Bloque del subnivel <i>p</i>					
		H	He																				
1	2																						
		1	2	Elementos de transición										13	14	15	16	17	18				
		Bloque del subnivel <i>d</i>																					
2	2s2p	Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10				
3	3s3p	Na 11	Mg 12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18				
4	4s3d4p	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36				
5	5s4d5p	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54				
6	6s4f5d6p	Cs 55	Ba 56	Lu 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86				
7	7s5f6d7p	Fr 87	Ra 88	Lr 103	104	105	106	107	108	109													
<b>Tierras raras</b>																							
Bloque del subnivel <i>f</i>																							
6	4f	Serie de los lantánidos		La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70						
7	5f	Serie de los actínidos		Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102						

Figura 37. Clasificación de elementos de acuerdo con su configuración electrónica.

### ACTIVIDADES

#### Juego de la configuración electrónica

El propósito de este juego es observar cómo se distribuyen los electrones por medio de la participación de los alumnos. En este caso, un supuesto electrón, representado por la persona participante, gana energía y avanza desde el subnivel *1s* hasta el último subnivel (*6d*), que ocupa el elemento hanio. Además, este entretenimiento sirve como material auxiliar para la unidad de estructura atómica. En caso de cualquier duda consulta con tu maestro o asesor.

#### Procedimiento

Pueden participar hasta un máximo de 14 electrones (personas) que deben definir su espín (hacia arriba o hacia abajo), con siete opciones para cada uno.

– El electrón parte del subnivel *1s* y al llegar al subnivel *6d* gana; para avanzar se necesita obtener el nivel y subnivel de energía, de la siguiente forma:

– Hay tres oportunidades (con los dados) para obtener el nivel (número); de fallar se cambia el turno a otra persona, que también tiene tres intentos para obtener el subnivel (letra), *p*, *d*, *o*, *f*, aunque no es necesario para el subnivel *s*, y se avanza automáticamente.

– Cuando se permanece en el mismo nivel (número) sólo es necesario obtener el subnivel (letra).



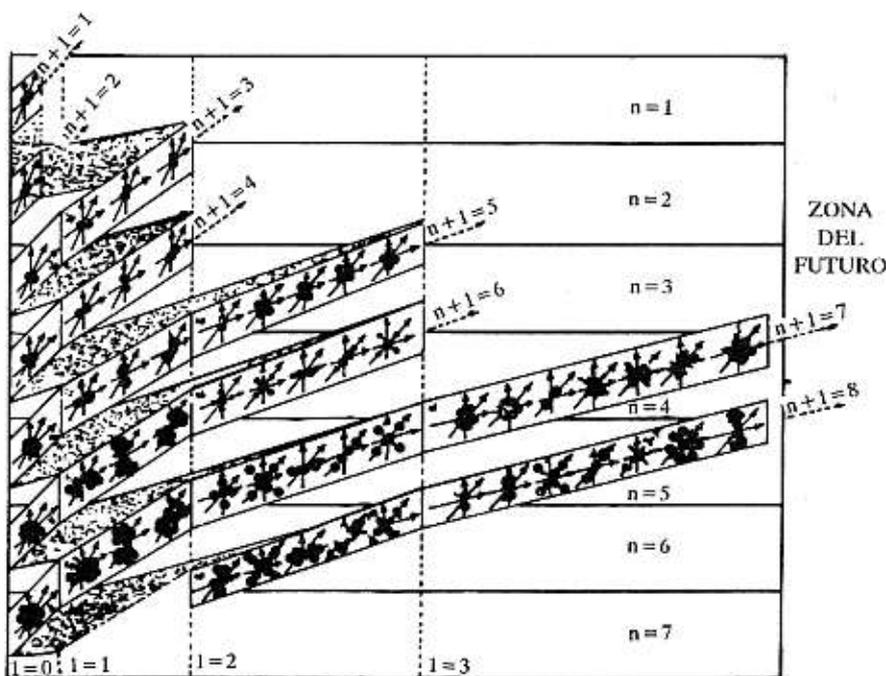
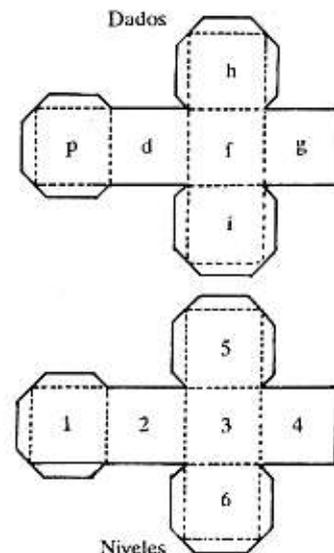


Figura 38.



## EXPLICACIÓN INTEGRADORA

– El estudio del comportamiento de las partículas cargadas en los tubos de rayos catódicos permitió el descubrimiento de las tres partículas subatómicas básicas que conforman el átomo: electrón, protón y neutrón.

– Los modelos atómicos evolucionaron gracias a los experimentos realizados: tubos de rayos catódicos, bombardeo con partículas alfa a una lámina de oro, espectroscopia de líneas y fenómenos nucleares.

– De un modelo atómico sin estructura e indivisible (de Dalton) se pasó a uno con carácter eléctrico constituido por una esfera eléctrica positiva en la que se encuentran los electrones, propuesto por Thomson.

– Con Rutherford aparece el núcleo, que concentra la mayor parte de la masa del átomo y toda la carga positiva. Los electrones giran en órbitas concéntricas alrededor del núcleo.

– A Bohr se debe el descubrimiento de por qué un electrón no se precipita al núcleo o no emite radiaciones al estar girando alrededor éste. Con él aparece el primer número cuántico llamado  $n$  (nivel).

– Sommerfeld propuso que existían órbitas circulares y órbitas elípticas de diferentes tamaños, excentricidades y orientaciones, a partir del segundo nivel. A él se deben el segundo y el tercer número cuántico:  $l$  y  $m$ .

