

Augusto Holguín Valdéz

Nuestro Universo y la Ciencia de lo Cotidiano



Augusto Holguín Valdéz

Nuestro Universo y la Ciencia de lo Cotidiano

NUESTRO UNIVERSO Y LA CIENCIA DE LO COTIDIANO

AUGUSTO HOLGUÍN VALDÉZ

Universidad Metropolitana,
Caracas, Venezuela, 2025

Hecho el depósito de Ley

ISBN:
978-980-18-7654-0

Formato:
15,24x 22,86 cms.

Nº de páginas:
136

Diseño y diagramación:
Jesús Salazar / salazjesus@gmail.com

Los derechos de divulgación, comercialización y publicación
de las obras han sido cedidos por sus autores
a la Universidad Metropolitana.

Reservados todos los derechos.

Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o transmitirse, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso por escrito del editor.



Autoridades

Irwin Perret-Gentil
Presidente del Consejo Superior

María Isabel Guinand
Rector

Natalia Castañón
Vicerrectora Académica

María Gabriela Escalona
Vicerrectora Administrativa

Luis Santiago Perera
Secretario General



Comité Editorial de Publicaciones de apoyo a la educación

Prof. Mirian Benhayon

Prof. Natalia Castañón

Prof. Miguel Albuja

Prof. Rosana París

Prof. Alfredo Rodríguez Iranzo (Editor)

ÍNDICE

RELATIVIDAD ESPECIAL	11
EL MOVIMIENTO ES RELATIVO	13
DILATACIÓN DEL TIEMPO	16
CONTRACCIÓN DE LA LONGITUD	19
RELACIÓN ENTRE MASA Y ENERGÍA	20
RELATIVIDAD GENERAL	23
CLIMA Y CORRIENTES	33
LAS PASAS DEL PAN DE JAMÓN, LA CORRIENTE DEL GOLFO, Y EL CLIMA	33
LA ELEVADA CAPACIDAD CALORÍFICA ESPECÍFICA DEL AGUA Y EL CLIMA	35
ESCALAS, ENANOS HAMBRIENTOS Y GORDOS ACALORADOS	41
LA MEDIDA DEL TIEMPO	53
El péndulo dijo cuánto dura un segundo	55
El resorte espiral, mejor que el péndulo	56
Marinos desorientados. Cronómetros y Cronógrafos	58
El reloj electrónico	60
¿Cómo funciona un Accutron?	62
El reloj de cuarzo	63
¿Qué hace el cristal de cuarzo?	63
Más precisión y más exactitud	65
El que sabe leer la hora, la lee como sea	65
Joyas mecánicas. No muestran la hora, muestran el Ego	66

MOVIMIENTO EN LOS FLUIDOS	69
Palpitación vascular	72
Ataque isquémico transitorio	73
El vuelo	74
Efecto Magnus	76
Gol Olímpico	77
En el Beisbol	78
BREVE HISTORIA: DEL “ALÓ” AL CELULAR	81
El presidente no tenía quien le llamara	81
Por ser buen esposo inventó el teléfono	81
También inventó la expresión: ¡ALÓ!	84
¿Por qué se le llama “celular”?	88
Celular ¡delator!	89
¡HÁGASE LA LED! Y SE HIZO LA LUZ Y LA PANTALLA DE MI CELULAR	93
ILUMINACIÓN LED	93
Ahorro energético	94
Vida útil	95
Alumbrado exterior	95
Sistema Matricial de Iluminación LED de Audi	96
Luz uniforme	98
Diversidad de colores	98
LOS LED Y LAS PANTALLAS DE LOS CELULARES	99
Polarización de la luz	99
Cristal Líquido	101
Pantallas OLED	102
Comparemos las pantallas LCD y OLED,	103
específicamente en el caso de los celulares	103
La Pantalla Más Grande del Mundo	105

*A mis hermanos, mi gran apoyo
y a mis sobrinos, mi mayor orgullo*

RELATIVIDAD ESPECIAL

La diferencia fundamental entre las ideas de Aristóteles y las de Galileo y Newton estriba en que Aristóteles creía en un estado preferente de reposo, en el que todas las cosas subyacerían, a menos que fueran empujadas por una fuerza o impulso. En particular, él creyó que la Tierra estaba en reposo. Por el contrario, de las leyes de Newton se desprende que no existe el reposo absoluto, el reposo depende del sistema de referencia desde el cual se observen los eventos. Por ejemplo, al jugar al ping-pong dentro de un tren en movimiento, uno encuentra que la pelota obedece las leyes de Newton exactamente igual a como lo haría

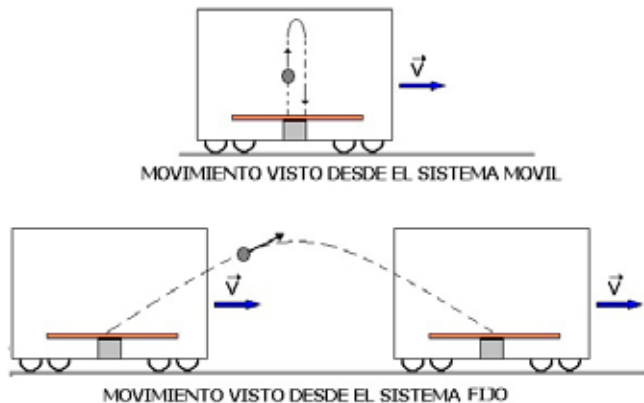


Fig. 1

en una mesa situada junto a la vía. Por lo tanto, no hay forma de distinguir si es el tren o es la Tierra lo que se mueve.

La falta de un estándar absoluto de reposo significa que no se puede determinar si dos acontecimientos que ocurren en tiempos diferentes han tenido lugar en la misma posición espacial. Por ejemplo, supongamos que en el tren la bola de ping-pong está botando, moviéndose verticalmente hacia arriba y hacia abajo y golpeando la mesa en el mismo lugar con un intervalo de un segundo (Fig. 1).

Para un observador situado junto a la vía, los dos botes parecerán tener lugar con una separación de varios metros, ya que el tren habrá recorrido esa distancia entre los dos botes.

Así pues, la no existencia de un reposo absoluto significa que no se puede asociar una posición absoluta en el espacio para ningún suceso. Las posiciones de los sucesos y la distancia entre ellos serán diferentes para una persona en el tren y para otra que esté al lado de la vía, y no existe razón para preferir el punto de vista de una de las personas frente al de la otra.

Sin embargo, tanto Aristóteles como Newton creían en el tiempo absoluto. Es decir, ambos pensaban que se podía medir el intervalo de tiempo entre dos sucesos sin ambigüedad, y que dicho intervalo sería el mismo para todos los que lo midieran, ya sea que estuvieran dentro del tren o fuera de él, con tal que usaran un buen reloj. El tiempo era independiente del espacio y estaba totalmente separado de él. Esto es, de hecho, lo que la mayoría de la gente consideraría como de sentido común. Sin embargo, nuestras nociones de lo que parece ser el sentido común funcionan bien cuando se usan en el estudio del movimiento de cosas tales como: manzanas, automóviles, trenes o planetas, que viajan relativamente lentas. Pero, no funcionan, en absoluto, cuando se aplican a cosas que se mueven con o cerca de la velocidad de la luz.

El hecho de que la luz viaja a una velocidad finita, aunque muy elevada, fue descubierto en 1676 por el astrónomo danés Ole Christensen Roemer y en 1865 el físico británico

James Clerk Maxwell consiguió una verdadera teoría de la propagación de la luz, al unificar con éxito las teorías parciales que hasta entonces se habían usado para definir las fuerzas de la electricidad y el magnetismo. Las ecuaciones de Maxwell predecían la existencia de perturbaciones de carácter ondulatorio del campo electromagnético combinado, algo así como, las olas producidas por una lancha, y que éstas perturbaciones u ondas que constituyen la luz, viajarían a velocidad constante $c = 300000 \text{ Km/s}$.

Como la teoría de Newton se había desprendido de un sistema de referencia absoluto, si se suponía que la luz viajaba a una cierta velocidad fija, había que especificar con respecto a qué sistema de referencia se medía dicha velocidad. Para que esto tuviera sentido, se sugirió la existencia de una sustancia llamada «éter» que estaba presente en todas partes, incluso en el espacio «vacío».

Las ondas de luz debían viajar a través del éter al igual que las ondas de sonido lo hacen a través del aire, y su velocidad debería ser, por lo tanto, relativa al éter. Diferentes observadores que se movieran con relación al éter verían acercarse la luz con velocidades distintas, pero la velocidad de la luz con respecto al éter permanecería fija. Aclaremos esta idea.

EL MOVIMIENTO ES RELATIVO

La rapidez es una cantidad relativa. Su valor depende del sitio, o marco de referencia desde el cual lo observamos y medimos. Por lo tanto, la rapidez de un objeto puede ser distinta respecto a distintos marcos de referencia. Por ejemplo: supongamos que un pitcher siempre lanza la pelota de béisbol con la misma rapidez de 60 Km/h (Fig. 2). Despreciando la resistencia del aire y otros pequeños efectos, la pelota se desplazará a 60 km/h al momento de atraparla. Pero, si el pitcher lanza la pelota desde la plataforma de un

camión que se dirige hacia el receptor a 40 km/h. ¿Qué rapidez tiene la pelota cuando es atrapada?

Se necesitaría un guante porque la rapidez de la pelota será de 100 km/h (60 km/h respecto al camión más 40 km/h del camión respecto al suelo). Ahora supongamos que el

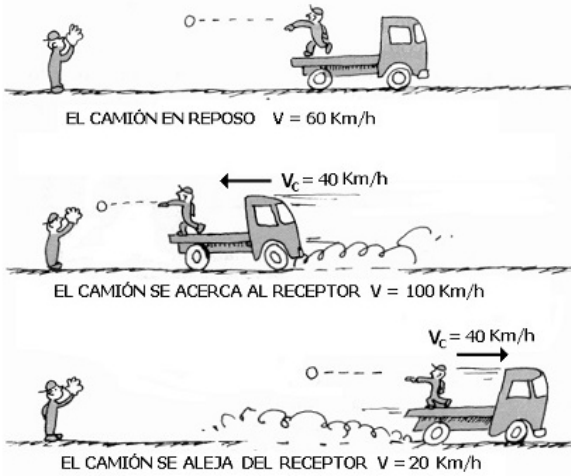


Fig. 2

camión se aleja del receptor a 40 km/h. Esta vez no es necesario el guante, pues la pelota llega con una rapidez de 20 km/h (ya que 60 km/h menos 40 km/h es igual a 20 km/h). Esto no es ninguna sorpresa, es de esperarse que la pelota se desplace más aprisa cuando el camión se dirige hacia el receptor y, más lentamente cuando se aleja de él.

Para el caso de la luz, dado que la Tierra se movía a través del éter en su órbita alrededor del Sol, la velocidad de la luz medida cuando el rayo se movía en el mismo sentido del movimiento de la Tierra a través del éter (el receptor alejándose de la luz) debería ser menor que la velocidad medida cuando se movía en sentido opuesto al movimiento de la Tierra (el receptor saldría al encuentro del rayo), o cuando se movía en dirección perpendicular al movimiento de la Tierra.

En 1887, Albert Michelson (quien más tarde fue el primer norteamericano que recibió el premio Nobel de física) y Edward Morley llevaron a cabo un muy ingenioso experimento. Ellos compararon la velocidad de la luz en la dirección del movimiento de la Tierra, tanto en un sentido como en otro, con la velocidad de la luz en la dirección perpendicular a dicho movimiento. Para su sorpresa, ¡encontra-

ron que las velocidades eran exactamente iguales!

Las pelotas de béisbol no se comportan de esta manera. ¡Pero resulta que la luz sí! Toda medición de la rapidez de la luz en el espacio vacío arroja el mismo valor de 300000 km/s sin importar la rapidez de la fuente ni la del receptor (Fig. 3). Normalmente no notamos este efecto

debido a lo increíblemente aprisa que viaja la luz. La luz proveniente de una fuente que se acerca llega al observador con la misma rapidez que la luz que proviene de una fuente que se aleja. Y la rapidez de la luz es la misma ya sea que nos acerquemos o nos alejemos de la fuente de luz.

¿Cómo tomó este descubrimiento la comunidad física? Se quedaron tan perplejos como se quedarían todos los observadores si la pelota de béisbol del ejemplo anterior llegara siempre con la misma rapidez sin importar cómo se movieran el pitcher o el receptor.

Los experimentos se repitieron una y otra vez, siempre con el mismo resultado. Nada podía alterar la rapidez de la luz. Se propusieron diversas interpretaciones, pero ninguna de ellas resultaba satisfactoria. El edificio de la física se tambaleaba.

Entre 1887 y 1905, hubo diversos intentos, de explicar el resultado del experimento de Michelson-Morley. Sin embargo, en 1905, (18 años después) en un famoso artículo Albert Einstein, hasta entonces un desconocido empleado de la oficina de patentes de Suiza, señaló que la idea del éter era totalmente innecesaria, con tal que se estuviera dispuesto a abandonar la idea de un tiempo absoluto. Albert Einstein consideró la rapidez de la luz en términos de la definición de rapidez. ¿Qué es la rapidez? Pues es la cantidad de espacio que se recorre durante cierto tiempo. Einstein se percató de que los conceptos clásicos de espacio y de tiempo eran dudosos y que un cambio en el espacio (un desplazamiento)

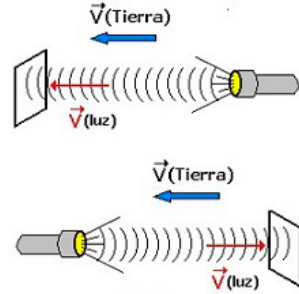


Fig. 3

afecta el transcurrir del tiempo. Para la luz el cociente del espacio entre el tiempo, es el mismo para todos aquellos que lo miden, en consecuencia, al variar el desplazamiento debe también, variar el intervalo de tiempo. Concluyó que el espacio y el tiempo eran parte de una entidad única: el *espacio tiempo*. El hecho de que la velocidad de la luz sea constante, se dijo Einstein, unifica el *espacio tiempo*.

El postulado fundamental de la *teoría de la relatividad* nombre de esta nueva teoría, era que **las leyes de la ciencia deberían ser las mismas para todos los observadores en movimiento uniforme**, independientemente de cual fuera su velocidad. Esto ya era cierto para las leyes de Newton, pero ahora se extendía la idea para incluir también la teoría de Maxwell y la velocidad de la luz: todos los observadores deberían medir la misma velocidad de la luz sin importar la rapidez ni la dirección con la que se estuvieran moviendo. Esta idea tan simple tiene algunas consecuencias extraordinarias.

DILATACIÓN DEL TIEMPO

Regresemos al ejemplo de la pelota de ping-pong que está botando dentro del tren fantásticamente rápido. Pero, en lugar de la pelota usamos un pulso de luz emitido verticalmente desde la

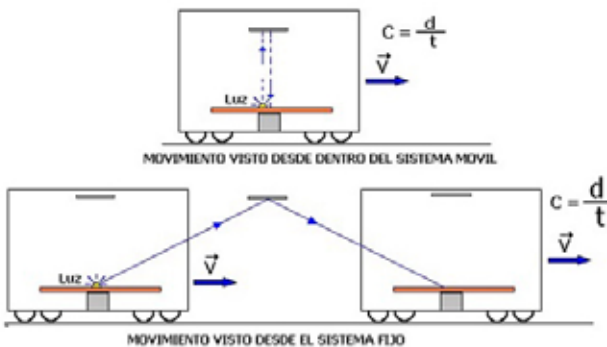


Fig. 4 pequeño, como para el que miden un desplazamiento mucho mayor fuera del mismo (Fig. 4), el tiempo trascurrido entre

mesa y que se refleje en un espejo colocado sobre la misma, como la velocidad de la luz debe ser la misma para el observador dentro del tren, que mide un desplazamiento pequeño, como para el que miden un desplazamiento mucho mayor fuera del mismo (Fig. 4), el tiempo trascurrido entre

rebotes dentro del tren debe ser más corto que el medido fuera del mismo, el haz, visto desde afuera, debe tardar más al hacer un viaje más largo; es decir, el intervalo de ida y vuelta entre la emisión y el reflejo medido desde el sistema en reposo será mayor. En consecuencia, el tiempo dentro del tren transcurre más lentamente.

La dilatación del tiempo no es un fenómeno exclusivo de este simple reloj de luz. Es el tiempo mismo en el marco de referencia en movimiento, visto desde nuestro marco de referencia, el que transcurre más lentamente. Los corazones de los ocupantes del tren, o más apropiadamente, los tripulantes de alguna nave espacial que se mueva a gran velocidad, latirán con menor frecuencia, un reloj de pulsera, un péndulo, un ciclo de fertilidad, una célula que se divide. Veremos que todo ocurre más lentamente en el interior de la nave. ¡Es el tiempo mismo el que se dilata!

¿Cómo ven los ocupantes de la nave su propio tiempo? ¿Se ven a sí mismos moviéndose en cámara lenta? ¿Experimentan intervalos de tiempo mayores como consecuencia de la dilatación temporal? Resulta que ellos no notan ninguno de estos efectos. El tiempo para ellos es igual que cuando nos parece que no se mueven. ¿Cómo ven nuestro tiempo los ocupantes de la nave? ¿Acaso ven que nuestro tiempo transcurre más aprisa? La respuesta es no: el movimiento es relativo, y desde su marco de referencia les parecerá que somos nosotros quienes nos movemos. Así, ven que nuestro tiempo transcurre más lentamente, del mismo modo en que nosotros vemos que su tiempo transcurre más lentamente. En conformidad con el *primer postulado de la relatividad especial*.

Esto no es pura hipótesis, décadas de experimentación han confirmado la realidad de la dilatación del tiempo con todo detalle. En 1938, H. E. Ives, de los laboratorios de la Bell Telephone, fue el primero en corroborar el retardo temporal relativista. Utilizó el ritmo oscilante de átomos de hidrógeno radiantes como reloj natural. Cuanto más rápido

se movían los átomos, más lenta era su vibración, en exacta concordancia con la predicción de la relatividad especial.

Otro ejemplo muy interesante de la dilatación del tiempo con el movimiento, es suministrado por los mesones “mu” (muones), que son partículas que se desintegran espontáneamente después de un tiempo de vida medio de $2,2 \times 10^{-6}$ seg. Llegan a la tierra en los rayos cósmicos, y algunos se desintegran en medio del aire, pero el resto se desintegra solamente después de haber encontrado un pedazo de material y haberse detenido. Está claro que en una vida tan corta el muón no puede viajar mucho más de 600 metros, incluso a la velocidad de la luz. Pero a pesar de que los muones se forman en la parte superior de la atmósfera, a unos 10 Kilómetros de altura se los encuentra en el laboratorio con los rayos cósmicos. ¿Cómo puede ser esto? La contestación es que los diferentes muones se mueven con varias velocidades, algunas de las cuales son muy cercanas a la velocidad de la luz. Mientras que desde su propio punto de vista viven solamente 2,2 micro segundos, desde nuestro punto de vista viven considerablemente más, lo suficiente para que puedan llegar a tierra.

También, los piones en reposo viven un promedio de alrededor de 0,026 millonésimas de segundo antes de desintegrarse. Grandes máquinas, como el ciclotrón, pueden acelerar con facilidad tales partículas hasta, digamos, 75% de la velocidad de la luz, después de lo cual deberían sobrevivir el tiempo suficiente para desplazarse unos 5,9 m. En cambio, sus recorridos promedio son de unos 8,8 m, lo que significa que viven más tiempo del que «deberían». Si calculamos el tiempo “visto” por el pión, mediante la ecuación de la dilatación del tiempo, su tiempo de vida vuelve a ser 0,026 millonésimas de segundo, los piones han vivido lo mismo. Pero para el investigador en reposo han vivido mucho más.

CONTRACCIÓN DE LA LONGITUD

Como se vio para el reloj de luz, tanto el espacio como el tiempo sufren cambios para un objeto en movimiento, y otra consecuencia de la teoría de la Relatividad Especial, es que para un observador externo, un objeto que se mueve parece contraerse en la dirección del movimiento. La magnitud de la contracción está relacionada con la magnitud de la dilatación del tiempo.

La contracción correspondiente a las velocidades de la vida diaria es tan pequeña que resulta indetectable, pero a velocidades relativistas la contracción se hace notable.

Por ejemplo, una regla de un metro de longitud que pasara junto a nosotros a bordo de una nave espacial que viajara al 87% de la velocidad de la luz, parecería de sólo 0.5 m. de longitud (Fig. 5). Si pasara al 99.5% de la velocidad de la luz, su longitud sería solo un décimo de su valor original. Conforme la velocidad relativa se aproxima a la luz, la longitud medida de los objetos se acerca a cero (Fig. 6).

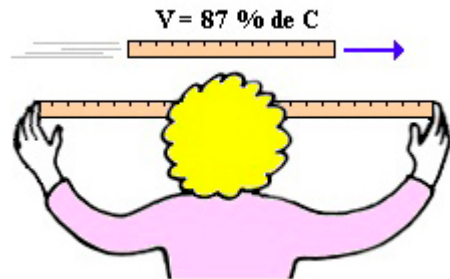


Fig. 5

¿Se contraen las reglas -y el resto del entorno- desde el punto de vista de las personas que viajan a bordo de la nave? La respuesta es no. Los ocupantes de la nave no detectan nada raro en las longitudes de los objetos que se encuentran en su marco de referencia. De lo contrario se violaría el primer postulado de la relatividad. No olvidemos que todas las leyes de la física son las mismas en todos los marcos de referencia con movimiento uniforme.

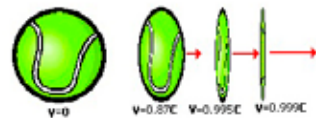


Fig. 6

Además, no hay velocidad relativa entre esos objetos ni entre los acontecimientos que observan en su propio marco de referencia. Entre ellos y nuestro marco de referencia, em-

pero, sí hay velocidad relativa, así que ellos ven que nuestras reglas -y nuestros propios cuerpos- se contraen.

La contracción de los objetos en movimiento es la contracción del espacio mismo. El espacio se contrae sólo en una dirección: la dirección del movimiento. Las longitudes en la dirección perpendicular a la del movimiento son iguales en ambos marcos de referencia. Así pues, si un objeto se desplaza en la dirección horizontal, su longitud vertical no sufre contracción alguna.

Si un objeto está en reposo, es decir, que $v = 0$ entonces, $L = L_0$, su longitud en reposo, como es de esperar. Dijimos antes que si un objeto se mueve al 87% de la rapidez de la luz, su longitud se reduce a la mitad (cuando $v = 0.87c$, $L = 0.5L_0$). Para el valor $v = 0.995c$, $L = 0.1 L_0$. Y si el objeto se moviera a c , su longitud se reduciría a cero. Ésta es una de las razones por las cuales la velocidad de la luz es el límite superior para la velocidad de todo objeto material.

RELACIÓN ENTRE MASA Y ENERGÍA

La revelación más notable de la teoría especial de la relatividad de Einstein es que la masa no es más que una forma de energía. Einstein se percató de que todo objeto con masa tiene “energía de existencia”, aun cuando esté en reposo y no posea energía potencial. La “energía de existencia” se llama energía en reposo y se denota con el símbolo E_0 . (Es importante distinguir entre la energía en reposo E_0 y la energía total E , que puede incluir energías potenciales y cinéticas). La cantidad de energía en reposo E_0 se relaciona con la masa m a través de la ecuación más importante del siglo XX:

$$E_0 = mc^2$$

En la expresión $E_0 = mc^2$ el elevado valor de c nos dice que una masa pequeña corresponde, en nuestras unidades, a una enorme cantidad de energía en reposo. De modo que

la masa de un objeto es de hecho la energía que contiene. Debido a la equivalencia entre energía y masa, la energía que un objeto adquiere debido a su movimiento se añadirá a su masa incrementándola. Este efecto es realmente significativo para objetos que se muevan a velocidades cercanas a la de la luz. Por ejemplo, a una velocidad de un 10% de la de la luz la masa de un objeto es sólo un 0,5% mayor de la masa en reposo, mientras que a un 90% de la velocidad de la luz la masa sería de más del doble de la normal. Cuando la velocidad del objeto se acerca a la velocidad de la luz, su masa tiende a infinito. Esto también evita que se pueda alcanzar la velocidad de la luz, ya que se necesitaría suministrar una cantidad infinita de energía al objeto.

La energía en reposo, como cualquier otra forma de energía, puede transformarse en otras formas. Un ejemplo común es la conversión de energía en reposo en energía cinética que se lleva a cabo cuando encendemos un fósforo. Las moléculas de fósforo que contiene la cabe-



La energía liberada es una milésima parte de la masa inicial del combustible nuclear

Fig. 7

za de la cerilla se combinan con moléculas de oxígeno del aire para formar nuevas moléculas cuya energía cinética es apreciablemente mayor que la que tenían las moléculas de fósforo y oxígeno antes de la reacción, de aquí que la cerilla encendida esté caliente. La masa de las moléculas así producidas es muy ligeramente inferior a la de las moléculas de fósforo y de oxígeno originales. La diferencia es de alrededor de una parte en 109. Todas las reacciones químicas que ceden energía están acompañadas de una disminución correspondiente de la masa.

En las reacciones nucleares, la conversión de energía en reposo en energía cinética es superior que en las reacciones químicas; la disminución de la masa es de alrededor de una parte en 103. Esta disminución de la masa, que se lleva a

cabo en el Sol y en otras estrellas por el proceso de fusión termonuclear, baña de energía radiante al sistema solar y mantiene la vida.

La etapa actual de fusión termonuclear del Sol data de hace 5000 millones de años, y su reserva de hidrógeno, que es el combustible de la fusión, durará 5000 millones de años más.

Si se trata de un proceso de fisión nuclear, la masa de los productos de la fisión, también se reduce en alrededor de una parte en mil. O sea, la masa de los productos de la fisión es de alrededor de 0.999 veces la masa de los átomos de uranio originales antes de llevarse a cabo la reacción. En cualquiera de los dos casos una parte de la energía en reposo del combustible, y por tanto de su masa, se convierte en energía cinética de los productos de la reacción.

La masa convertida, ya sea por reacciones químicas o nucleares, corresponde a diminutas cantidades de energía en reposo transformadas en otras formas de energía. Los minúsculos cambios en la energía en reposo o la masa no habían sido detectables sino hasta fechas recientes. Desde los tiempos de Einstein sabemos que la energía en reposo que contiene un gramo de materia es mayor que todas las otras formas de energía que se usan diariamente en las ciudades más grandes del mundo. La ecuación $E_0 = mc^2$ no sólo es válida para las reacciones químicas y nucleares. Todo cambio en la energía en reposo corresponde a un cambio en la masa. La masa del filamento de una bombilla a la que se suministra energía eléctrica es mayor que cuando la bombilla está apagada. Una taza de té tiene más masa cuando el líquido está caliente que cuando está frío. La masa del resorte de un reloj al que se ha dado cuerda es mayor que cuando el reloj no tiene cuerda. Pero los cambios de la masa que intervienen en estos ejemplos son muy pequeños; demasiado pequeños para poder ser medidos por los métodos convencionales. ¡No es de extrañar que la relación fundamental entre la masa y la energía no se haya descubierto hasta este siglo! La expresión $E_0 = mc^2$ es más que una fórmula para

convertir la masa en energía en reposo, o viceversa. Lo que dice es que la masa no es más que energía concentrada. Si deseamos saber cuánta energía en reposo contiene un sistema, basta con medir su masa. La energía de un objeto en reposo es su masa.

RELATIVIDAD GENERAL

La teoría de la relatividad especial tuvo un gran éxito al explicar por qué la velocidad de la luz era la misma para todos los observadores y al describir adecuadamente lo que sucede cuando los objetos se mueven con velocidades cercanas a la de la luz. Sin embargo, la teoría era inconsistente con la teoría de la gravitación de Newton, que decía que los objetos se atraían mutuamente con una fuerza dependiente de la distancia entre ellos. Esto significaba que si uno movía uno de los objetos, la fuerza sobre el otro cambiaría instantáneamente. En otras palabras, los efectos gravitatorios deberían viajar con velocidad infinita, en vez de con una velocidad igual o menor que la de la luz, como la teoría de la relatividad especial requería. Einstein en 1915, propuso lo que hoy en día se conoce como teoría de la *relatividad general*.

Einstein hizo la sugerencia revolucionaria de que la gravedad no es una fuerza como las otras, sino que es una consecuencia de que el espacio-tiempo no sea plano, como previamente se había supuesto: el espacio-tiempo está curvado, o «deformado», por la distribución de masa y energía en él presente.

Se define masa como una medida de la inercia de un cuerpo. La segunda ley de Newton relaciona la fuerza que actúa sobre un cuerpo con su aceleración y con su masa inercial, que es como la llamamos. Podríamos decir que la *masa inercial* representa una resistencia a cualquier fuerza. Pero también la masa es una propiedad relacionada con la fuerza gravitacional, es decir, la masa como una cantidad

que determina la intensidad de la fuerza gravitacional entre dos cuerpos. A ésta la llamamos *masa gravitacional*.

No es obvio en absoluto que la *masa inercial* de un cuerpo sea igual a su *masa gravitacional*. (La fuerza de gravedad podría haber dependido de una propiedad completamente diferente de un cuerpo, así como la fuerza eléctrica depende de una propiedad llamada carga eléctrica.) Los experimentos indican que esos dos tipos de masa son iguales para todo cuerpo, y experimentos modernos lo confirman con una precisión de aproximadamente 1 parte en 1012.

La evidencia experimental de que las masas gravitacional e inercial son iguales (o por lo menos proporcionales) es sorprendente. Esta equivalencia entre estas masas fue elevada a un principio de la naturaleza por Einstein, que lo llamó simplemente ***principio de equivalencia***, y lo usó como base para su teoría de la relatividad general (1916).

El *principio de equivalencia*, como lo formuló Einstein, puede ser enunciado de otra manera: no hay ningún experimento que los observadores puedan efectuar para distinguir si una aceleración surge de una fuerza gravitacional o, porque su marco de referencia esté siendo acelerado. Por

ejemplo, si un astronauta estuviese en el espacio y algún objeto cayese al piso de su nave, podría suponer que una fuerza gravitacional estuviese actuando sobre el objeto, específicamente sobre la *masa gravitacional* del objeto (Fig.8(a)).

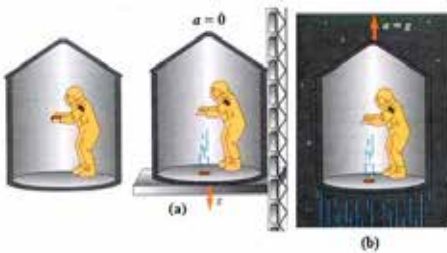


Fig. 8

Por otra parte, también podría ser posible que el cuerpo cayese debido a que su nave espacial estuviese acelerando hacia arriba, y la *masa inercial* del objeto haría que éste tienda a quedarse en reposo (Fig.8 (b)). Los efectos serían indistinguibles de acuerdo con el *principio de equivalencia*, porque las *masas inercial* y *gravitacional* del objeto, que de-

terminan cómo “reacciona” un cuerpo a influencias externas, no son distinguibles una de otra.

El principio de equivalencia, también muestra que la luz debe flexionarse debido a la fuerza gravitacional de un cuerpo masivo. Consideremos un experimento ideal en un elevador en el espacio libre donde no actúe la gravedad. Si se tiene un agujero a un lado en el elevador y un rayo de luz entra por él, el rayo viaja directamente al otro lado del elevador dejando un punto luminoso en el lado opuesto si el elevador está en reposo (Fig. 9(a)).

Si el elevador está acelerando hacia arriba como en la figura 9(b), el rayo de luz aún viajará en línea recta al ser observado en el marco de referencia en reposo. Sin embargo, en el elevador acelerando hacia arriba, el rayo es observado como curvándose hacia abajo.

¿Por qué? La razón es que durante el tiempo que la luz viaja de un lado al otro del elevador, éste se mueve hacia arriba con rapidez creciente.