– En un átomo la cantidad de protones es igual al número atómico y la cantidad de neutrones es igual a la cantidad de protones; la suma de protones y neutrones es igual al número de masa; los electrones están distribuidos en niveles de energía principales y en subniveles, para los cuales existe una cantidad máxima de electrones; el orden de ocupación de los niveles y subniveles de energía puede predecirse mediante el principio de construcción progresiva.

– La configuración electrónica es el conjunto de electrones que hay en cada subnivel de energía y que ubica a todos los electrones dentro de un átomo; aquélla constituye la base que permite comprender y predecir muchas propiedades de los elementos.

## FENÓMENOS NUCLEARES

El hombre siempre ha vivido a merced de las radiaciones y seguirá viviendo con ellas. Éstas se encuentran en el agua que se bebe, provenientes del uranio y el radio; la leche contiene potasio-40; los vinos añejados contienen tritio y el cuerpo humano produce aproximadamente 400 000 desintegraciones radiactivas por minuto.

El incremento en las fuentes de radiación artificial en las plantas nucleares y en la experimentación de bombas atómicas, así como el manejo irracional de los residuos radiactivos, amén de las pruebas atómicas en la atmósfera y en el subsuelo y los errores en el diseño y operación de los reactores, puede ocasionar efectos nocivos en el hombre si se rebasan los límites permitidos. Pese a ello, el hombre moderno tiene necesidades de alimentos, ropa, habitación, salud, transportación, etc., se requiere de energía para obtenerlos, por lo cual, bajo la amenaza de que las reservas de petróleo y gas natural se agoten algún día, ha buscado la energía nuclear como la más importante opción para solucionar dicho problema, a pesar de que conlleva gran peligro para la humanidad y la naturaleza.

Las ventajas y desventajas de la energía nuclear son múltiples, lo que representa un dilema que debe resolverse con madurez, evitando gastos innecesarios en las áreas bélicas y canalizando los recursos hacia la batalla contra las enfermedades, el hambre y las condiciones infrahumanas de vida.

En toda reacción química que se ha estudiado en los fascículos anteriores, los elementos han mantenido su identidad, sean reactivos o productos. En éste, estudiaremos el llamado fenómeno nuclear, que implica cambios en el núcleo de los elementos. A continuación se mencionan algunas características que diferencian los cambios químicos de los cambios nucleares.

*Cambio químico.* No produce nuevos elementos, puesto que normalmente intervienen los electrones externos, la energía liberada o absorbida es pequeña y la velocidad de reacción depende de factores externos, tales como concentración, temperatura, etcétera.

*Cambio nuclear.* Algunos elementos pueden convertirse en otros, intervienen las partículas interiores del núcleo, absorben o liberan una gran cantidad de energía y la velocidad es independiente de la concentración, temperatura, presión, etcétera.

Usaremos el término *isótopo* para referirnos a los átomos de un elemento que tiene diferente masa, y *núclido* para señalar a cierto tipo de núcleo atómico, el cual es el átomo de un elemento que se distingue de los demás por el número de protones y neutrones que tiene. La simbología para representar a los isótopos es:

A ————— número de masa  
X ————— símbolo del elemento  
Z ————— número atómico

Por ejemplo,  ${}_{92}^{238}\text{U}$  representa un isótopo de uranio con número atómico 92 y número de masa 238. A este isótopo también se le llama uranio 238, que tiene 92 protones y 146 neutrones.

## NEUTRÓN

La tercera subpartícula estable había pasado inadvertida hasta que Rutherford predijo su existencia en 1920. Walter Bothe observó, en 1930, la primera evidencia de ésta. En 1932 James Chadwick repitió el trabajo de Bot-

he y observó partículas de gran energía sin carga, esencialmente de la misma masa del protón, que en la actualidad se conocen como *neutrones*. La reacción entre partículas alfa y berilio formó carbono y un neutrón como se muestra en la figura 39.



Figura 39.

¿Por qué se presenta la radiactividad?

Uno de los factores relacionados con la estabilidad nuclear es la relación favorable neutrones-protones. Para los elementos ligeros esta estabilidad se presenta en los núcleos con una relación cercana a un protón por cada neutrón. Según aumenta el número de protones, se necesita mayor número de neutrones para que los núcleos sean estables porque con ello se reduce la repulsión entre protones.

Al lado izquierdo y al derecho de la zona de estabilidad de la figura 40 se encuentran los núclidos inestables; a los del lado derecho les sobran protones y los de la parte izquierda tienen exagerado número de neutrones.

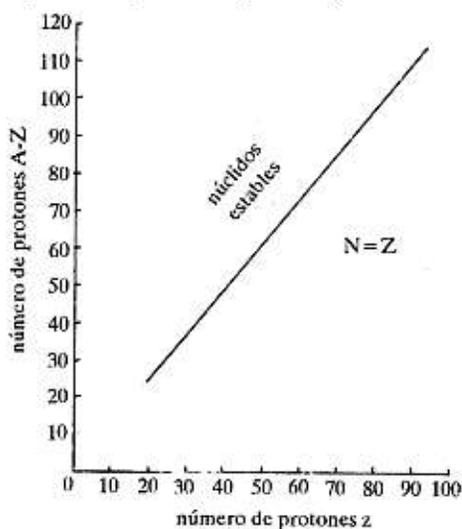
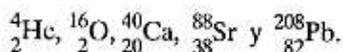


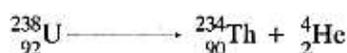
Figura 40. Representación del número de neutrones frente al número de protones, en que se muestra la banda de estabilidad.