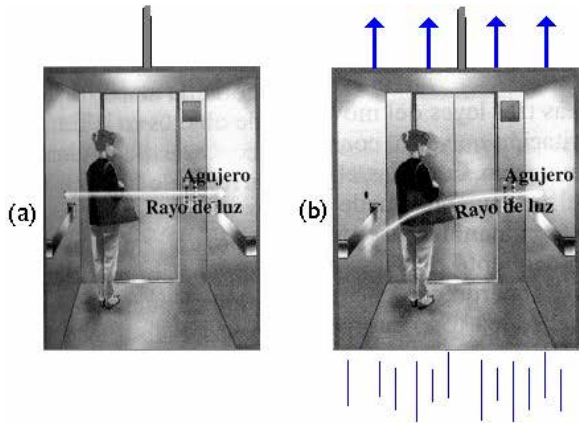


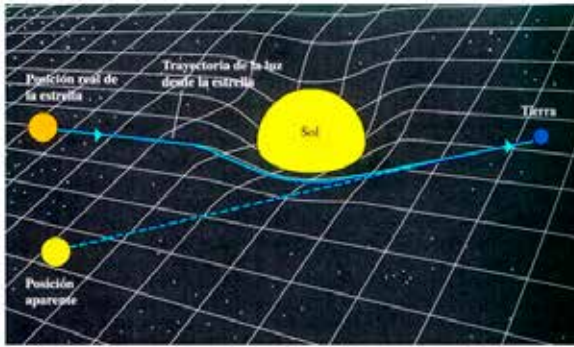
Fig. 9

Ahora, de acuerdo con el principio de equivalencia, un marco de referencia acelerado hacia arriba, es equivalente a un campo gravitacional dirigido hacia abajo. Por consiguiente, podemos considerar que la trayectoria curva de la luz en la figura también puede ser debida al efecto del campo gravitacional. Podemos entonces esperar que la gravedad ejerza una “fuerza” sobre un rayo de luz y lo desvíe sacándolo de una trayectoria en línea recta.

Un rayo de luz en el vacío, viaja a lo largo de la trayectoria más corta o más directa entre dos puntos. Si no lo hiciese así, algún otro objeto podría viajar entre los dos puntos en un tiempo más corto resultando así que se mueve con mayor rapidez que la luz, esto estaría en contradicción con

la teoría de la relatividad especial. Si un rayo de luz puede seguir una trayectoria curva (como vimos arriba), entonces esta trayectoria curva debe ser la distancia más corta entre los dos puntos.

Esto sugiere que el espacio mismo está curvado y que es el campo gravitacional lo que causa la curvatura, la cual es mayor cerca de cuerpos muy masivos.



Para visualizar esta curvatura del espacio, podemos pensar que el espacio es una lámina delgada de hule; si una masa pesada se coloca en ella, la curvará como se muestra en la figura 10. En este modelo, el peso corresponde a una

Fig. 10 masa enorme que ocasiona que el espacio mismo se curve.

Einstein, en su teoría general de la relatividad, predijo justamente que la luz es afectada por los campos gravitacionales. Calculó que la luz de una estrella distante sería reflexionada $1.75''$ de arco (muy pequeño pero detectable) al pasar cerca del Sol. Las predicciones de Einstein sobre las desviaciones de la luz no pudieron ser comprobadas inmediatamente en 1915 a causa de la primera guerra mundial, y no fue posible hacerlo hasta 1919, en que una expedición británica, observando un eclipse de Sol desde África oriental demostró que la luz era verdaderamente desviada por el Sol, justo como la teoría predecía.

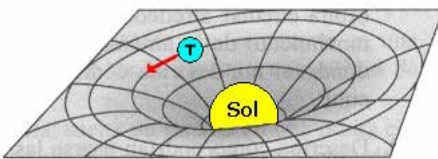


Fig. 11 recida a una línea recta en un espacio curvo, es decir, lo que se conoce como una geodésica (Fig. 11).

Entonces, los cuerpos, como la Tierra, no están forzados a moverse en órbitas curvas por una fuerza llamada gravedad; en vez de esto, ellos siguen la trayectoria más pa-

Por ejemplo, la superficie de la Tierra es un espacio curvo bidimensional. Las geodésicas en la Tierra se llaman círculos máximos, y son el camino más corto entre dos puntos.

En relatividad general, los cuerpos siguen siempre líneas rectas en el espacio-tiempo cuatridimensional; sin embargo, nos parece que se mueven a lo largo de trayectorias curvadas en nuestro espacio tridimensional. La masa del Sol curva el espacio-tiempo de tal modo que, a pesar de que la Tierra sigue un camino recto en el espacio-tiempo cuatridimensional, nos parece que se mueve en una órbita circular en el espacio tridimensional.

De hecho, las órbitas de los planetas predichas por la relatividad general son casi exactamente las mismas que las predichas por la teoría de la gravedad newtoniana. Sin embargo, en el caso de Mercurio, que al ser el planeta más cercano al Sol sufre los efectos gravitatorios más fuertes y que, además, tiene una órbita bastante alargada, la relatividad general predice que el eje mayor de su elipse debería rotar alrededor del Sol a un ritmo de un grado por cada diez mil años. A pesar de lo pequeño de este efecto, ya había sido observado antes de 1915 y sirvió como una de las primeras confirmaciones de la teoría de Einstein. En los últimos años, incluso las desviaciones menores de las órbitas de los otros planetas respecto de las predicciones newtonianas han sido medidas por medio del radar, encontrándose que concuerdan con las predicciones de la relatividad general.

Otra predicción de la relatividad general es que el tiempo debería transcurrir más lentamente cerca de un cuerpo de gran masa como la Tierra. Esta predicción fue comprobada en 1962, usándose un par de relojes muy precisos instalados en la parte superior e inferior de un depósito de agua. Se encontró que el reloj de la parte inferior del depósito que estaba más cerca de la Tierra, se atrasaba con relación al reloj de la parte superior, exactamente en la proporción predicha por la relatividad general.

La diferencia entre relojes a diferentes alturas de la Tierra es, hoy en día, de considerable importancia práctica debido al uso de sistemas de navegación muy precisos, basados en señales provenientes de satélites. Si se ignoraran las predicciones de la relatividad general la posición que uno calcularía tendría un error de ¡varios kilómetros!

Las ecuaciones originales de la relatividad general de Einstein predecían que el universo se expandía o se contraía. Por ese motivo, Einstein añadió un término ulterior a las ecuaciones que relacionan la masa y la energía del universo con la curvatura del espacio-tiempo, llamado “término cosmológico” que ejerce un efecto gravitatorio repelente. Así, era posible equilibrar la atracción de la materia con la repulsión del término cosmológico. En otras palabras. De este modo cabía obtener un modelo del universo que persistiera indefinidamente en el mismo estado. De haberse aferrado a sus ecuaciones originales, sin el término cosmológico, Einstein habría llegado a predecir que el universo se expande o se contrae. Pero, a nadie se le ocurrió que el universo cambiaba con el tiempo, hasta que en 1929 Edwin Hubble descubrió que se alejaban de nosotros galaxias remotas. El universo se hallaba en expansión. Einstein calificó más tarde a su término cosmológico como “el mayor error de mi vida”.

Pero, con o sin el término cosmológico, subsistía el problema de que la materia determinaba la curvatura sobre sí mismo del espacio-tiempo, aunque generalmente no se reconociese como tal, lo que significaba que la materia podía combar sobre sí misma una región hasta el punto de que llegara en realidad a aislarse del resto del universo. La región se convertiría en lo que se denomina un *agujero negro*. Podrían caer objetos en los agujeros negros y nada escaparía de allí. Para salir tendrían que desplazarse a una velocidad superior a la de la luz, lo cual no es posible por la teoría de la relatividad. De este modo, dentro del agujero negro quedaría atrapada la materia, que se contraería hasta un estado desconocido de elevadísima densidad.

Einstein se sintió profundamente inquieto por las referencias de este colapso y se negó a creer lo que sucedía. En 1939 Robert Oppenheimer demostró que una estrella vieja, con una masa de más del doble de la del sol, se contraería inevitablemente tras haber agotado todo su combustible nuclear. Entonces sobrevino la guerra y Oppenheimer se consagró al proyecto de la bomba atómica dejando de ocuparse del colapso gravitatorio. Otros científicos se interesaban más por una física que pudieran estudiar en la Tierra. Desconfiaban de predicciones sobre remotas regiones del universo, porque no creían que pudieran comprobarlas mediante observaciones. El gran progreso en alcance y calidad de las observaciones astronómicas durante la década de los sesenta suscitó un nuevo interés por el colapso gravitatorio y el universo primitivo.

Si la luz no puede escapar de un agujero negro, y si los agujeros negros son tan pequeños como sugiere el ejemplo. ¿Cómo podemos saber que tales cosas existen? Si hay gas o polvo cerca de un agujero negro, tenderá a formar un disco de acrecentamiento que girará en torno del agujero y caerá en él, como en un remolino (Fig.12).

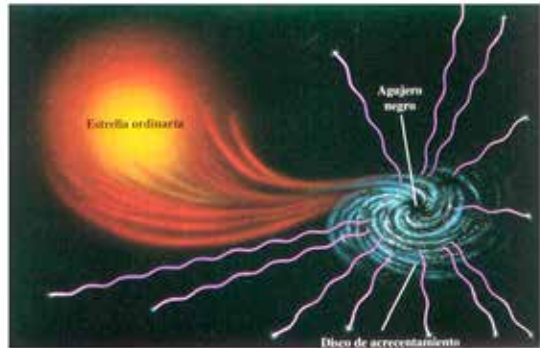


Fig. 12

La fricción dentro del material del disco hace que pierda energía mecánica y caiga en espiral hacia el agujero negro, comprimiéndose al hacerlo. Esto causa un calentamiento del material, como sucede con el aire comprimido en una bomba para bicicleta. Se pueden alcanzar temperaturas muy altas en el disco de acrecentamiento, de modo que no sólo se emite luz visible (como hacen los cuerpos al “rojo vivo” o al “rojo blanco”), sino también rayos X. Los astrónomos buscan estos rayos X para detectar la presencia de

un agujero negro. Se han hallado varios agujeros negros con importantes diferencias en la dimensión de sus masas.

La masa de los agujeros negros en sistema de estrella binaria como el de la figura 12. es unas cuentas veces mayor que la del Sol.

Entre las clases de agujeros negros según la dimensión de sus masas, se tienen los de **masa estelar**, de tres a docenas de veces la masa del Sol, estos se distribuyen dentro de las galaxias. Los monstruos **supermasivos** que pesan entre 100.000 a miles de millones de masas solares, que se encuentran en los centros de la mayoría de las galaxias grandes, incluida la nuestra. En el centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea, a unos 26,000 años luz de la Tierra en la dirección de la constelación Sagitario hay estrellas que giran a más de 1500 km/s en torno a un agujero negro **supermasivo** llamado Sagitario A (Fig. 13), se infiere que tiene una masa de ¡4

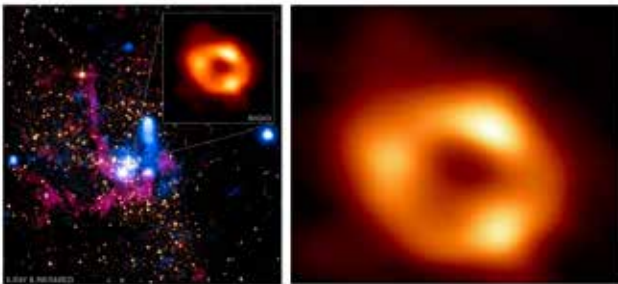


Fig. 13
Sagitario A,
agujero negro
supermasivo
en el centro
de la Vía
Lactea.

millones de veces la masa del Sol! Sin embargo, observaciones efectuadas con radiotelescopios revelan que su radio no es mayor que 10^{11} m, una distancia comparable a la que hay entre la Tierra y el Sol. Un radio muy pequeño para esa enorme cantidad de masa.

Se tiene poco conocimiento sobre el origen de los agujeros negros supermasivos, pero se sabe que existen desde los primeros días de vida de una galaxia.

También, la teoría predijo la existencia de una tercera clase denominada agujeros negros de **masa intermedia**, con un peso de entre 100 a algo más de 10.000 masas solares. Esta predicción fue confirmada el 21 de mayo de 2019, cuando el Observatorio de Ondas Gravitacionales por Interferómetro Láser (LIGO por sus siglas en inglés) de la

Fundación Nacional de la Ciencia de EE.UU., detectó las ondas gravitacionales (perturbaciones en el espacio-tiempo, como las que se propagan en la superficie del agua en un estanque cuando es perturbada de alguna manera) emitidas por una fusión entre dos agujeros negros de masa estelar. Este evento creó un agujero negro que pesaba 142 soles.

La primera imagen de un agujero negro (Fig. 14) fue tomada en 2019 utilizando el Telescopio de Horizonte de Eventos (EHT por sus siglas en inglés), en una colaboración internacional que conectó a ocho radiotelescopios terrestres bajo una sola antena del tamaño de la Tierra. En la imagen aparece como un círculo oscuro delimitado por un disco en órbita de materia caliente y brillante.

El agujero negro supermasivo se encuentra en el corazón de una galaxia llamada M87, ubicada a unos 55 millones de años luz de distancia. La imagen muestra un brillante anillo formado a medida que la luz se dobla por la intensa gravedad que ejerce el agujero negro de 6.500 millones de veces la masa del Sol. Su horizonte de eventos se extiende tanto que podría abarcar, comparativamente, buena parte de nuestro sistema solar más allá de los planetas.

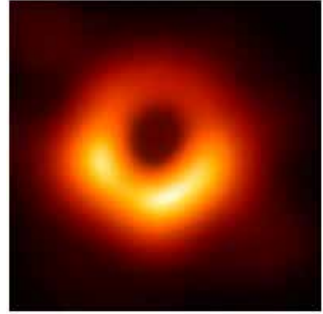


Fig. 14
Agujero negro
Messier_87

Cabe resaltar otra muy importante confirmación experimental de la teoría de la Relatividad General; en 2015 se detectaron por primera vez las **ondas gravitacionales**, las mismas ondas del tejido del espacio-tiempo que un siglo antes había predicho Albert Einstein. LIGO detectó las ondas de un evento ocurrido hace 1.300 millones de años, en el que dos agujeros negros giraban entre sí, en espiral, mientras se fusionaban. Desde entonces y a través de la detección y estudio de las ondas gravitacionales, se han observado numerosas fusiones de agujeros negros.

CLIMA Y CORRIENTES

LAS PASAS DEL PAN DE JAMÓN, LA CORRIENTE DEL GOLFO, Y EL CLIMA

Casi todos hemos observado que algunos alimentos permanecen calientes mucho más tiempo que otros. Por ejemplo; las cebollas hervidas y el tomate de un plato caliente están a menudo demasiado calientes cuando el puré de papas está a la temperatura adecuada para comerlo. El relleno de una torta de manzana puede quemar la lengua, pero, la corteza no, aun cuando la torta esté recién horneada. Las pasas del pan de jamón caliente, son realmente temibles. Y, se puede quitar con los dedos la cubierta de aluminio de un plato recién salido del horno, pero, quemarse con la comida que contiene.

Esto muestra que distintas sustancias tienen diferentes capacidades para almacenar energía internamente cuando se las calienta. Si calentamos una olla de sopa de tamaño normal, quizá observemos que se requieren 15 minutos para elevar su temperatura desde la temperatura ambiente hasta su punto de ebullición. Pero, si pusiéramos en el mismo fuego una masa equivalente de hierro, veríamos que su temperatura recorre el mismo intervalo en sólo unos 2 minutos. Si se tratase de plata, el tiempo necesario sería de menos de un minuto. En conclusión, para materiales distin-

tos así tengan igual masa, se requiere que sean transferidas distintas cantidades de energía para elevar su temperatura el mismo número de grados.

La causa de este comportamiento se debe a que distintas sustancias absorben energía en formas distintas cuando se calientan. Una parte de la energía que se les transfiere hace aumentar la rapidez de traslación de las moléculas. Este tipo de movimiento es responsable del aumento de la *temperatura*. Otra fracción de la energía absorbida puede acelerar la rotación de las moléculas o sus vibraciones internas. Otra parte puede estirar los lazos intermoleculares y almacenarse en forma de energía potencial, como se almacena energía en una liga estirada. Pero, estos tipos de energía no son medidas de la temperatura. La temperatura es únicamente, una medida de la energía cinética asociada al movimiento de traslación, es decir; a la velocidad con la cual las moléculas se desplazan. En resumen, sólo una porción de la energía que absorbe una sustancia puede elevar su temperatura.

Mientras que un gramo de agua requiere 1 caloría (una unidad para medir la energía) de energía para que su temperatura se eleve un grado centígrado, basta sólo alrededor de una octava parte de esta energía para elevar la temperatura de un gramo de hierro en la misma cantidad. El movimiento de los átomos de hierro, que vibran en una red cristalina, es principalmente de traslación, en tanto que las moléculas de agua absorben una gran cantidad de energía que se va en rotaciones, vibraciones internas y en estirar los lazos intermoleculares. Así pues, dado un mismo cambio de temperatura, el agua absorbe una mayor cantidad de calor¹ que el hierro. Igualmente, para enfriar un cierto número de grados una masa de agua, se necesita extraerle más energía que la que se tiene que quitar a una misma masa de hierro para bajar su temperatura la misma cantidad de grados. De-

¹ Calor, en física, transferencia de energía de una parte a otra de un cuerpo, o entre diferentes cuerpos, en virtud de una diferencia de temperatura. El calor es energía en tránsito; siempre fluye de una zona de mayor temperatura a otra zona de menor temperatura,

cidos, pues, que la *capacidad calorífica específica* (llamada a menudo simplemente *calor específico*) del agua es mayor.

La *capacidad calorífica específica* de una sustancia se define como la cantidad de calor necesaria para elevar 1 grado la temperatura de una masa unitaria de dicha sustancia.

Podemos considerar la capacidad calorífica específica como inercia térmica. Recordemos que el término inercia se usa en mecánica para denotar la resistencia que opone un objeto a los cambios en su estado de movimiento. Por ejemplo: cuesta más poner en movimiento un camión que una bicicleta, y, cuando están en movimiento, es más difícil detener el camión que la bicicleta, así se muevan a igual velocidad.

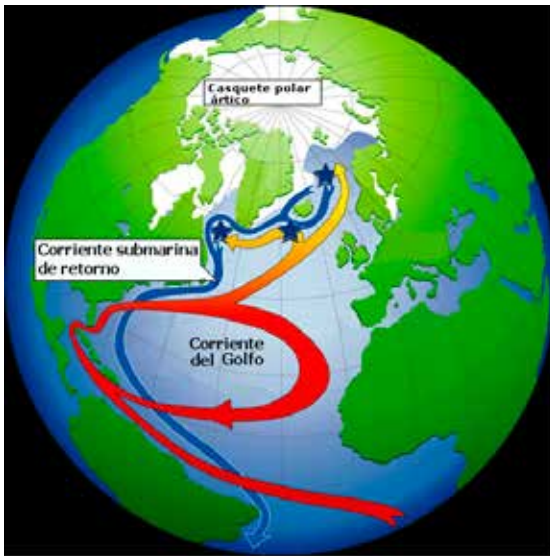
La capacidad calorífica específica es como una inercia térmica porque denota la resistencia que opone una sustancia a los cambios de temperatura.

LA ELEVADA CAPACIDAD CALORÍFICA ESPECÍFICA DEL AGUA Y EL CLIMA

Como hemos visto, el agua tiene una capacidad de almacenar energía mucho mayor que cualquier sustancia, excepto ciertos materiales poco comunes. Una cantidad de agua relativamente pequeña puede absorber una gran cantidad de calor y, esta energía absorbida, apenas producirle un cambio de temperatura muy pequeño. Gracias a esto el agua es un agente refrigerante muy útil que se usa en los sistemas de refrigeración de los automóviles y otras máquinas. Estando el motor caliente a mayor temperatura que el agua, la energía se transfiere del motor al agua, la cual circula a través de la máquina. La cantidad de energía transferida enfría mayor número de grados al motor, que los que se calienta el agua. El agua se vuelve a enfriar en el radiador y el ciclo se repite. Si en los sistemas de refrigeración se empleara un líquido cuya capacidad calorífica específica fuese menor, el aumento de temperatura en este refrigerante, sería mayor

que el del agua para una misma cantidad de calor absorbido y, desde luego, cuando la temperatura del líquido se hiciera igual a la de la máquina, cesaría el enfriamiento.

El agua también, una vez caliente, tarda más tiempo en enfriarse, hecho que antiguamente resultaba útil a muchas personas, quienes en frías noches de invierno metían botellas de agua caliente entre las sábanas para calentarse los pies. Ahora comprendemos porque tardan tanto en enfriarse las pasas, el tomate, y demás alimentos ricos en agua.



★ Zona de hundimiento

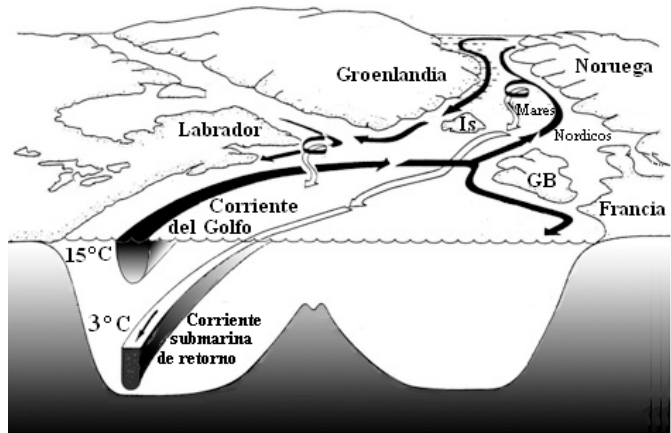
La propiedad del agua de resistirse a cambios de temperatura mejora el clima en muchos lugares. Si vemos un globo terráqueo, observamos la elevada latitud de Europa. Si la capacidad calorífica del agua no fuese tan elevada, los países de Europa serían tan fríos como las regiones del noreste de Canadá, ya que Europa

y Canadá reciben aproximadamente la misma cantidad de energía solar por kilómetro cuadrado, sin embargo, Europa en general, y en particular, regiones como Gran Bretaña y la Península Ibérica, disfrutan de temperaturas más llevaderas que las que les corresponderían por su latitud. Esto se debe a la corriente atlántica conocida como *Corriente del Golfo*, la cual transporta inmensas cantidades de agua caliente hacia el noreste desde el Caribe. Esta corriente conserva gran parte de su energía interna durante un tiempo suficiente para llegar al Atlántico Norte, frente a las costas de Europa, donde se enfría. Los vientos del oeste difunden la energía liberada (una caloría por grado por cada gramo de agua que se enfría) sobre el continente europeo.

La Corriente del Golfo, al llegar al extremo septentrional del Atlántico, a los Mares Nórdicos, se enfría. Al enfriarse, el agua se contrae, aumenta su densidad y se hunde. Desde allí, por niveles profundos e intermedios, vuelve hacia el hemisferio sur como corriente submarina. Se forma así en el Atlántico una especie de cinta rodante transportadora, con un flujo neto positivo hacia el norte en superficie y con un flujo neto positivo hacia el sur en las profundidades. Esta circulación (llamada también MOC, meridional overturning circulation, circulación meridiana volteante) funciona de forma continua. Su rodillo o zonas de hundimiento, se encuentra en los Mares Nórdicos y en el Mar de Labrador. Los Mares Nórdicos (diferentes al Mar del Norte) se encuentran en la zona subpolar del Atlántico, al norte del paralelo que pasa por Groenlandia-Islandia-Noruega. Por otra parte, el Mar de Labrador, que es también una zona de hundimiento, se ubica al sur de Groenlandia y al este de la Península de Labrador.

Entre las perturbaciones que está acarreado el calentamiento global nos encontramos con profundas modificaciones en la Corriente del Golfo, lo que llevaría a

buena parte de Europa a un nuevo período de glaciación. Aunque resulte paradójico que Europa se pueda aproximar según este estudio, a una nueva edad del hielo por el calentamiento del globo, tiene su sentido. Desde cincuenta años atrás, se empezó a detectar un cierto debilitamiento en la Corriente del Golfo, y los hechos parecen demostrar que la corriente se ha debilitado un 30% desde entonces. La causa es el cambio en la salinidad y densidad del agua, propiciada por el mayor volumen de agua dulce que se vierte en los



mares por aumento de los deshielos producido por el calentamiento global. Tal vez sea muy tarde para frenar tanta destrucción, si es así, el futuro que nos espera es muy preocupante.

Otra manifestación de este fenómeno la encontramos en los climas de la costa oriental y de la costa occidental de América del Norte los cuales son distintos por la misma razón, la capacidad calorífica del agua. El viento sopla hacia el este en las latitudes de América del Norte. En la costa occidental el aire se desplaza del Océano Pacífico hacia la tierra. Debido a la elevada capacidad calorífica del agua, la temperatura del océano no varía mucho del verano al invierno. Está más caliente que el aire en invierno y más frío que el aire en verano. En invierno el agua calienta el aire que se mueve sobre su superficie, calentando así las regiones costeras occidentales de América del Norte. En verano el agua enfría el aire, enfriando así también las regiones costeras occidentales. En la costa oriental el aire se desplaza de la tierra al Océano Atlántico. La tierra, cuya capacidad calorífica es menor, se calienta en verano, pero se enfría rápidamente en invierno, por lo tanto, los vientos no son factor moderador del clima, por el contrario, lo extreman.

Como consecuencia de la elevada capacidad calorífica del agua, y de la dirección del viento, la ciudad de San Francisco, situada en la costa occidental, es más cálida en invierno y más fresca en verano que la ciudad de Washington, D. C., ubicada en la costa oriental a una latitud similar.

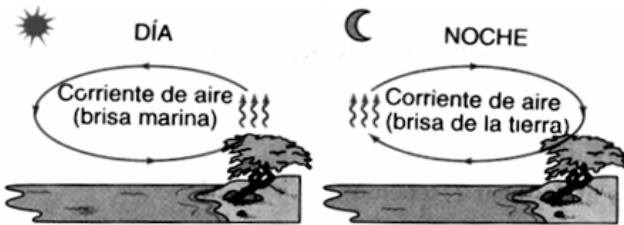
En el interior de los grandes continentes se experimenta en general temperaturas extremas. Por ejemplo, en América del Norte, las altas temperaturas estivales y bajas temperaturas invernales de Manitoba y los estados de Dakota del Norte y Dakota del Sur se deben en gran medida a la ausencia de grandes cuerpos de agua. Por el contrario, los europeos, los isleños, y en general todos los conglomerados humanos que viven cerca de corrientes de aire oceánicas, disfrutan de climas más llevaderos. Deben estar agradecidos de que el agua posea una capacidad calorífica específica tan elevada.



También, la elevada capacidad calorífica del agua es factor determinante en el comportamiento de la brisa marina, este fenómeno atmosférico es producido por corrientes de aire llamadas corrientes de convección.

Veamos brevemente, como se forman las corrientes de convección. Cuando aumenta la temperatura de una sustancia, sus moléculas se agitan más rápidamente y tienden a separarse. En consecuencia, la sustancia sufre una *expansión* o *dilatación*. Salvo pocas excepciones, la materia en todos sus estados; sólido, líquido o gaseoso, se expande cuando se calienta y se contrae cuando se enfría. La variación del volumen, produce a su vez, un cambio en la densidad (masa por unidad de volumen), cuando la sustancia se dilata aumenta su volumen, y por ende, disminuye su densidad. Por el contrario, cuando se contrae su densidad aumenta. Esta variación de la densidad debida a la temperatura, es la causante de las corrientes de convección. La convección puede llevarse a cabo en cualquier fluido, trátase de un líquido o de un gas. El mecanismo es el mismo, ya sea que se caliente el agua de algún recipiente o el aire de una habitación. Si el fluido se calienta, se expande, se hace menos denso y se eleva. El agua caliente y el aire caliente, se elevan por la misma razón por la cual un bloque de madera flota en el agua y, un globo aerostático se eleva en el aire, esto es;

porque son menos densos que el fluido dentro del cual se encuentran. La convección, entonces, es otra manifestación del principio de Arquímedes, ya que todos los cuerpos que ascienden dentro de un fluido, lo hacen debido a la fuerza de flotación que ejerce sobre ellos el fluido más denso que los rodea. Por ejemplo: el aire que está en contacto con una cocina caliente, asciende y calienta el techo de la habitación. En la convección, el calor es llevado por corrientes dentro del mismo fluido.



Las corrientes de convección que se producen en la atmósfera, originan vientos. El aire sobre la superficie terrestre

no tiene temperatura uniforme, hay lugares más calientes que otros, formándose así corrientes de convección. Como el caso de los vientos de la playa. Durante el día, la arena y la tierra se calientan más fácilmente que el agua. El aire que se encuentra sobre la tierra se calienta y se eleva, y corrientes de aire frío provenientes del mar toman su lugar, produciendo la brisa marina que sopla del mar a la tierra. Durante la noche se invierte el proceso, debido a que la tierra se enfría más rápidamente que el agua; el aire más caliente se encuentra sobre el mar. En la noche el viento sopla de la tierra hacia el mar.

ESCALAS, ENANOS HAMBRIENTOS Y GORDOS ACALORADOS

Hay muchas películas y obras literarias donde figuran animales o personas, con tamaños, o muy grandes, o muy pequeños, con relación a sus dimensiones naturales. ¿Biológicamente es esto posible? ¿Se puede tener una hormiga tan grande como un hombre? ¿Podría existir un hombre del tamaño de un ratón? Para responder estas preguntas, primero tenemos que analizar la relación que hay entre las propiedades de una estructura y su tamaño.

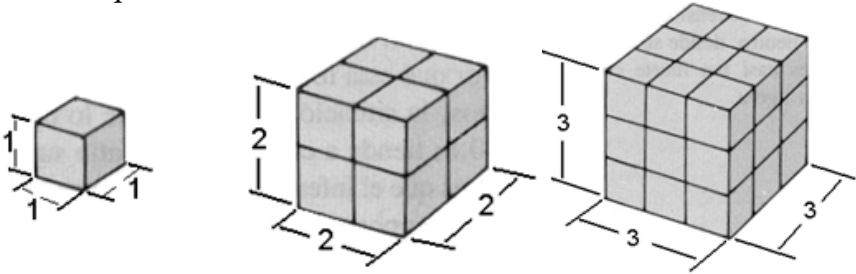
Comenzaremos por analizar como varían con el tamaño de un objeto, sus magnitudes geométricas básicas: de *longitud*, *área* y *volumen*. Para esto, nos ayudaremos con la figura anexa, que muestra tres cubos: uno de 1cm de lado (arista), para este cubo, el área de cada una de sus caras, es 1cm x 1cm = **1cm²** y por ende, el área de su *sección transversal* es también de un centímetro cuadrado. Esto es: que si se cortara el cubo paralelamente a una de sus caras, el área del corte, tendría **1cm²**. El siguiente cubo con 2 cm de arista, tiene un área de sección transversal de 2cm x 2cm = **4cm²**, esto equivale a **cuatro veces** el área de sección transversal del primer cubo. Y por último; para el de 3cm de lado es de 3cm x 3cm = **3²cm² = 9cm²**, o sea **9 veces mayor**.

Esto muestra, que el área depende del cuadrado de la dimensión lineal. Si llamamos L a la dimensión lineal, el área transversal, es proporcional a L^2 .

Ahora, estudiemos como varía el volumen: el primer cubo, tiene un volumen de $1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 1\text{cm} = 1\text{cm}^3$, el volumen del segundo cubo es: $2\text{cm} \times 2\text{cm} \times 2\text{cm} = 8\text{cm}^3$. **Ocho veces mayor** que el del primer cubo. Para el tercer cubo, de 3cm de lado, tenemos un volumen de: $3\text{cm} \times 3\text{cm} \times 3\text{cm} = 27\text{cm}^3$, o sea, **3³ veces mayor**.

Como se puede notar; *el volumen, es proporcional a la tercera potencia de la dimensión lineal, esto es: a L^3 .*

Por claridad, hemos usado el ejemplo del cubo, pero las relaciones deducidas, tienen validez para cuerpos de cualquier forma.



a)

Cubo de $L = 1\text{cm}$
Sección transversal = 1cm^2
Volumen = 1cm^3

b)

Cubo de $L = 2\text{cm}$
Sección transversal = 4cm^2
Volumen = 8cm^3

c)

Cubo de $L = 3\text{cm}$
Sección transversal = 9cm^2
Volumen = 27cm^3

Regresemos al caso de la hormiga. Es común escuchar que estos insectos son mucho más fuertes que los hombres, debido a que pueden levantar **3 veces su propio peso**, mientras que un hombre, solo puede levantar alrededor de la mitad de su propio peso, y eso, si no es muy gordo. Sin embargo, es erróneo pensar de esta manera, ya que la fuerza relativa aparentemente mayor de la hormiga, es precisamente una consecuencia de su pequeño tamaño. La fuerza de la hormiga, y la de cualquier otro animal, depende de la sección transversal de sus músculos, es decir: su grosor

(Esto lo vemos en los pesistas, la longitud de sus brazos es normal, pero, son extraordinariamente gruesos).