Los elementos inestables se transforman en estables por medio de cambios nucleares, que son la esencia de la radiactividad. Los elementos que presentan una estabilidad especial son:



Las radiaciones más comunes emitidas desde el núcleo de los isótopos radiactivos son:

**Partículas alfa.** Son núcleos de helio y, por lo tanto, con carga positiva, emitidos a una velocidad de 1.4 a 1.7 millones de m/s; se designan con el símbolo  ${}^4_2\text{He}$ , y su emisión causa la disminución del número atómico en dos y el número de masa en cuatro, lo cual nos permite escribir una reacción nuclear de decaimiento alfa:



Las partículas alfa pueden penetrar láminas metálicas muy delgadas, aunque ser frenadas totalmente por una hoja de papel común, momento en que se convierten en helio. Estas partículas causan severos daños en las células normales si se introducen en el cuerpo.

*Partículas beta.* Son idénticas a los electrones y, por lo tanto, tienen carga unitaria negativa. Proviene del núcleo, pero como en éste no existen electrones, se cree que las partículas beta se producen cuando un neutrón se transforma en un protón y en una partícula beta, la cual es emitida a una velocidad variable, desde 0.1 a 99% de la velocidad de la luz. La emisión beta causa un aumento del número atómico de uno, en tanto el número de masa permanece invariable; por ejemplo:



*Rayos gamma.* Son fotones de energía radiante parecidos a los rayos X, pero más energéticos y, por lo consiguiente, no tienen carga ni masa. El núcleo los emite cuando surge un cambio interno en que reduce su energía y son emitidos a la velocidad de la luz. Poseen una energía muy elevada que les permite penetrar un metal (hasta 20-25 cm plomo o concreto), y en los seres vivos ocasionan mutaciones.

Un isótopo radiactivo no emite simultáneamente partículas alfa y beta; sin embargo, por lo general los rayos gamma se emiten con las partículas alfa o beta debido a los ajustes de energía interna del núcleo del átomo.

**Tabla 6.** Resumen de las propiedades de las radiaciones nucleares.

Radiación nuclear	Símbolo	Masa (uma)	Carga	Velocidad	Penetración	Identidad	Efecto de ionización
Alfa $\alpha$	${}^4_2\text{He}$	4.0026	2+	0.1 C	baja	núcleo de helio	alta
Beta $\beta$	${}^0_{-1}\text{e}$	0.00055	1-	0.9 C	baja a moderada	electrón	moderada
Gamma $\gamma$	$\gamma$	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

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

## DETECCIÓN DE LA RADIATIVIDAD

Puesto que las radiaciones son invisibles, se han desarrollado métodos indirectos para detectarlas, algunos de los cuales son los siguientes:

*Fotográfico.* Se utiliza papel y película fotográficos, ya que la radiactividad afecta a la emulsión fotográfica de la misma manera que la luz visible.

*Fluorescente.* Se utilizan sustancias capaces de absorber energía radiante o cinética, transformándola en energía radiante visible a la vista.

*Cámara de niebla.* Inventada por Charles Thomson Wilson, permite ver la trayectoria de una radiación en su paso a través de vapor sobresaturado.

*Contador de ionización de gases.* En este aparato, una partícula ionizante pasa a través de un gas entre dos electrodos y se producen pulsaciones en forma de un flujo de corriente. El más conocido de estos contadores es el de Geiger, que opera a altos voltajes y puede registrar cascadas de más de un millón de electrones por cada electrón inicialmente desprendido por la emisión radiactiva.

## VIDA MEDIA

Una muestra de material radiactivo, no importa su tamaño, siempre presenta rapidez de decaimiento constante. El tiempo en el cual la mitad de los átomos radiactivos iniciales se transforman se conoce como *tiempo de vida media*, que es característico de cada núcleo; por ejemplo, el radón-219 es un emisor alfa que emite la mitad del total de partículas alfa en cuatro segundos.

Si se tiene un gramo de radón-219, después de cuatro segundos sólo quedan 0.5 gramos, pues la mitad del material se ha transformado en polonio-215; después de ocho segundos habrá 0.25 g, y después de 12 segundos habrá 0.125 g. No es posible decir cuándo se desintegrará un cierto átomo, pero sí podemos predecir el tiempo que requerirá para que se desintegre la mitad de un gran número de ellos.

## ENERGÍA DE AMARRE

¿Por qué se libera gran cantidad de energía en los cambios nucleares? La respuesta la dio Einstein: se trata de un fenómeno de transformación de masa en energía.

Uno de los grandes hallazgos de este siglo es el hecho de que las masas de los átomos son siempre inferiores a la suma de las masas de los protones y neutrones individuales que los forman. Por ejemplo, la masa calculada para los dos protones y dos neutrones del helio es 4.03298 y la determinada experimentalmente es de 4.002603; la pérdida de masa es de 0.030377. Einstein demostró que esta pérdida de masa no implica que desaparezca, sino que se transforma en energía de acuerdo con su ecuación

$$E = m c^2.$$

De esta manera, los 0.030377 una se convierten en  $4.647681 \times 10^{-13}$  joules. Esta cantidad puede parecer ridícula, pero debe tomarse en cuenta que se refiere a la formación de un solo átomo de helio. Cuando se forman 4.002603 g de helio se liberaría una energía  $6.02 \times 10^{23}$  veces mayor; casi 280 mil millones de joules, cantidad de energía suficiente para hacer hervir casi 100 toneladas de agua.

A la energía necesaria para romper un núcleo y convertirlo en sus nucleones aislados se le conoce como *energía de amarre*. Cuando esta energía se calcula para todos los núcleos se obtiene la siguiente curva:



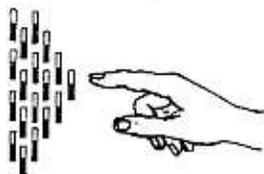


Figura 42. Ilustración de una reacción en cadena.

### Aplicaciones de la fisión nuclear

- Aprovechamiento de la energía nuclear para fines militares.<sup>2</sup>
- Obtención de nuevos elementos químicos.
- Hallazgo de nuevas partículas nucleares.
- Comprensión sobre la forma en que se realizan las reacciones químicas.
- Nuevos métodos químicos para analizar muestras.
- Tratamiento de padecimientos y tumores cancerosos.
- Estudio de estructuras de equipo y edificios.
- Obtención de energía eléctrica.