Aclaremos más esta relación usando la resistencia de una cuerda. Es fácil ver que si un hombre jala con cierta fuerza, de una cuerda no muy gruesa, casi puede romperla; dos de tales cuerdas resistirían exactamente la fuerza de dos hombres. Una sola cuerda más gruesa, con la misma área total de sección transversal que las dos cuerdas pequeñas combinadas, tendrá exactamente el doble número de fibras de una de las cuerdas pequeñas; y también el doble de su resistencia. En otras palabras, la fuerza de rompimiento de un cable o cuerda es proporcional al área de su *sección transversal*, o proporcional al cuadrado de su diámetro. La teoría y el experimento concuerdan con esta conclusión. Más aún, la misma relación se mantiene no sólo para cuerdas o cables que estén sujetos a una tensión, sino también, para columnas o puntales que estén sujetos a una presión. La presión que puede soportar una columna, comparando sólo aquellas que estén construidas con el mismo material, es también proporcional al área de sección transversal de la columna. En el caso específico del cuerpo de un hombre o un animal, éste, se mantiene erguido gracias a un conjunto de columnas o puntales -el esqueleto- soportado por varios tensores y cables, que son los músculos y los tendones, todos con resistencia proporcional al área de su sección transversal. Pero, el peso del cuerpo que se debe soportar es proporcional a la cantidad de carne y hueso presentes, esto es, al **volumen**.

Ahora, hagamos crecer a la hormiga hasta el tamaño de un hombre: El tamaño de una hormiga grande (un bachaco), es del orden de 1cm ($L_o = 1$), y el de un hombre promedio, es 175cm, si la hor-



miga crece hasta el tamaño del hombre, se haría 175 veces más grande, las dimensiones lineales de todas sus partes, aumentarían en la misma proporción ($L = 175$), con esto, queremos decir: que crecería conservando la forma de una hormiga bien proporcionada. En consecuencia, la sección transversal de sus músculos aumentaría en proporción de L^2 , o sea $(175)^2$, esto incrementaría su fuerza $(175)^2$ veces, lo que equivale a decir, que podría levantar un peso $(175)^2$ veces mayor, que el que puede levantar la hormiga normal. Pero, su volumen, y en consecuencia su propio peso (el peso es proporcional a la masa, y ésta al volumen), aumentaría en proporción de L^3 , esto es: se haría $(175)^3$ veces mayor. Nuestra hormiga gigante, pesaría $(175)^3$ veces más que la hormiguita, y su fuerza solo aumentaría $(175)^2$ veces. **Su fuerza, con relación al peso, disminuiría ¡¡175 veces!! Sería ¡¡175 veces más débil!!**

Aclaremos un poco más la explicación usando el concepto de *fuerza relativa*. La *fuerza relativa* de un animal, se define como la razón, o el cociente, entre el peso que puede levantar y su propio peso.

Como ejemplo comparemos la *fuerza relativa* del hombre normal con la de la hormiga normal.

Para el hombre normal, el cual, como dijimos, puede levantar aproximadamente la mitad (0.5) de su propio peso:

$$\text{Fuerza relativa (hombre)} = \frac{\text{peso que puede levantar}}{\text{su propio peso}} = \frac{0.5 \times \text{peso}}{\text{peso}} = 0.5$$

Para la hormiga normal, que puede levantar 3 veces su propio peso:

$$\text{Fuerza relativa (hormiga)} = \frac{3 \times \text{peso}}{\text{peso}} = 3$$

$$\text{Con relación a la fuerza relativa del hombre: } \frac{3}{0.5} = 6$$

Un resultado esperado; la hormiga normal es relativamente, 6 veces más fuerte que el hombre

Ahora, busquemos la fuerza relativa de la hormiga gigante.

Ya se demostró que esta supuesta hormiga gigante es $(175)^2$ veces más fuerte que la hormiga normal, por lo cual, puede levantar un peso $(175)^2$ veces mayor. Esto es: $(175)^2$ multiplicado por 3 veces el peso de la hormiga normal. Pero, también es $(175)^3$ más pesada.

$$\text{Fuerza relativa (hormiga gigante)} = \frac{((175)^2) \times (3 \times \text{peso})}{((175)^3) \times \text{peso}} = \frac{3}{175}$$

La fuerza relativa de la hormiga gigante, es **¡175 veces menor que la de la hormiga normal!** La hormiga gigante, no podría levantar ni una sola de sus patas.

En 1726 el escritor Jonathan Swift publicó su novela de género fantástico y satírica: Los Viajes de Gulliver, en la cual, el viajero ficticio Lemuel Gulliver vivió un tiempo en un reino llamado Brobdingnag, la ciudad de los gigantes, quienes eran exactamente como el hombre pero a una escala 12 veces mayor. Gulliver también visitó Lilibut, en donde las cosas vivientes: hombres, ganado, árboles, hierba, etc., eran exactamente si-milares a nuestro mundo, excepto que todos ellos estaban hechos en una escala de 2.5 cm a 30 cm. Los liliputienses medían un poco menos de 15 cm de altura en promedio, y todo lo construían justamente como lo hacemos nosotros, pero en forma proporcional.

Primero, comparemos a Gulliver con el gigante Brobdingnagiano, que es 12 veces más alto. El gigante es exactamente igual que Gulliver en su constitución física, y cada una de sus dimensiones lineales es 12 veces la correspondiente a una de las de Gulliver. Como la resistencia de sus músculos, huesos y cartílagos es proporcional a sus respectivas áreas de sección transversal, y por lo tanto, al cuadrado de sus dimensiones lineales (a L^2) el gigante será $12^2 = 144$

veces más fuerte que Gulliver. Pero, siendo su peso proporcional a su volumen, y, por tanto a L^3 , será $12^3 = 1728$ veces más pesado que Gulliver. En consecuencia, el gigante tendrá una *fuerza relativa*, una docena de veces más pequeña que la del hombre normal.

$$\text{Fuerza relativa del gigante} = \frac{(12^2) \times \text{fuerza hombre}}{(12^3) \times \text{peso hombre}} = \left(\frac{1}{12}\right) \times (\text{fuerza relativa hombre})$$

Tan sólo para soportar su propio peso tendría tanta dificultad como la que tendríamos nosotros, al tener que llevar sobre nuestra espalda 11 hombres.



El hueso de la pata delantera de un bisonte y el de una gacela

Por supuesto, en realidad Lilliput y Brobdingang no existen, pero, se pueden ver en la naturaleza los efectos reales producidos por una diferencia de escala si comparamos animales similares de tamaños muy diferentes. La figura muestra los huesos correspondientes a la pata de dos animales parientes cercanos a la familia de los

venados: la de una gacela pequeña y la otra de un búfalo o bisonte. Nótese que el hueso del animal más grande no es del todo similar, geoméricamente, al del más pequeño. Es muy denso para su longitud, y es así como contrarresta el cambio de escala, la cual haría demasiado débil a un hueso estrictamente similar. Los modelos de lo pequeño no son modelos de escala para lo grande.

Los animales pequeños son proporcionalmente más fuertes que los grandes, un perro pequeño, puede soportar sobre su lomo a otro perro de su mismo tamaño, pero un caballo, no puede soportar a otro caballo. Para compensar estos efectos de las escalas, los animales grandes, tienen las patas desproporcionadamente gruesas. Basta comparar, proporcionalmente, las patas de un elefante con las de una

araña. Un elefante es tan grande y pesado que sus miembros se han engrosado en forma grotesca. Sin embargo, la ballena, el más grande de todos los animales, puede pesar hasta 40 veces más que un elefante y sus huesos no se han engrosado proporcionalmente, porque en su hábitat no ha sido necesario. Los huesos de la ballena, así como están, son lo suficientemente fuertes porque ella está sostenida por el agua. ¿Cuál es el destino de una ballena al encallar? Sus costillas se quiebran al no poder soportar su peso.

Hasta aquí hemos investigado los problemas que aparecen al aumentar la escala; esto es, al ir hacia el mundo de los gigantes. Ahora, trataremos algunos de los problemas que surgen cuando cambiamos la escala hacia lo pequeño.

Vimos que al aumentar el tamaño de un cuerpo, su volumen aumenta en mayor proporción que su área. A la inversa; si disminuimos su tamaño, la reducción en su área superficial, es menor que la disminución en su volumen. Relativamente, tiene mayor área superficial un cuerpo pequeño, que uno grande. En el caso de los animales, la proporción entre el área y el volumen tiene consecuencias muy interesantes debido a que la masa corporal y, por ende el peso, son proporcionales al volumen. Citaremos solo dos consecuencias.

Cuando una persona sale de una piscina, hay una película delgada de agua en su piel. Sus dedos no están menos humedecidos que sus antebrazos. El espesor de la película de agua es el mismo sobre la mayor parte de su cuerpo. Haciendo, al menos, una estimación rudimentaria, la cantidad de agua que se lleva encima es proporcional al área superficial del cuerpo. Entonces, la cantidad de agua o peso extra es proporcional a L^2 , donde L es la altura de la persona. El peso original de la persona seca, es como antes, proporcional a su volumen, a L^3 , entonces, considerando que la densidad del cuerpo humano es similar a la del agua, podemos hacer una estimación de la razón del peso extra al peso original:

$$\text{Razón} = \frac{\text{peso extra}}{\text{peso original}} = \frac{L^2}{L^3} = \frac{1}{L} \quad \text{O sea; proporcional a } \frac{1}{L}$$

sobre su piel un vaso de agua, o algo así, lo cual aumentaría su peso algo menos que 1 %, aproximadamente. Un ratón, en iguales condiciones, llevaría sobre la superficie de su cuerpo, aproximadamente, un 60% su propio peso en agua, y una mosca mojada, quedaría aplastada por el peso del agua.

En el mundo imaginario de Liliput, un liliputiense al salir de la piscina llevaría casi el 12 % de su peso en agua, lo que sería equivalente a ir vestido con un traje pesado de invierno más un abrigo grueso. Salir de la alberca, ¡no le sería muy fácil!

La otra consecuencia, tanto o más importante que la primera, tiene que ver con la transferencia de calor, o propiamente dicho; la transferencia de energía a través del área superficial de un cuerpo. Mientras más grande es la superficie de un cuerpo con relación a su volumen, la pérdida o ganancia de energía entre el cuerpo y el medio ambiente



es proporcionalmente mayor. Esta propiedad la aplicamos al enfriar las bebidas con hielo, sabemos que el hielo picado en pequeños trozos enfría mejor que un solo trozo grande, esto es, porque el área superficial, que es la que interactúa para enfriar la bebida, se multiplica muchas veces, al picar el hielo en trozos pequeños.

Para los animales es de suma importancia este intercambio de energía a través de la superficie del cuerpo, ya que ocasiona una considerable pérdida de energía por calor irradiado. Manteniendo constantes otros factores como la temperatura, la naturaleza de la piel, etc., esta energía per-

dida, al depender del tamaño de la superficie resulta proporcional a L^2 . El alimento tomado debe suministrar este calor, así como la energía adicional usada para desplazarse y cubrir otras necesidades. Entonces, para los animales de sangre caliente que tienen que mantener su cuerpo a una temperatura constante, el alimento mínimo necesario está directamente relacionado con L^2 . El ser humano ingiere diariamente en alimentos, una fracción muy pequeña del peso de su cuerpo, mientras que un ratón, ingiere una cantidad equivalente a la cuarta parte de su peso. Esto es una consecuencia de que el ratón, tiene mayor área superficial relativa al peso, lo que produce mayor cantidad de calor perdido por peso que el hombre. Un elefante, tiene menor área superficial con relación a su peso, por ende, consume diariamente solo una pequeña fracción de su propio peso en alimentos.

Se puede ver por qué no hay animales de sangre caliente que sean mucho más pequeños que el ratón. Los peces, las ranas y los insectos, son más pequeños porque su temperatura no es más alta que la de su medio ambiente. De acuerdo con las leyes de escala entre el área y el volumen, los animales de sangre caliente pequeños necesitan, con relación al tamaño, una gran cantidad de alimento. Por ejemplo; en el país imaginario de Liliput, si Gulliver podía vivir con una pierna de cordero y unas hogazas de pan para un día o dos, un liliputiense con la misma temperatura corporal requeriría únicamente un volumen de alimento de $(1/12)^2$, mucho menor, claro está, por ser doce veces más pequeño. Pero, su pierna de cordero, reducida a la escala de su mundo, sería más pequeña en volumen por un factor de $(1/12)^3$. Por lo tanto, el liliputiense necesitaría una docena de sus piernas de cordero asadas y, una docena de sus hogazas de pan, para sentirse tan bien alimentado como Gulliver, después de una dosis diaria de alimento.

Los liliputienses debieron ser un grupo de hambrientos, inquietos, activos y graciosos seres, pero fáciles de emparar.

Estas cualidades se pueden reconocer en muchos mamíferos pequeños, como el ratón y algunas aves como el colibrí.

Ciertamente, Liliput es solo fantasía, la agricultura de los liliputienses no pudo haber mantenido un reino como el que describió Gulliver. Tampoco, importar enormes cantidades de alimentos habría sido solución duradera, aparte de correr el riesgo de tener que abandonar su país, debido al “tsunami” de miles de “minicontenedores” con comida podrida, que habría hecho el reino inhabitable.



Para finalizar veamos cómo influye la relación entre área y volumen en el control y estabilidad de la temperatura de los animales. El organismo de todos los seres vivos genera una cantidad determinada de calorías como consecuencia de las oxidaciones metabólicas liberadoras de energía. Parte de estas calorías han de ser eliminadas para que la máquina viva pueda seguir funcionando. La mayoría se pierden por irradiación a través de la superficie del cuerpo del animal que está en contacto directo con el medio ambiente. Pero volvemos a la desproporción que existe entre el crecimiento del volumen y el de la superficie. Llegado a un determinado límite de crecimiento, la masa del cuerpo de un animal, que aumenta en la proporción del cubo de su tamaño (L^3), no puede refrigerarse a través de la piel, ya que ésta sólo ha crecido en la proporción del cuadrado del tamaño (L^2).

Los gigantes acuáticos se refrigeran en las aguas de los océanos más intensamente que los grandes mamíferos que se desenvuelven en los climas tropicales, entre los que se cuenta el elefante africano. Pero también la evolución de ésta interesantísima criatura ha resuelto el problema de la refrigeración mediante el enorme desarrollo de los pabellones auriculares que, en realidad, más que al servicio de la audición lo están al de la termorregulación. En los enormes pabellones auriculares, la sangre caliente procedente

del resto del organismo circula a través de una finísima red de capilares que permite la irradiación de sus calorías suplementarias. Por esta razón el elefante africano se abanica ampliamente con sus enormes orejas durante las horas calientes del día, mientras que las mantiene pegadas al cuerpo y recogidas en las frescas mañanas o durante la noche. Los chocantes apéndices auriculares del elefante, con su metro ochenta de altura y su metro cincuenta de anchura, son dos gigantescas pantallas de irradiación que permiten al animal prosperar, pese a su enorme volumen, en los climas más cálidos e insoportables de la Tierra.

Las personas obesas, al tener una baja relación entre el área superficial y el volumen, son más resistentes a las bajas temperaturas que las flacas, éstas últimas, al tener mayor área superficial relativa, pierden más calor por peso que las obesas, y sienten con mayor intensidad las bajas de temperatura. Pero, tienen su compensación, en los climas cálidos, se sienten más cómodas que las obesas, a las cuales, les cuesta mucho enfriarse, y siempre están más acaloradas -y sudadas- que las flacas. En muchos sitios de trabajo se forman bandos clandestinos de gordos contra flacos, que mantienen una pugna muy disimulada pero tenaz, por el control de temperatura del *aire-acondicionado*.



LA MEDIDA DEL TIEMPO

Las civilizaciones primitivas desarrollaron diversos sistemas para llevar la cuenta de las horas. Aunque muy inexactos comparados con los actuales, no dejaban de ser ingeniosos. El más antiguo: el Reloj de Sol fue desarrollado independientemente por los chinos antes del 2500 a.C., y por sacerdotes egipcios y babilonios antes del 1000 a.C. Para fines del siglo IV a.C. los babilonios ya habían desarrollado una versión más exacta y compleja del reloj de sol, conocida como hemicycle. El hemicycle consistía de un bloque, preferiblemente de piedra y en su centro se colocaba una varilla, cuya sombra discurría por un arco dividido en 12 partes. Estos relojes de sol que marcaban las horas por el ángulo de las sombras y no por su longitud, eran también, muy usados por los romanos. Las familias acaudaladas tenían uno en el patio de su casa y para los viajes contaban con modelos portátiles hechos de madera. Los árabes introdujeron más avances en lo referente a la exactitud, ya que los usaron para fines astronómicos. Una ordenanza del papa Gregorio I en el año 600 obligaba a colocar un reloj de sol en cada iglesia.

Una alternativa de cronometraje que funcionara en días nublados y durante la noche, fue desarrollada antes del 1400 a. C. y se empleó en toda la cuenca mediterránea y en china, fue el reloj de agua o clepsidra. En principio se basaba en la elevación o disminución del nivel del agua con



Reloj de sol

el tiempo, lo que indicaba la hora al cubrir o descubrir señales marcadas en un recipiente o, por ingeniosos indicadores. En la práctica resultaba casi imposible mantener un flujo o goteo de agua constante. El agua se evaporaba o helaba, también, cambiaba su velocidad de flujo al variar su densidad debido a los cambios de temperatura. Así pues, los relojes de agua resultaron excesivamente inexactos; sin embargo, algunos se conservan como testimonios del ingenio humano, como los fabricados en la China imperial.

Los griegos y los romanos, introdujeron algunas mejoras en la clepsidra que mejoró su exactitud. Pero para evitar los problemas inherentes al agua, desarrollaron los relojes de arena; en estos, el paso del tiempo se representaba por el flujo de arena en vez de agua. Los griegos y los romanos los usaron ampliamente y aunque desaparecieron de Europa durante la Edad Media, fueron “reinventados” en el siglo VIII. Mientras siguieron vigentes las horas temporales, se necesitaron relojes diferentes para invierno y verano debido a que la duración del día es distinta. No obstante, durante muchos siglos se siguió usando el reloj de arena de forma regular; su desaparición se debió al surgimiento del reloj mecánico.

No existen prototipos de los primeros relojes mecánicos, ni nos ha llegado ninguna descripción. El primer reloj público de este tipo del que se tiene noticia fue construido en 1335, se instaló en el palacio de los Visconti de Milán. Como la mayoría de los relojes medievales, no tenía esfera, y mucho menos manecillas, sino que estaba situado en una torre y provisto de una campana que daba las horas. Se conocen algunos otros relojes anteriores a 1350, la mayoría italianos y con un diseño muy sofisticado. Encargados y acoplados a las torres por los nobles, daban las horas del día

y la noche, de una a 24, comenzando en el atardecer. Fue en este período cuando la hora convencional, invariable a lo largo del año, sustituyó a las horas temporales.

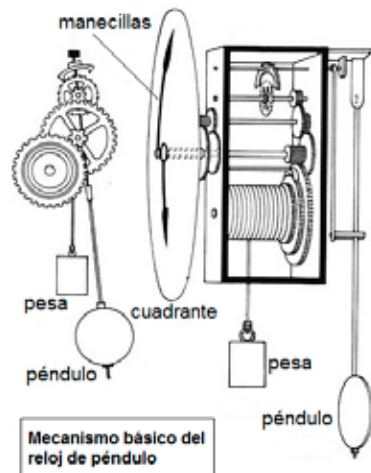
El más antiguo superviviente inglés es el reloj de la torre de la catedral de Salisbury, instalado en 1382, pero no es más completo que el de la catedral de Wells que data de 1392, y que se exhibe actualmente en el Museo de Ciencias de Londres.

Hasta principios del siglo XVI, el principio básico de estos relojes consistía en pesas que al descender, ponían en movimiento un sistema de engranajes, a los que estaba conectada una manecilla que indica la hora. Este método era muy inestable (se detenían) y, muy impreciso. Los relojes domésticos con esferas y una sola manecilla para las horas, fueron escasos y esporádicos durante ese siglo y eran grandes, feos, imprecisos y caros.

El péndulo dijo cuánto dura un segundo

El más importante de los avances concretos en la relojería fue la introducción del péndulo como regulador exacto del tiempo. Este descubrimiento se lo debemos a Galileo, quien a fines del siglo XVI se inspiró en el balanceo de una lámpara que pendía de una cadena en la catedral de Pisa. La ventaja del péndulo estriba en que el tiempo de cada oscilación o período, depende tan solo de su longitud, no de la amplitud de oscilación (si no es muy grande) ni de su masa, con lo cual, para cada longitud de cuerda el periodo con el que oscila es constante.

Se había descubierto un oscilador para sincronizar el funcionamiento del reloj. Y la duración de un lapso se podía medir contando cuantos períodos de oscilación contenía.



¡Se había encontrado la “*regla graduada*” en divisiones de un período, para medir el tiempo! La energía para el funcionamiento de estos relojes era suministrada por pesas en descenso, dosificando la cantidad por medio de engranajes sincronizados por las oscilaciones del mismo péndulo.

El primer reloj de péndulo, propiamente dicho, fue diseñado por el físico holandés Christiaan Huygens en 1656. El primero en construir un reloj con un péndulo de un segundo exacto en su periodo de oscilación, fue el físico inglés Robert Hooke, hacia 1660. El reloj de péndulo de un segundo fue un enorme avance para la exactitud de los relojes, obligando a añadir manecillas para los minutos a las esferas que sólo marcaban las horas, y la idea de dividir el minuto en treinta segundos fue rápidamente aceptada. ¡Por fin, era posible contar 60 segundos!

Estas innovaciones cambiaron la forma de los relojes; la presencia del péndulo, significó relojes más largos, apareciendo el reloj de péndulo “del abuelo” de caja grande y preciosamente ornamentado. Los mayores exponentes de esta artesanía fueron los ingleses, dejando a los franceses los relojes de péndulo más pequeños usados para ser colocados sobre las mesas o las chimeneas. Muchos de estos relojes “abuelos” todavía marchan a la hora. Hubo muchas de estas joyas en Venezuela, que lamentablemente se perdieron. En la figura adjunta se muestra un esquema del mecanismo básico de estos relojes.



Reloj de tambor

El resorte espiral, mejor que el péndulo

Obviamente los relojes de péndulo no podían ser portátiles. Los relojes portátiles no aparecieron hasta la primera mejora real en el diseño del reloj, que fue el uso de un muelle metálico espiral como fuente de energía motriz, que reemplazó a las pesas. El desarrollo de estos relojes está envuelto en el misterio, pero el pri-

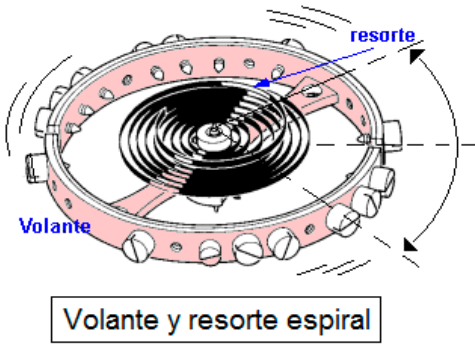
mer reloj de muelle que funcionó fue construido probablemente por Peter Henlein de Nuremberg hacia el 1510. Los mecanismos activados por muelle no sólo eran más exactos sino que permitían construir relojes más pequeños

Los relojes portátiles del siglo XVI no eran desde luego de tamaño bolsillo, pues solían medir 22,8 cm. de diámetro y 12,7 cm. de altura. Debido a su forma se les conoce como relojes de tambor; tenían una esfera sobre la cara superior, y la mayoría estaban provistos de una cubierta metálica con bisagras que protegía la manecilla. Algunos estaban equipados con alarmas, y casi todos presentaban un hermoso acabado, con cajas repujadas y embellecidas a menudo con oro o plata. Aunque poco más exactos que sus predecesores, y sólo al alcance de los ricos.

El muelle en espiral como *oscilador*, fue inventado por Christiaan Huygens en 1674, y fue el fundamento de los relojes portátiles del siglo XVII. Consiste de una banda de acero con forma de espiral, que al ser enrollada y luego puesta en libertad, se relaja y contrae realizando oscilaciones torsionales, esto es: oscila de un lado a otro, alrededor de la posición de equilibrio, y en el plano del muelle. Para mantener la vibración, la inercia del resorte se aumenta acoplándolo a una rueda volante de tal manera que oscilen juntos. Las oscilaciones de este sistema dependen únicamente del resorte y del volante, siendo independientes de la gravedad, por lo cual oscila con independencia de su orientación espacial, esto es; oscila igual sin importar como se lo coloque. Este sistema resorte-volante es el *órgano regulador* del reloj; sincroniza y modula el funcionamiento de su mecanismo. El órgano regulador de un reloj es el director de orquesta de su movimiento. Es el que marca la cadencia de todo el conjunto y el responsable máximo de su precisión.



Reloj de bolsillo diseñado por Peter Henlein a principios del siglo XVII. Los relojes portátiles pudieron fabricarse gracias al desarrollo de resortes en espiral.



Con esa innovación los relojes podían ser más pequeños, compactos y, realmente portátiles, pero, eso no fue todo, el oscilador de resorte en espiral también permitió mayor exactitud en la medición del tiempo, y en una época de gran competencia en el comercio marítimo que incentivó el descubrimiento de nuevas ru-

tas, disponer de un reloj de precisión como instrumento de navegación era una necesidad imperiosa. Este importante aumento de la exactitud en la medición del tiempo se debe a que el resorte espiral puede oscilar a frecuencias altas y, por consiguiente, con períodos muy cortos. Mientras más pequeño es el período o lapso que se usa como patrón de comparación, más exacta es la medida del tiempo. Aclaremos esto usando como ejemplo la medida de una longitud: una longitud se mide con mayor precisión con una regla graduada en milímetros, que con otra dividida únicamente en centímetros o en decímetros. Estos relojes de resorte en espiral disponían de esa “regla” de divisiones más pequeñas.

Hoy en día, todavía hay muchos relojes de gran calidad y sumamente costosos que se rigen por este principio muy perfeccionado. Comentaremos esto más adelante.



Marinos desorientados. Cronómetros y Cronógrafos

John Harrison (1693-1776) relojero inglés ocupa un lugar importante en la historia de la relojería. Los cronómetros que construyó permitieron resolver uno de los más complejos problemas de su época: la determinación de la longitud en alta mar. La navegación requería conocer la posición de los barcos para no desviarse del rumbo y llegar a destino con se-

guridad. La posición sobre la esfera terrestre estaba definida por la latitud y la longitud. La primera podía determinarse por observación de la altura sobre el horizonte de referencias astronómicas. Pero la longitud de la posición en la que se encontraban los barcos se perdía en cuando zarpaban y dejaban de tener la referencia de la tierra firme.

El 8 de Julio de 1714, reinando Ana de Inglaterra, se promulgó el Decreto de la Longitud, que establecía una cuantiosa suma para quien descubriera un método práctico para determinar la longitud. El decreto establecía la formación de un jurado que se conocería como Consejo de la Longitud, y que estaría compuesto por científicos, oficiales de marina y funcionarios del gobierno. Dos de los miembros del Consejo fueron los científicos Isaac Newton (1642 - 1727) y Edmond Halley (1656 - 1742).

El Consejo de la Longitud recibió toda clase de métodos (algunos realmente curiosos y disparatados) para resolver el problema objeto de su creación. Durante años, los métodos basados en la observación de referencias astronómicas tuvieron muchos partidarios en el Consejo. Otra forma de resolver el problema consistía en disponer de la hora a bordo del buque, mediante un reloj suficientemente preciso. Sabiendo la hora en el lugar del que había partido el barco, mediante un reloj que se llevase a bordo, y la hora local que indicaría el Sol a su paso por el meridiano, podría determinarse la diferencia entre ambas, y calcularse la Longitud de la posición del barco en todo momento. Una hora de diferencia equivaldría a 15°, bastaría multiplicar esa diferencia horaria para obtener los grados de Longitud. Ya existían relojes portátiles en esa época, pero las variaciones de temperatura, humedad, y el movimiento de los barcos, perturbaban de tal forma su marcha que los hacían inútiles para determinar la Longitud.

John Harrison resolvió el problema. Sus cronómetros fueron tan precisos que permitieron a cualquier buque saber la hora exacta en alta mar. En el primero de ellos, el H1, Harrison trabajó durante cinco años en su construcción y



fue probado en 1730 en la travesía del barco Centurión que partió de Spithead, en el sur de Inglaterra, con rumbo a Lisboa. El viaje duró una semana y la exactitud del cronómetro quedó probada, pero Harrison que iba a bordo junto a su maravilloso cronómetro, advirtió aspectos del mismo que podían mejorarse. En total, construyó cinco cronómetros que conocemos como H1, H2, ...H5. Cada uno mejor que el anterior, incorporando no sólo mejoras en la precisión, además, eran más y más pequeños y manejables.

La producción en masa de relojes domésticos comenzó en el siglo XIX, y se abarataron tanto que se convirtieron en objetos corrientes en todas las casas, pero, los relojes portátiles de bolsillo, mantuvieron su alto precio hasta muy entrado el siglo XX. A partir de la Primera Guerra Mundial en que los relojes de pulsera fueron parte de la dotación de los hombres de las trincheras, su uso se popularizó haciéndose más asequibles, e imponiéndose hasta nuestros días.

El reloj electrónico

En los años 50 hizo su aparición el transistor, acompañado con la miniaturización de las pilas de alta densidad, incentivando el cambio de paradigma del reloj mecánico al reloj electrónico. Ya se habían fabricado relojes eléctricos (aunque no, electrónicos) pero no eran confiables, ni duraderos, y estaban muy lejos de ser de pulsera.

El inventor del primer “reloj electrónico” de pulsera fue el físico Max Hetzel, nacido en Basilea, Suiza. Hetzel, seguía las investigaciones sobre relojes eléctricos que se hacían en ese tiempo, pero, sabía que estas no aportarían nada a nivel de evolución, pues seguían dependiendo del sistema “*volante y resorte espiral*” como oscilador. En este sistema se había alcanzado una cota superior en la frecuencia de oscilación,

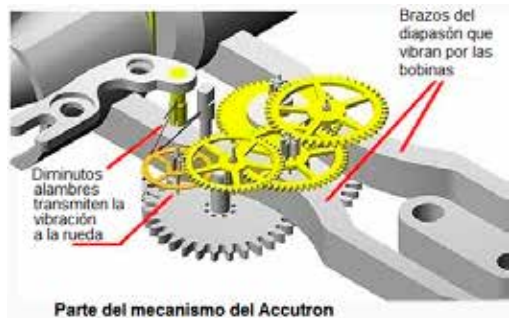
que al no poderse superar imponía un límite en la precisión de los relojes. Era imprescindible encontrar un oscilador de mayor frecuencia y por lo tanto, menor período. Se necesitaba dividir el tiempo en intervalos más pequeños.

La compañía Bulova Watch Company de Bienne, Suiza, fue la única que escuchó al Sr. Hetzel en 1952, cuando anunció que él podría construir un reloj sin volante ni espiral con una exactitud mayor a la de los relojes más precisos de ese tiempo y que, aún sin usarlo,



mantendría su marcha durante un año. En 1955, en Bienne, Max Hetzel, pudo construir el primer prototipo de su reloj electrónico, que sería conocido como Accutron, por tener como oscilador, y, por ende, órgano regulador de la medida del tiempo un *diapasón acústico*. El sistema Accutron fue el mayor avance en la relojería desde el siglo XVI, revolucionó el reloj, eliminando por primera vez el volante y el espiral como órgano rector en la medida del tiempo, llevando la exactitud y precisión a límites impensables en su momento.

Las dificultades de poder fabricar en Suiza, la miniaturización de todos los componentes que eran necesarios para trasladar este prototipo a un reloj de pulsera, obligaron a Hetzel a trasladarse a Bulova Nueva York, y en 1958 ya tenía a punto los prototipos que saldrían al mercado el 25 de Octubre de 1960. Anuncios publicados en 1961, anunciaban entre otras cualidades una precisión del 99,997 % y calificaban de obsoletos los recientes relojes eléctricos aparecidos en el mercado (Elgin, Hamilton, Lip). También la campaña publicitaria incluía



la incorporación de auténticos diapasones, ajustados a 360 ciclos por segundo (frecuencia de oscilación del diapasón del Accutron) que se regalaron a los distribuidores para aumentar sus argumentos de venta. Estos diapasones grabados por Bulova con la fecha de la puesta a la venta de sus relojes, son objeto de culto entre los coleccionistas.



Diapasón con mini-bobinas

¿Cómo funciona un Accutron?

Cuando golpeamos un diapasón, vibra con una sola frecuencia, produciendo un sonido puro, por eso se usan como referencia para la afinación de instrumentos musicales. Hetzel, partiendo de que la vibración de un diapasón genera un micro-movimiento oscilatorio, ideó la forma de fabricar un reloj muy preciso aprovechando este oscilador, lo más difícil, partiendo de esta base, fue transmitir esta vibración a una rueda, pasando del movimiento de vaivén del diapasón a un movimiento circular que pudiera mover, a su vez, un juego de ruedas que acabarían marcando la hora. El otro gran logro fue mantener oscilando el diapasón, para esto le colocó unas diminutas bobinas eléctricas en cada uno de sus extremos, conectadas a un circuito electrónico de alimentación, que generaba pulsos eléctricos sincronizados con la frecuencia del diapasón, estos pulsos eléctricos producían entre las mini bobinas impulsos magnéticos de atracción y repulsión que mantenían el diapasón en resonancia.