## REACTOR NUCLEAR

La explosión de una bomba atómica es una reacción en cadena instantánea e incontrolable. En un reactor nuclear ocurre una reacción similar que puede controlarse de tal manera que una fisión produce únicamente una nueva fisión y no existe posibilidad de explosión porque los combustibles de un reactor nuclear no tienen la composición ni la distribución tan compacta de una bomba. Además, se emplean barras de control que se introducen y se sacan en los espacios situados entre las barras de combustible.

La principal diferencia que hay entre plantas termoeléctricas y reactores nucleares es que un reactor reemplaza el horno donde se quema carbón, petróleo o gas natural. Un reactor de fisión tiene cinco componentes principales: combustible, moderador, barras de control, sistema de refrigeración y escudo.

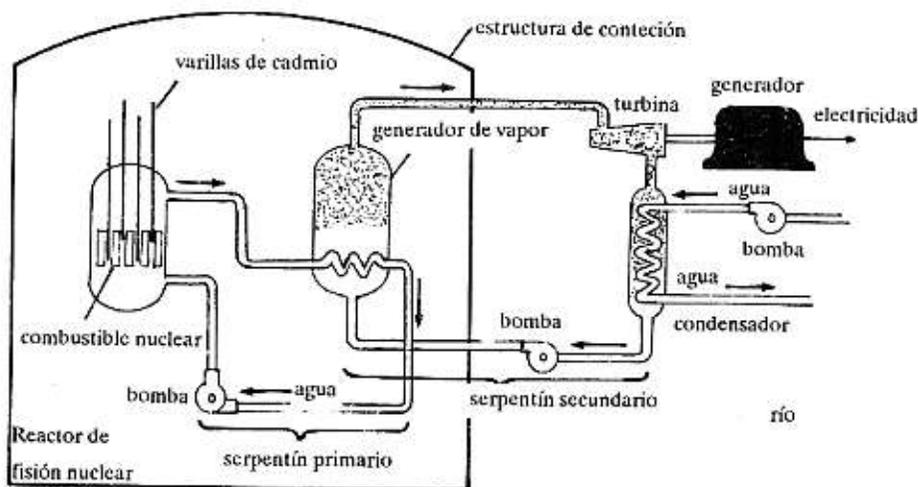


Figura 43. Diagrama esquemático de una central nuclear.

<sup>2</sup> La bomba lanzada el 6 de agosto de 1945 durante la Segunda Guerra Mundial, tenía uranio-235 y la segunda, el 14 de agosto de ese año, tenía plutonio-239. La pérdida de vidas humanas se ha calculado en 200 000. El poder explosivo de cada una de las bombas era de 0.02 megatones. Un megatón equivale a la energía liberada por un millón de toneladas de dinamita, y 50 kg de uranio-235 o plutonio-239 liberan esta misma cantidad de energía.

**Combustible.** Son barras de  $U_3O_8$  con 0.7 % de uranio-235

**Moderador.** Frena a los neutrones; suele emplearse agua ligera, agua pesada ( ${}^2_1H_2O$  o  ${}^3_1D_2O$ ) o grafito.

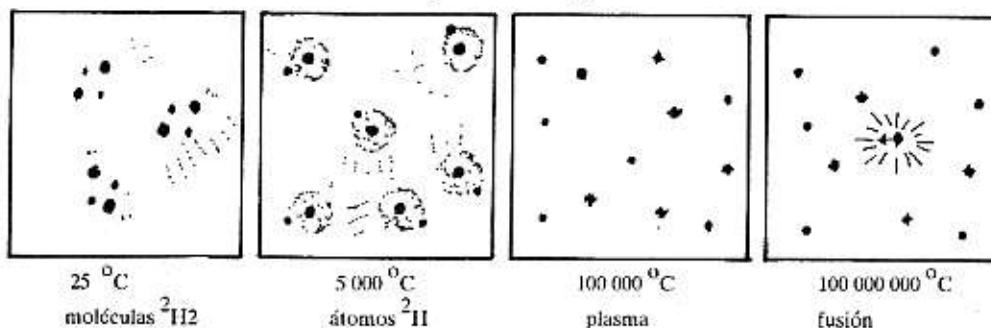
**Barras de control.** Controlan la reacción de fisión porque absorben los neutrones. El cadmio y el boro absorben bien los neutrones.

**Sistema de refrigeración.** En la práctica se necesitan dos sistemas de refrigeración: en uno, el moderador actúa como refrigerante del reactor, pues cuando se transfiere el calor generado por la fisión al generador de vapor, éste convierte el agua en vapor que va a las turbinas e impulsa al generador para producir electricidad. Otro refrigerante necesita agua de río, de mar o agua reciclada; éste condensa el agua de la turbina y el condensado se recicla al generador de vapor.

**Escudo.** Todo el reactor está dentro de un recipiente de acero alojado en un muro de concreto con varios metros de espesor, lo cual evita que escapen los rayos gamma; una gruesa capa de fibras de madera absorben las radiaciones alfa y beta.

## FUSIÓN NUCLEAR

En la fusión nuclear, núcleos de átomos pequeños se unen para formar núcleos más grandes. Veamos algunos ejemplos de reacciones de fusión altamente exotérmicas:



**Figura 44.** Estas reacciones pueden ocurrir espontáneamente a cien mil millones de grados o más.

Para llevar a cabo una fusión de los isótopos del hidrógeno deben cumplirse tres condiciones:

1. Temperaturas elevadas de 100 000 000 °C
2. Densidad elevada  $10^{14}$  a  $10^{16}$  partículas por centímetro cúbico.
3. Confinamiento de los isótopos de hidrógeno durante un segundo para que la reacción se mantenga por sí sola.