Uno de los primeros relojes que salió a la venta fue el Bulova SpaceView (esqueleto), que permitía ver el interior del reloj, mostrando una maquinaria totalmente distinta a todo lo conocido hasta entonces. A diferencia de los relojes de cuarzos actuales, el movimiento de la aguja segunda es totalmente fluido y continuo, sin saltos. Pero una de las características que lo hicieron distinto desde su nacimiento era su sonido, los Accutron no hacen “Tic-Tac”, los Accu-

tron zumban similar a un mosquito, detalle que también, supo aprovechar Bulova en su publicidad.

El *Bulova Accutron* pasó a ser el primer “reloj electrónico” de pulsera del mundo. Varias compañías suizas equiparon también movimientos de diapasón en sus relojes de pulsera, pagando una licencia a Bulova. Más de 4 millones de relojes Accutron fueron vendidos hasta que la producción se detuvo en 1977.



El reloj de cuarzo

El mayor adelanto en la relojería de uso personal se produjo con la introducción del cristal de cuarzo como oscilador; esto permitió la fabricación de relojes baratos de alta precisión y muy duraderos. En navidad de 1969 se pone comercialmente a la venta el Seiko Quartz-Astron 35SQ, primer reloj de pulsera de cuarzo del mercado, que atrasaba tan sólo 5 segundos al mes. Su eslogan de lanzamiento sería “Algún día, todos los relojes serán así”

Pronto se inicia una producción masiva de este tipo de relojes ya sean analógicos o digitales, a cargo de fabricantes como Casio, Citizen o Seiko. Tienen un fulgurante éxito comercial, gracias a su comodidad, (no usan alimentación a cuerda) precisión, bajo costo, y funciones antes reservadas a relojes de alto precio, como: alarmas, cronógrafos o calendarios que no requieren ajuste. El reloj mecánico tradicional poco a poco es arrinconado comercialmente y muchos fabricantes suizos adoptan el cuarzo y lanzan sus propios modelos.

¿Qué hace el cristal de cuarzo?

Un cristal de cuarzo puede vibrar aumentando y disminuyendo una de sus dimensiones, y mientras vibra se produce

una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus caras paralelas entre sí, y perpendiculares a la dirección de la oscilación. La frecuencia natural de oscilación del cristal depende de su tamaño y forma, por lo que, dentro de ciertos límites, puede ser seleccionada por el fabricante, la más usada es 32768 ciclos por segundo, por ser potencia exacta de dos, lo que simplifica el subdividirla. El cristal vibra al ser excitado por un campo eléctrico oscilante generado por un circuito electrónico, y, una vez en oscilación, genera una señal eléctrica de alta frecuencia la cual realimenta y sincroniza el circuito, corrigiendo las desviaciones de frecuencia que pudieran producirse. El cuarzo hace el papel de regulador y estabilizador de la frecuencia de la corriente alterna en el circuito, que es procesada a través del *divisor de frecuencia* (un circuito digital formado por una sucesión de contadores) hasta obtener una frecuencia capaz de ser transmitida a un motor eléctrico y un tren de engranajes que marcan la hora por medio de agujas (reloj análogo), o directamente procesada para ser registrada en forma digital en una pantalla de cristal líquido. Los mejores relojes de cuarzo pueden funcionar durante un año, con un error acumulado menor a 0.1 de segundo.

Una nueva refinación es el reloj de cuarzo automático que no necesita cambio de pila, lanzado por Seiko con el nombre de Kinetic, en 1992, híbrido entre el clásico automático mecánico y el reloj de cuarzo. El Kinetic almacena energía cuando se lo mueve, un diminuto pero muy eficiente generador que se activa con el movimiento, recarga un acumulador de energía eléctrica, la cual mantiene el reloj en funcionamiento.

El Citizen Eco-Drive, también es un reloj de cuarzo que recarga su pila, pero, lo hace por medio de celdas fotoeléctricas que captan la energía de la luz visible y la transforman en energía eléctrica.

Más precisión y más exactitud

Hay relojes aún más exactos. Los relojes atómicos, los cuales obviamente no son domésticos y, mucho menos portátiles; miden el tiempo usando como oscilador la frecuencia de vibración de los átomos, principalmente el cesio 133. La precisión de un reloj atómico apenas permite un error acumulado de un segundo cada 30.000 años. Tal precisión, la mente humana es incapaz de imaginar.

Sin embargo, desde el descubrimiento de Einstein de la relación entre el espacio y el tiempo, la medición muy precisa de los intervalos de tiempo exige que se hagan ajustes que dependen de la velocidad a la cual se mueve el reloj y, en algunos casos, también de su ubicación, porque la duración del intervalo es alterada por la aceleración de gravedad. Sin estas correcciones, los satélites del sistema de posicionamiento global no podrían precisar la ubicación de alguien, con suficiente exactitud, en caso que necesite ser rescatado.

El que sabe leer la hora, la lee como sea

La modalidad de mostrar la hora de los relojes analógicos, mediante manecillas o agujas que indican la hora y los minutos, no ha podido ser desplazada por la modalidad digital. Esto se debe a que cuando vemos la hora o más propiamente; vemos el reloj, la mayoría de las veces no lo hacemos para saber la hora, sino, para saber **cuánto tiempo transcurrió desde un determinado instante**, (*esta vez se demoró 20 minutos más*) o, **cuanto falta para determinado evento** (*¡es el colmo, 15 minutos más y me voy!*). Esta información la obtenemos con una rápida observación al arreglo geométrico entre las agujas. Igual de fácil y rápido leemos la hora, aunque el reloj tenga números romanos, solo tenga algunos números, o, simplemente, no tenga números (como los relojes Rado y algunos Movado).

El reloj digital obliga a usar la aritmética para saber *cuánto falta “para”, o, cuánto transcurrió “desde”*. Aunque, se

tiene que reconocer que la representación digital es insustituible en otras aplicaciones como en los cronómetros.

Joyas mecánicas. No muestran la hora, muestran el Ego

Los relojes mecánicos se estiman y valoran más que los electrónicos a pesar de su menor exactitud y mayor precio; ya que son considerados por los expertos como obras de arte mecánicas. Sin mayores comentarios mostraremos algunos.

Patek Philippe's Supercomplication



Data de 1933, demoró 5 años fabricarlo
Tiene un valor de 11 millones de dólares

Patek Philippe's Platinum World Time



En este reloj muestra la hora universal
Tiene un valor de 4 millones de dólares

Patek Philippe Sky Moon Tourbillon



1.3 millones de dólares

Vacheron Constantin Tour de l'Ile



Está valorizado en 1.5 millones de dólares

Patek Philippe calibre 89



5.63 millones de dólares



Caja y brazaletes de cerámica. Edición limitada a 12 ejemplares por versión Precio 120.000 euros



Todos estos adelantos en la medición del tiempo no impiden que se evoque la refinación artística y poética con la cual las culturas orientales registraban el paso del tiempo. En China se usaron velas que tenían sobre la cera escalas pintadas con diferentes colores. Estas velas colocadas dentro de fanales permitían ver el paso de las horas en los colores que se iban consumiendo. Pero, eran más frecuentes las mechas de combustión lenta con unas campanitas incorporadas, que caían a medida que la mecha se consumía, permitiendo “escuchar” las horas en los diferentes tonos de las campanas.

En Japón, en el siglo XIV, se usaron relojes hechos con largas tiras de incienso enrolladas dentro recipientes de cerámica. Las tiras estaban divididas en sectores de diferentes aromas que demoraban el mismo tiempo en quemarse. El aroma que perfumaba el ambiente cambiaba con el transcurrir del tiempo. En Japón, se “olía” el paso del tiempo.

MOVIMIENTO EN LOS FLUIDOS

En tenis, se usa la expresión “*top spin*” para indicar que el tenista le dio a la pelota un golpe determinado que le imprime una fuerte rotación que aumenta el alcance de la misma y, el contrario tenga que correr hasta el final de la cancha. “*Back spin*” es una rotación en sentido contrario a la anterior, que hace que la pelota “se quede” cerca de la malla. Existe también la rotación lateral izquierda o derecha, que obliga a la pelota a recorrer una trayectoria curva en sentido horizontal. Debido a este efecto, las faltas y los “*tiros de esquina*” cobrados en fútbol, pueden describir una trayectoria curva superando las barreras y entrando al arco. Se habla entonces, de disparos con *efecto*. En el beisbol determina el repertorio de curvas de los lanzadores. Y, también, se manifiesta en otras disciplinas deportivas que usan pelotas o balones.

Como es de suponer, el efecto no se limita a las pelotas y balones, actúa sobre todo cuerpo que se mueve en un fluido, como en el aire, o en el agua. Por ejemplo: la lona que cubre la carga en algunos camiones, o el techo de lona de los convertibles, se abulta hacia arriba cuando el vehículo se mueve a gran velocidad. Podemos observar este efecto sin tener que salir a la calle a esperar que pase un camión con una lona. Se lo pude producir con la ayuda de una cinta de papel delgado.



Fig. 1

Se sujeta la cinta de papel frente a los labios; justo debajo de ellos (Fig. 1), y se sopla sostenidamente sobre la parte superior de la cinta, contrario a lo esperado, la cinta se eleva.

¿Cuál es la razón física que explica estos comportamientos? La respuesta está en el movimiento. Por extraño que parezca, la presión de un fluido disminuye cuando su velocidad aumenta. Nos referimos a la presión que ejerce en la dirección perpendicular a la que fluye, **no** sobre los obstáculos que se interponen en su camino. Por ejemplo: en la cinta del ejemplo,

el aire fluye por la parte superior produciendo una zona de baja presión sobre esa cara. En la cara inferior el aire permanece en reposo y la presión no cambia. Así, se forma una fuerza neta **ascensional** sobre la cinta (Fig. 2(a)).

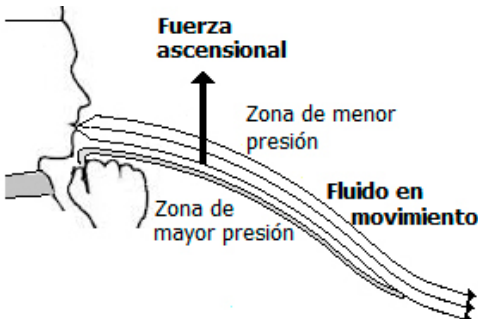


Fig. 2 (a)

Veamos otras dos demostraciones prácticas de este fenómeno:



Fig. 2 (b)

Si colocamos dos hojas de papel una en frente de la otra y soplamos entre ellas, contrario a lo esperado, las hojas se juntan en vez de separarse (Fig. 2(b)). ¿Por qué las hojas se juntan en lugar de separarse?

El flujo rápido de aire entre las hojas disminuye la presión del aire entre ellas, mientras la presión fuera de ellas no cambia, esto hace que se junten.

Otra manera: se coloca una hoja de papel sobre dos libros gruesos, enfrentados y separados unos 15 cm, como se muestra en la figura 2(c). Al soplar por debajo de la hoja y entre los libros, es decir, a través del arco (Fig. 2(d)), no

importa cuán fuerte se sople, la hoja no volará, y por el contrario, se pegará más a los libros doblándose hacia abajo.

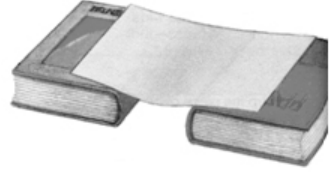


Fig. 2 (c)

Son solo tres evidencias de un principio que enunció Daniel Bernoulli, científico suizo del siglo XVIII. Descubrió que cuando mayor es la rapidez de flujo, menor es la presión que se ejerce en la dirección perpendicular a la del flujo. Bernoulli, descubrió que esto se cumple tanto en líquidos como en gases. El **Principio de Bernoulli** en su forma más simple se lo puede enunciar como: **Cuando la rapidez de un fluido aumenta, su presión disminuye.**



Fig. 2 (d)

Una manifestación del efecto Bernoulli, es el vuelo de los tejados por el viento. Cuando sopla el viento la presión del aire sobre el techo de una casa es menor que en el interior de la casa, esto produce una fuerza ascensional que puede arrancar el techo (Fig. 3). Más aún, si los techos se construyen para soportar grandes cargas, como el peso de la nieve o el agua acumulada de la lluvia, pero no para resistir fuerzas hacia arriba.

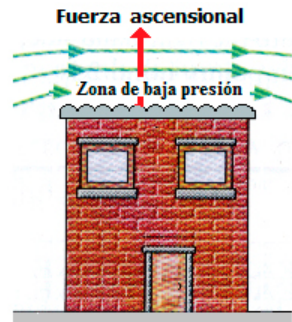


Fig. 3

Lo mismo pasa con los grandes paneles de vidrio de los edificios altos, la diferencia de presión entre el interior y el exterior del edificio durante los vientos fuertes es la causante, en gran medida, del desprendimiento de los paneles de vidrio.

El efecto Bernoulli se aplica en los nebulizadores de perfume, pintura, insecticidas, etc. Básicamente; una corriente de aire (u otro gas) a alta velocidad pasa sobre el extremo abierto de un tubo, cuyo otro extremo está dentro del líquido que se quiere nebulizar. La presión del aire en



Fig. 4

movimiento es menor que la del aire en reposo dentro del recipiente del líquido, esta diferencia de presión entre los dos extremos del tubo bombea el líquido hacia la corriente de aire que lo proyecta dispersado en finas gotas.

¿Por qué escapa el humo por el tiro de una chimenea? En parte, porque los gases calientes se elevan, puesto que son menos densos, y por tanto flotan sobre los gases más fríos. Pero aquí también desempeña un papel el principio de Bernoulli. Dado que el viento que pasa sobre el tiro de la chimenea hace que la presión ahí sea menor que dentro de la casa. Por tanto, el aire y el humo se impulsan hacia arriba. Incluso cuando una noche parece ser tranquila, en general hay suficiente flujo de aire en la salida de la chimenea como para ayudar al humo a escapar.

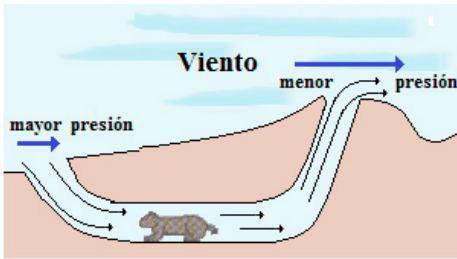


Fig. 5

Si las marmotas, los conejos y otros roedores que viven bajo suelo no han de asfixiarse, el aire debe circular por sus madrigueras. Éstas siempre tienen cuando menos dos salidas (Fig.5). La velocidad del aire que pasa por agujeros distintos es, en general, ligeramente diferente. Esto ocasiona una pequeña diferencia de presión, que impulsa un flujo de aire a través de la madriguera. El flujo de aire aumenta si uno de los agujeros es más alto que el otro, cosa que tratan de hacer con frecuencia estos animales, ya que la velocidad del viento tiende a aumentar con la altura.

Si las marmotas, los conejos y otros roedores que viven bajo suelo no han de asfixiarse, el aire debe circular por sus madrigueras. Éstas siempre tienen cuando menos dos salidas (Fig.5). La velocidad del aire que pasa por agujeros distintos es, en general,



Fig. 6

cuenca de la acumulación de placa en sus paredes internas

Palpitación vascular

El efecto Bernoulli explica la llamada “palpitación vascular”, síntoma en una persona con arterioesclerosis avanzada. La arteria se estrecha como conse-

(Fig. 6). Con el fin de mantener una tasa de flujo de sangre constante por la arteria reducida, la presión impulsora debe aumentar. Dicho aumento en la presión requiere un gran esfuerzo sobre el músculo cardíaco. Si la velocidad de la sangre es lo suficientemente alta en la región estrecha, la presión dentro de la arteria disminuye con relación a la presión externa, y la arteria colapsa, se cierra causando una interrupción momentánea del flujo de sangre. En ese momento, al detenerse el flujo cesa el efecto Bernoulli y vuelve a abrirse el vaso bajo la presión arterial. Conforme la sangre corre por la arteria reducida, la presión interna disminuye y la arteria se cierra de nuevo. Estas palpitaciones del flujo sanguíneo pueden escucharse con un estetoscopio. Si la placa se desprende y termina en un vaso más pequeño que entrega sangre al corazón, se puede producir un ataque cardíaco.