Hay dos procedimientos para desarrollar la fusión nuclear con el objetivo de producir electricidad:

1. Confinamiento magnético del hidrógeno.
2. Uso de los rayos laser o haces de electrones para unir los átomos de hidrógeno.

Las reacciones de fusión son la fuente de energía de las estrellas jóvenes como nuestro Sol. En los reactores Tokamak se han alcanzado temperaturas de 200 millones de grados celsius, una densidad de  $10^{13}$  partículas por centímetro cúbico y un confinamiento de 0.05 segundos.<sup>3</sup> Los científicos esperan que para el año 2000 a 2020 se construya una planta piloto que convierta en energía eléctrica la energía generada en la fusión, tal como se realiza en las plantas de fisión nuclear. Ahora bien, la primera reacción nuclear artificial de fusión la realizó Rutherford en 1919 al bombardear con partículas alfa una muestra de nitrógeno, de donde obtuvo oxígeno y un protón:

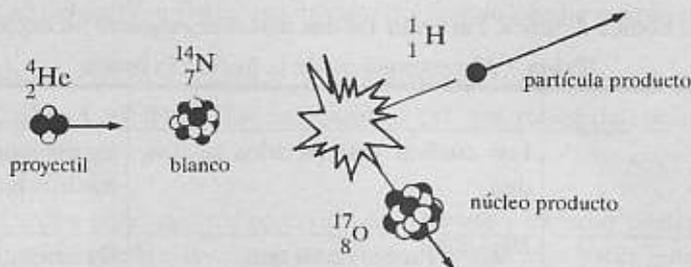


Figura 45.

Las reacciones de fusión nuclear producen mayor cantidad de calor por unidad de masa que las reacciones de fisión.

La bomba de hidrógeno tiene los dos cambios nucleares: la energía calorífica que se necesita para llevar a cabo la reacción de fusión del hidrógeno se obtiene por medio de una explosión por fisión nuclear (bomba atómica), y la energía que se libera de una reacción de fusión nuclear (bomba de hidrógeno) se ha estimado que es casi 15 veces más que la liberada en una reacción de fisión nuclear.

La fusión nuclear podría utilizarse para producir energía eléctrica en lo futuro porque se cree que estas plantas producirían menos contaminación térmica, menos radiación nuclear y tendrían menor riesgo de accidentes nucleares que las plantas de fisión nuclear. Aun cuando las aguas naturales contienen deuterio en proporción de una parte por cada 7 000 partes de hidrógeno, se estima que, una vez desarrollado un proceso de fusión adecuado, se podrá suministrar al mundo el nivel actual de energía durante un billón de años con el deuterio y el hidrógeno que contienen los océanos.

#### Aplicación de la fusión nuclear

- Explica la fuente de energía de las estrellas.
- Mediante ésta se explica la formación de los núcleos de los elementos por la fusión nuclear en las estrellas.
- Permite el hallazgo de nuevas partículas nucleares.
- Permite el aprovechamiento de la energía nuclear para fines militares.

<sup>3</sup> A fines de 1991, en la instalación JET en Inglaterra se mantuvieron las condiciones para la fisión durante 20 segundos.

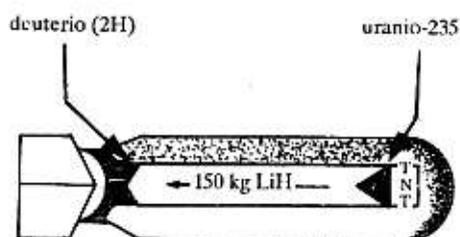


Figura 46. Diseño de una bomba atómica. Para unir las dos masas se requiere un explosivo convencional.

Tabla 7. Características de la fisión y la fusión

	<i>Fisión</i>	<i>Fusión</i>
Fenómeno que sucede	Los núcleos más pesados se dividen	los núcleos ligeros forman núcleos más grandes
Isótopos utilizados	$^{235}\text{U}$ , $^{239}\text{Pu}$ y algunos más	Deuterio, tritio y litio
Disponibilidad de la materia prima	Las Buenas Fuentes son limitadas y Caras, aunque existe gran cantidad de minerales de baja concentración	Casi ilimitada y a bajo costo
Cómo se inicia la reacción	Sucede cuando un núcleo fisiónable absorbe un neutrón	Ocurre si la temperatura es bastante elevada y las partículas no están muy separadas
	Se bombardea el material fisiónable con un deuterón	Una bomba de fisión produce la temperatura de reacción; en un reactor se usa la acción eléctrica y magnética
Cómo se mantiene la reacción	Por la reacción en cadena cuando el material tiene la masa crítica y los neutrones son retardados por el moderador	Confinando el plasma caliente para que no se enfríe
Cómo se controla	Con barras de control que absorben neutrones	Con campos magnéticos
Isótopos radiactivos formados	Muchos	Casi ninguno
¿Se necesita blindaje?	Sí, porque los productos de la fisión son radiactivos	Sí, porque los neutrones del proceso pueden hacer radiactivas las paredes
Comparación de la energía producida por gramo de combustible	Menor	Mayor

## ISÓTOPOS Y SUS APLICACIONES

Los isótopos tienen numerosas aplicaciones prácticas por sus velocidades de desintegración conocidas o simplemente porque emiten continuamente radiación, entre las cuales están:

*Determinación de la edad de restos fósiles.* La edad de productos de origen orgánico se puede estimar con los núcleos de carbono-14, el cual se incorpora a los seres vivos mientras viven (cuando fallecen ya no lo incorporan). Por lo tanto, la actividad del carbono-14 es una medida del tiempo que ha pasado desde su muerte.

El carbono-14 sólo es útil entre 500 a 50 000 años. Para determinar la fecha de objetos más antiguos se utiliza el potasio, que es útil de 10 000 a 1 300 000 000 años, y el renio-187, que puede determinar desde 40 millones de años a la edad del universo.

*Medicina.* El sodio-24 se utiliza para seguir el recorrido de la sangre y localizar obstrucciones del sistema circulatorio, en tanto el plutonio-238 puede convertirse en energía eléctrica para hacer funcionar un marcapasos.

*Estudio de las reacciones químicas.* Con el uso del tritio, carbono-14, oxígeno-18, sodio-24, fósforo-32 y azufre-35 y de contadores de Geiger se puede seguir la trayectoria de los átomos radiactivos a través de todos los pasos intermedios de un metabolismo o de la obtención de un producto. Asimismo, se estudian muchos procesos químicos y bioquímicos tanto en matraces como en plantas y animales. También se pueden usar isótopos no radiactivos como deuterio, carbono-13, oxígeno-17, etcétera.

*Esterilización.* Se irradia a los machos con rayos gamma, los cuales alteran sus células reproductivas y se les esteriliza.

*Conservación de alimentos.* La irradiación de algunos alimentos retrasa la germinación y permite almacenarlos durante largos periodos.

*Aplicaciones industriales.* Se utilizan isótopos para medir el espesor del metal o papel, la cantidad de flujo de un gas o un líquido; para determinar las fugas de tuberías, el desgaste o estado físico de equipo de edificios; para obtener nuevos elementos, producción de energía eléctrica, etcétera.

La carrera armamentista, los desechos nucleares y los fines irracionales de poder determinan que exista un futuro incierto para las ciencias nucleares y los seres vivos, por cuanto persiste el absurdo de que se diseñan bombas de neutrones que puedan matar a todos los seres vivos, pero conserven todas las construcciones intactas.

## EXPLICACIÓN INTEGRADORA

Las reacciones nucleares difieren de las reacciones químicas por la circunstancia de que en ellas intervienen las partículas nucleares, en lugar de electrones externos, y pueden interconvertir materia y energía. El proceso de desintegración radiactiva suele emitir partículas alfa, beta y rayos gamma, de manera que los productos son más estables que el núcleo que se desintegra.

La relación protones-neutrones puede predecir si un elemento es radiactivo; la detección de las radiaciones se puede hacer mediante los métodos fotográfico, fluorescente, el contador Geiger y cámaras de niebla. La velocidad de desintegración de cualquier isótopo radiactivo depende de la naturaleza del elemento y no de las con-

diciones externas. Esta velocidad se expresa en forma cuantitativa por medio del término vida media, que es el tiempo necesario para que se desintegre la mitad de cualquier masa de un elemento radiactivo.

La suma calculada de los electrones, protones y neutrones individuales de un átomo es siempre ligeramente mayor que la masa real de la totalidad del átomo. A la diferencia se le llama *pérdida de masa*, que de acuerdo con la Ley de equivalencia de la masa y la energía de Einstein es igual a la energía de amarre.

Fisión nuclear es la división de un núcleo atómico para formar dos o más fragmentos, en tanto fusión nuclear es la combinación de dos o más núcleos para formar un núcleo pesado. La bomba atómica (uranio-235) es un ejemplo de fisión y la reacción que ocurre en el Sol y la bomba de hidrógeno son ejemplos de fusión.

Entre las aplicaciones más importantes de los isótopos radiactivos están: la determinación de la edad de los fósiles, como trazadores en el estudio de los procesos químicos y biológicos, en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, etcétera.

Uno de los aspectos más prometedores a largo plazo de la fusión nuclear del deuterio es la posibilidad de contar con energía ilimitada.

Y, bien, el objetivo de este tema ha sido introducirte en el fascinante campo de la ciencia química nuclear, la cual es determinante en la solución de graves problemas de salud, alimentación, energía y supervivencia de la humanidad.

## RECAPITULACIÓN

El propósito de este fascículo fue mostrarte la serie y el tipo de experimentos que llevaron al descubrimiento de los componentes del átomo. Se enfatizó en el electrón y su distribución en la estructura del átomo, porque permite explicar las propiedades y comportamiento de la materia. Las investigaciones de la estructura del átomo han tenido repercusiones no solamente en el ámbito científico sino en el social: los tubos de rayos catódicos fueron precursores del televisor y de las lámparas mercuriales, de sodio, etc., y el conocimiento del espectro de energía radiante nos ha brindado la oportunidad desde tomar fotos en la oscuridad hasta hacer palomitas en menos de cinco minutos en un horno de microondas.

Además de permitirnos una mejor comprensión de la estructura del átomo, la radiactividad tiene aplicación en los campos de la salud, industria, alimentación, generación de energía eléctrica, etc. Asimismo, hace posible conocer parte de nuestro pasado, nuestro origen, la composición de las estrellas y su fuente de energía.

Cabe agregar que durante el desarrollo de las diferentes investigaciones, que proporcionaron una mejor comprensión de la estructura del átomo, estuvo siempre presente la observación de los fenómenos y la experimentación para dar validez a cualquier teoría.

Los conocimientos de la estructura atómica y de los fenómenos nucleares te abrirán las puertas a un mejor entendimiento del comportamiento de la materia, sus propiedades, sus aplicaciones y sus repercusiones en la sociedad y en el ecosistema.

## ACTIVIDADES DE CONSOLIDACIÓN

Da respuesta a las siguientes preguntas:

1. De acuerdo con Bohr, los electrones se encuentran en:

- a) Órbitas.
- b) Regiones.
- c) Niveles de energía.

2. ¿Como se determinaría si la luz de color de un rótulo de neón se debe a una mezcla de colores o a un solo color?

3. Determina cuántos electrones:

- a) Puede ocupar el tercer nivel de energía ( $n = 3$ ).
- b) Puede haber en el subnivel  $d$  del cuarto nivel de energía ( $n = 4$ ).
- c) Puede haber en el segundo nivel de energía ( $n = 2$ ).

4. Si el galio tiene un número atómico de 31:

- a) ¿Qué configuración electrónica tiene este elemento?
- b) ¿Cuántos electrones tiene en el cuarto nivel de energía?
- c) ¿Cuántos electrones  $d$  tiene este átomo?

5. ¿Qué letras designan a los subniveles de energía?

- a)  $n, l, m, s$
- b)  $s, p, d, f$
- c)  $K, L, M, N$

6. Escribe la configuración electrónica para cada uno de los siguientes elementos:

- a)  ${}_{11}\text{Na}$
- b)  ${}_{20}\text{Ca}$
- c)  ${}_{30}\text{Zn}$
- d)  ${}_{57}\text{La}$
- e)  ${}_{32}\text{Ge}$

7. En qué grupo y periodo se encuentran los átomos con las siguientes configuraciones electrónicas:

- a)  $1s^2 2s^2 2p^1$
- b)  $1s^2 2s^1$
- c)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$

8. Una muestra de ozono puro se mantiene en una cámara inerte de tal manera que al poco tiempo no queda casi nada de ozono. Lo mismo sucede con el radio, aunque el cambio requiere un lapso más largo. ¿Qué diferencia hay entre estos dos cambios?

9. Escribe los símbolos de las siguientes partículas o rayos:

- a) Alfa.      b) Beta.
- c) Gamma.    d) Protón.
- e) Neutrón.   f) Deuterón.

10. ¿Qué protección necesitas contra la emisión de...?

- a) Partículas alfa.
- b) Partículas beta.
- c) Rayos gamma.

11. Menciona dos métodos de detección de radiaciones.

12. El protoactinio-234 es un emisor beta que emite la mitad de partículas en 1.14 minutos. Si de una muestra de este elemento de 8 g quedan 4 g al cabo de 1.14 minutos, ¿cuántos gramos habrá después de 3.42 minutos?

- a) 2.66 g
- b) 1 g
- c) 2 g
- d) 1.33 g

13. Escribe un isótopo radiactivo que se utilice en:

- a) Investigación.
- b) Agricultura.
- c) Industria.
- d) Medicina.

14. Explica los siguientes procesos de un reactor nuclear cuya función es producir electricidad:

- a) El funcionamiento de las varillas de carburo de boro.
- b) La función de un moderador.
- c) La forma de suspender la operación del reactor nuclear.
- d) La forma en que se produce la electricidad.

15. ¿Por qué no se construyen reactores nucleares basados en reacciones de fusión, en lugar de reacciones de fisión?

16. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la fisión nuclear sobre la fusión nuclear?

## LINEAMIENTOS DE AUTOEVALUACIÓN

1. Niveles de energía.
2. Por medio de un espectro de líneas.
3. a) Máximo de 18 electrones.  
b) Máximo de 10 electrones.  
c) Máximo de 8 electrones.
4. a)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^1$ .  
b) Tres electrones: dos en  $s$  y uno en  $p$ .  
c) 10 electrones.

5.  $s, p, d, f$ .

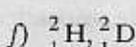
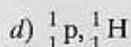
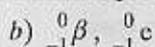
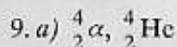
6. a)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$   
b)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$   
c)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10}$   
d)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 4f^1$   
e)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^1$

7. a) Grupo 13, periodo 2.  
b) Grupo 1, periodo 2.  
c) Grupo 2, periodo 3.

8. Que en el ozono se realiza un cambio químico.



y en el radio ocurre un cambio nuclear de radio a plomo por emisiones alfa y beta



10. a) Con láminas delgadas de papel, fibras de madera o placas de metal con 0.5 mm de espesor.  
b) Con una lámina de aluminio de 3 mm de espesor.  
c) Con concreto o plomo de 200 a 250 mm de espesor.

11. Fotográfico, fluorescencia, cámaras de niebla y contadores de ionización de gases (Geiger-Müller).
12. b) 1 g
13. a) Tritio, carbono-14, oxígeno-18, sodio-24, fósforo-32, etcétera.  
b) Cobalto-60, radio-228, etcétera.  
c) Cobalto-60, americio-241, estroncio-90, curio-249, etcétera.  
d) Sodio-24, plutonio-238, tecnecio-99, talio-201, yodo-131, etcétera.
14. a) Absorben neutrones.  
b) Aminoran la velocidad de los neutrones.  
c) Mediante las varillas de control en el fondo del reactor.  
d) El vapor que se produce en el reactor nuclear pasa a una turbina, la cual mueve el generador que produce energía eléctrica.
15. Porque todavía no se logran cumplir los tres requisitos para que se efectúe una reacción de fusión que son: temperaturas y densidad elevadas y confinamiento suficiente para que la reacción se mantenga por sí sola.
16. Los reactores de fisión nuclear ya se usan en la actualidad, pero no existe todavía la tecnología para obtener los reactores de fusión nuclear.

Las reacciones de fisión nuclear producen mayor contaminación que las reacciones de fusión nuclear.

Las fuentes de materia prima para la fisión son caras y para la fusión son a bajo costo

## GLOSARIO

**Acelerador lineal.** Dispositivo utilizado para acelerar partículas cargadas a través de una línea recta.

**Agua pesada.** Agua que contiene deuterio, un isótopo pesado del hidrógeno,  ${}^2_1\text{H}$ .

**Ánodo.** Es el electrodo positivo de un tubo de rayos catódicos.

**Barras de control.** Barras de materiales como cadmio o aceros borados que actúan como absorbedores de neutrones (no sólo moderadores) y se utilizan en los reactores nucleares para controlar los flujos de neutrones y, por lo tanto, las velocidades de fisión.

**Cámara de niebla.** Equipo con el que se observan las trayectorias de las partículas cuando las moléculas de vapor condensan sobre ellas y forman rastros de niebla.

**Cátodo.** Electrodo negativo de un tubo de rayos catódicos.

**Ciclotrón.** Aparato en el que se aceleran partículas cargadas a través de un eje en espiral.

**Configuración electrónica.** Distribución específica de los electrones en los orbitales de átomos o iones.

**Contador de centelleo.** Equipo utilizado para la detección.

**Cuanto.** "Paquete" de energía.

**Defecto de masa.** Diferencia que existe entre la suma de las masas de todas las partículas subatómicas individuales que forman un átomo y la masa real de dicho átomo. Cantidad de materia transformada en energía al construir un átomo a partir de sus partículas constitutivas.

**Degenerado.** De la misma energía.

**Diamagnetismo.** Repulsión débil por un campo magnético.

**Electrón.** Partícula subatómica con una masa de 0.00055 uma y una carga de  $1-$ .

**Energía termonuclear.** Energía de las reacciones nucleares de fusión.

**Energía de unión nuclear.** Energía equivalente al defecto de masa. Energía liberada al formar un átomo a partir de partículas subatómicas.

**Espectrómetro de masas.** Instrumento que mide la relación de masa/carga de partículas cargadas.

**Estado excitado.** Cualquier estado de un átomo o molécula distinto del estado fundamental.

**Estado fundamental.** Estado más estable o de menor energía de un átomo o molécula.

**Fluorescencia.** Absorción por una sustancia de una radiación de elevada energía con la subsiguiente emisión de luz visible.

**Fusión nuclear.** La ruptura de un núcleo pesado para formar dos núcleos más ligeros.

**Fotón.** "Paquete" de luz o de radiación electromagnética. También se le denomina cuanto de luz.

**Frecuencia.** Intervalo del tiempo necesario para que pasen por un mismo punto dos crestas (o dos valles) de una onda.

**Fusión nuclear.** Combinación de dos núcleos ligeros para producir uno pesado.

**Grupo.** Columna vertical de la tabla periódica. También se le llama familia.

**Isótopos.** Dos o más formas de átomos de un mismo elemento. Átomos con el mismo número de protones, pero de diferente número neutrones.

**Línea espectral.** Cualquiera de las líneas correspondientes a longitudes de onda definidas, que aparecen en un espectro atómico de emisión o absorción. Representan la diferencia energética que hay entre dos niveles energéticos.

**Longitud de onda.** Distancia entre dos crestas (o dos valles) consecutivas de una onda.

**Masa crítica.** La mínima masa de un núclido fisionable particular, en un volumen determinado, necesaria para sustentar una reacción nuclear en cadena.

**Moderador.** Sustancia (hidrógeno, deuterio, oxígeno o parafina) capaz de disminuir la velocidad de los neutrones por colisiones.

**Neutrón lento.** Neutrón rápido que ha sido frenado por colisión con un moderador.

**Neutrón rápido.** Neutrón expulsado de una reacción nuclear con una gran energía cinética.

**Neutrón.** Partícula subatómica neutra con una masa de 1.0087 uma.

**Núcleo.** Es el centro pequeño, denso y cargado positivamente de un átomo. Contiene protones, neutrones y otras partículas subatómicas.

**Nucleones.** Partículas contenidas en los núcleos.

**Núclidos.** Las diferentes formas atómicas de todos los elementos, a diferencia de "isótopos", que se refiere solamente a las diferentes formas atómicas de un elemento simple.

**Núclido hijo.** Núcleo que se produce en una desintegración nuclear.

**Núclido madre.** Núcleo que experimenta la desintegración nuclear.

**Número atómico.** Número de protones del núcleo. Número entero que identifica a cada elemento.

**Partícula alfa ( $\alpha$ ).** Núcleo de helio.

**Partícula beta ( $\beta$ ).** Electrón emitido por un núcleo cuando un neutrón se desintegra en un protón y un electrón.

**Periodo.** Fila horizontal de la tabla periódica.

**Plasma.** Estado físico de la materia que existe a temperaturas elevadísimas y en el cual todas las moléculas están disociadas y casi todos los átomos ionizados.

**Principio de construcción progresiva.** Muestra el orden en que se ocupan los orbitales de un átomo.

**Protón.** Partícula subatómica con una masa de 1.0073 uma y una carga de  $1 +$  que se encuentra en los núcleos atómicos.

**Radiación.** Partículas o rayos de elevada energía emitidos en los procesos de desintegración radiactiva.

**Radiactividad.** Desintegración espontánea de núcleos atómicos.

**Radioisótopo.** Isótopo radiactivo de un elemento.

**Radionúclido.** Núclido radiactivo.

**Rayo gamma.** Radiación electromagnética de elevada energía.

**Rayo catódico.** Haz de electrones que van del electrodo negativo al positivo, en un tubo de rayos catódicos.

**Reacción en cadena.** Reacción que una vez iniciada se mantiene y expande por sí misma.

**Reacción nuclear.** Implica cambios en la composición del núcleo y puede emitir y absorber enormes cantidades de energía.

**Reactor generador.** Reactor nuclear que produce más material fisionable del que consume.

**Reactor nuclear.** Sistema en el cual las reacciones de fisión controladas generan energía calorífica a gran escala que luego se convierte en energía eléctrica.

**Regla de Hund.** Todos los orbitales de un nivel dado deben ser ocupados por electrones sueltos, antes de que comience el apareamiento. Véase el Principio de Aufbau.

**Trazador radiactivo.** Pequeña cantidad de un radioisótopo que reemplaza a un isótopo no radiactivo de un elemento compuesto cuyo curso quiere seguirse (por ejemplo, a través del cuerpo) y cuyos productos de descomposición pueden detectarse por su radiactividad; también llamado marcador radiactivo.

**Transmutación artificial.** Reacción nuclear inducida artificialmente por bombardeo de un núcleo con partículas subatómicas o núcleos pequeños

**Vida media de un radionúclido.** Es el tiempo requerido para que la mitad de una muestra dada experimente desintegración radiactiva.