Ataque isquémico transitorio

Otra aplicación del principio de Bernoulli, en medicina, es la explicación del “ataque isquémico transitorio” (falta temporal de suministro sanguíneo al cerebro), causado por el llamado “síndrome del robo de la subclavia”. Una persona que lo sufre puede tener síntomas como mareo, doble visión, dolor de cabeza y debilidad en las extremidades. Un ataque de estos puede suceder del siguiente modo: la sangre fluye hacia el cerebro por la parte posterior la cabeza, a través de las dos arterias vertebrales; una a cada lado del cuello, que se encuentran para formar la arteria basilar inmediatamente abajo del cerebro (Fig.7). Las arterias vertebrales salen de las arterias subclavas, antes de que éstas se bifurquen y una rama se dirija a los brazos. Cuando se ejercita vigorosamente un brazo, la irrigación sanguínea aumenta a fin de satisfacer los mayores

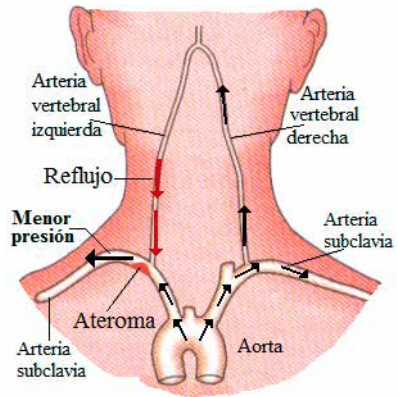


Fig. 7

requerimientos de los músculos del brazo. Pero, si la arteria subclavia de un lado está obstruida parcialmente por algún ateroma, la velocidad de la sangre aumenta en ese lado para mantener el flujo y suministrar el volumen requerido. La mayor velocidad frente a la abertura de la arteria vertebral, ocasiona una menor presión. Así, la sangre que sube por la arteria vertebral del lado sano, a presión normal, puede desviarse hacia abajo, *en contra flujo*, por la otra arteria vertebral, debido a la baja presión de ese lado, en lugar de pasar hacia arriba, a la arteria basilar y al cerebro. Es así como se reduce el suministro de sangre al cerebro debido al “*síndrome del robo de la subclavia*”: la sangre que va a mayor velocidad por la arteria subclavia “roba” la sangre del cerebro. El mareo o la debilidad resultantes suelen hacer que la persona detenga sus ejercicios, para luego volver a la normalidad.

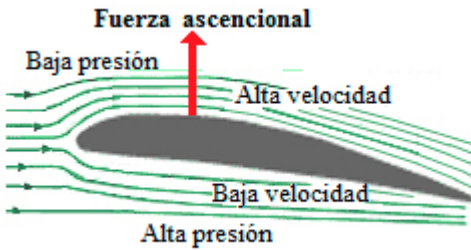


Fig. 8

circulación del aire por encima y por debajo de ella. La forma y la inclinación (ángulo de ataque) de las alas hacen que el aire pase más rápido sobre la parte superior del ala que por la superficie inferior, debajo de ella, por lo tanto, la presión en la parte superior es menor que la presión en la parte inferior. La diferencia entre estas dos presiones, produce una fuerza total dirigida hacia arriba, la fuerza *ascensional* de la que ya hablamos. Aun siendo pequeña la diferencia de presión entre las dos superficies, puede producir una fuerza ascensional considerable si el área de la superficie de las alas es grande. Cuando esta fuerza es igual al peso se hace posible el vuelo horizontal. La fuerza ascensional se hace mayor, cuanto mayores sean la rapidez de circulación del aire y el área de las alas. Así, los aviones planeadores que vuelan a

El vuelo

Los aviones se mantienen en vuelo por la forma y orientación de sus alas. La figura 8 muestra el corte transversal de un ala de un avión en vuelo y las líneas de

baja velocidad tienen alas muy grandes, mientras que las de los aviones más veloces son proporcionalmente pequeñas.

Cabe aclarar que la diferencia de presión debida al efecto Bernoulli, es solo uno de los factores que en mayor o menor grado contribuye a la fuerza ascensional que se ejerce sobre un ala. Otro de los factores importantes es el grado de inclinación del ala, llamada *ángulo de ataque*, esto hace que el ala empuje el aire, desviándolo hacia abajo, y éste, a su vez, empuje el ala hacia arriba.

El efecto del ángulo de ataque se puede sentir cuando se viaja en un auto. Si se saca la mano por la ventana colocándola como si fuese un ala, y se la inclina ligeramente de manera que desvíe el viento hacia abajo. ¡La mano subirá!



Fig. 9

La fuerza ascensional, es un buen ejemplo de que el comportamiento de la naturaleza obedece a muchos factores.

La mayor especialización de las alas se encuentra en las aves, que han desarrollado diversos tipos de ellas según sus necesidades: largas, estrechas y puntiagudas, como las del albatros que pueden llegar a medir de una punta a otra, más de 3 metros (Fig.9), usadas para ahorrar energía planeando largas distancias. Algunas especies de albatros pueden dar la vuelta al mundo en 46 días, planeando sobre el mar. Este tipo de alas se imita en los planeadores.



Fig. 10

Alas como las de los halcones o las golondrinas (Fig.10) se asemejan a las de los aviones caza: la forma en ala delta, permite efectuar maniobras rápidas y arriesgados giros, sobre



Fig. 11

todo en picada, sin perder el control. El *halcón peregrino*, por ejemplo, cuando caza presas en vuelo, puede alcanzar más de 300 Km/h en picada.

Las alas del cóndor: provistas de alerones variables a voluntad (Fig. 11), le permiten controlar hasta las más sutiles oscilaciones y aumentar la precisión del vuelo. Además, provistas de una inimitable movilidad, pueden cambiar el *ángulo de ataque*, la velocidad de aleteo y la superficie expuesta al viento, dotando a estas aves de una asombrosa capacidad de maniobra. ¡No es fácil diseñar alas!

Efecto Magnus

Una pelota en rotación crea un remolino de aire a su alrededor. Si la pelota se desplaza en el aire, sobre un lado de la pelota, el movimiento del remolino tendrá el mismo sentido que la corriente de aire producida por su desplazamiento. En este lado la velocidad del aire se incrementará. En el lado opuesto, el movimiento del remolino se produce en el sentido opuesto a la de la corriente de aire y la velocidad de circulación del aire se verá disminuida. Con lo que la presión será menor en un lado que en otro, causando una fuerza perpendicular a la dirección de la corriente de aire y, por ende, a la velocidad de de traslación de la pelota. Esta fuerza

desplaza al objeto de la trayectoria que tendría si no existiese el fluido. La figura 12 muestra, vista desde arriba, una pelota que se desplaza de izquierda a derecha, mientras gira en sentido de las agujas del reloj. En el esquema se indican las zonas de alta y de baja presión, y la fuerza lateral resultante que la desvía a la derecha.

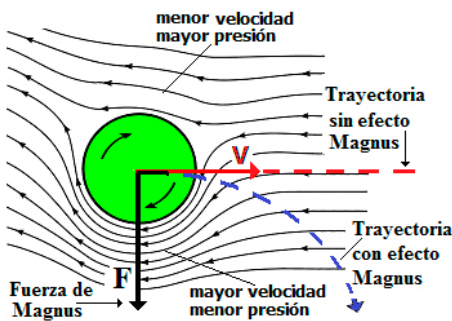


Fig. 12

Cuando la velocidad de desplazamiento es muy alta, se produce una zona sobre la superficie de la pelota donde el

flujo de aire es caótico, entonces, el estudio en detalle del fenómeno físico se hace más complejo, aunque el efecto sigue siendo el mismo. En cualquier caso este efecto es conocido como: *Efecto Magnus* y la fuerza que produce: *Fuerza de Magnus*; en honor al físico y químico alemán Heinrich Gustav Magnus quien lo describió por primera vez en 1853.

Gol Olímpico

Recibe esta denominación, a una jugada del fútbol, en la cual el balón sacado desde el punto del saque de esquina, entra directamente en la portería contraria sin que toque a ningún otro jugador (Fig. 13). Es una anotación poco frecuente y muy pocos jugadores han conseguido realizarlo en alguna ocasión a lo largo de su carrera deportiva.



Fig. 13

Sin la influencia del flujo de aire sobre la pelota, es decir, sin la Fuerza de Magnus, no sería posible que el balón cayendo solamente por la fuerza de gravedad, doblara lateralmente. En el esquema de la figura 14 se muestra el sentido de giro que debe tener la pelota para lograr el efecto. Pero, lo realmente asombroso es la destreza del jugador.

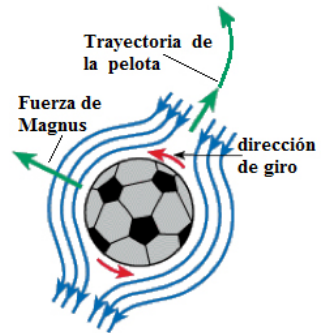


Fig. 14

Esta joya de gol, recibe su nombre del marcado por el argentino Cesáreo Onzari, a los 15 minutos del partido amistoso celebrado el 2 de octubre de 1924 en la cancha de Sportivo Barracas, de la ciudad de Buenos Aires, entre la Selección Argentina y la Selección de Uruguay, que había ganado la medalla de oro ese año en los Juegos Olímpicos de París. Fue el primer tanto de este tipo, obtenido en una competencia trascendente, convalidado según una reforma que se acababa de hacer en las reglas del juego, por lo que

se lo conoció como “el gol a los olímpicos”, para en adelante simplificarlo como: “*gol olímpico*” para referirse a una anotación de estas características. Extrañamente, poco tiempo antes, el reglamento establecía que no eran válidos los tantos conseguidos directamente de un saque de esquina.

El primer y hasta el momento único gol de este tipo anotado en una Copa Mundial de Fútbol fue conseguido por el colombiano Marcos Coll el día 3 de junio, en el Mundial de Chile de 1962, durante el partido jugado en el Estadio Carlos Dittborn de la ciudad de Arica, entre Colombia y la Unión Soviética.

(Algunos goles con efecto se puede ver en: <https://www.youtube.com/watch?v=K2soQ3p9ckM>)

En el Beisbol

La gran variedad de lanzamientos quebrados de los “picheres” son principalmente producto de la Fuerza de Magnus. Sin saber Física, los lanzadores saben aplicarla (que es lo más importante), controlando el movimiento de la pelota con gran precisión. Algunos rayan en lo asombroso y artístico, otros, los más, con algo menos de control y virtuosismo, pero, con igual repertorio.

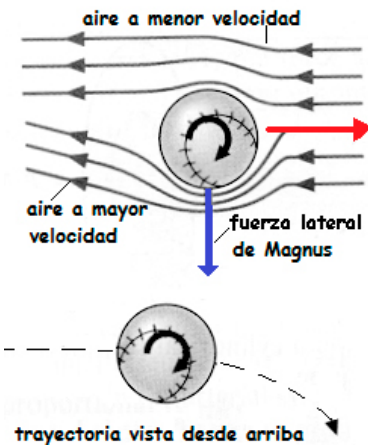


Fig. 15

Según la velocidad, y modo de rotación que le imprimen a la pelota, dependiendo de cómo colocan los dedos (por ejemplo: siguiendo las costuras o transversalmente a ellas), y el movimiento de la muñeca durante el lanzamiento, la bola adopta una trayectoria u otra. Pueden hacer que se desvíe horizontalmente: a la izquierda o a la derecha. Que caiga más rápido o menos rápido. O combinar algunos de estos efectos en una sola trayectoria.

Como la causa de estos efectos ya se trató para la pelota de futbol, solo haremos una escueta y muy simple explicación basados en la figura 15, donde se muestra; vista desde arriba, una pelota lanzada a la derecha y, rotando en sentido de las agujas del reloj. Con relación a la pelota: en el lado derecho el aire fluye más rápido que en el lado izquierdo, por ende, la presión sobre el lado “derecho” es menor que en el lado “izquierdo”.

Originando una Fuerza de Magnus dirigida a la derecha que desvía la pelota lateralmente en esa dirección. Para este caso hipotético, la pelota se cerraría hacia el bateador derecho (Fig.16).

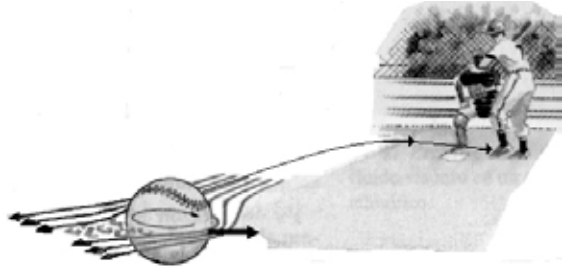


Fig. 16

Es muy difícil “batear” con éxito estos lanzamientos porque en ellos interceden diversas fuerzas físicas además de la de Magnus, por ejemplo: la de gravedad, que jala la bola a la Tierra, una bola rápida cae casi un metro, mientras que una bola lenta (una curva) cae poco menos de metro y medio. Eso explica por qué el pitcher está ubicado en un montículo. Y si a esto se le suma que la pelota tarda en promedio 0.48 segundos en llegar al bateador, y que el tiempo promedio de reacción ante un estímulo visual es 0.20 segundos, el bateador tiene solo 3 centésimas de segundo para discernir la trayectoria y atinarle adecuadamente a la pelota. A un jugador de béisbol se lo considera un excelente bateador, y por ello, es muy bien remunerado, si acierta a batear 3 veces de cada diez intentos. ¡Fallar 7 veces en diez intentos, se considera un excelente desempeño!

BREVE HISTORIA: DEL “ALÓ” AL CELULAR

El presidente no tenía quien le llamara

Era el año 1877 cuando Rutherford Hayes el décimo noveno presidente de los Estados Unidos, inauguró la revolución tecnológica, al recibir una llamada de Alexander Graham Bell, situado a 20 kilómetros de distancia. Fue el primer presidente con teléfono, pero, este gesto honorífico no tuvo, para él, aplicación práctica, ya que no tenía quien lo llamara, ni a quién llamar, casi nadie tenía uno. El teléfono, apenas, se había patentado un año antes.

Por ser buen esposo inventó el teléfono

En 1854 Antonio Meucci, inventor italiano, creó el “*teletrófono*” (nombre poco comercial). Un instrumento nunca visto que permitía, por medio de la electricidad, enviar señales acústicas a gran distancia. Meucci creó el aparato para comunicarse desde su oficina, con su esposa que sufría reumatismo, y no se podía mover. La distancia, realmente, no era grande, pero, ya era un teléfono. Meucci no patentó su invento porque tenía escasos recursos, y prefirió patentar otros inventos que consideraba más beneficiosos económicamente, como: un filtro para el agua.

Seis años después, en 1860 lo presentó el teléfono al público (aun se encontraba sin patentar), en la demostración transmitió, a través de una gran distancia, la voz de una cantante italiana, pero, sorprendentemente, nadie ofertó por la invención. Once años después, ¡por fin! en 1871 consideró la posibilidad de que alguien comprara la patente de su invento, y como no podía pagar el precio de una patente definitiva, Meucci busco una forma no definitiva, pero menos costosa; patentando el invento de forma anual. Lo registró en 1871, y lo renovó tanto en 1872 como en 1873.

En 1876 **Alexander Graham Bell registró la patente del teléfono**. Meucci, como era de esperar, pidió a su abogado que reclamara ante la Oficina de Patentes, ya que él, lo había patentado antes, así fuera de forma anual. Lamentablemente, descubrió que toda la documentación referida a su patente se había perdido misteriosamente (las cosas no han cambiado mucho desde entonces). Como se puede ver; la compañía de Bell era muy poderosa.

Siguieron muchos años de litigio, incluso se descubrió que había habido sobornos de por medio. Todo esto llevó a que el Gobierno de los Estados Unidos acusara de fraude a Graham Bell, quien por sus muchos recursos pudo demorar el proceso hasta la muerte de Meucci en 1889.

Aunque tardíamente, se está dando a Meucci el justo reconocimiento. En el año 2002, en un número del Boletín Oficial de la Cámara de Representantes de los Estados Unidos, se reconoció a Meucci como el verdadero inventor del teléfono.

El nacimiento del teléfono estuvo muy relacionado con la evolución del telégrafo. Este sistema creado en 1837 por el norteamericano Samuel Morse, fue de inmensa utilidad y popularidad durante el siglo XIX y parte del XX, llegando a realizar conexiones trasatlánticas en 1866.

Mucho antes de inventar el telégrafo, Morse se encontraba pintando (era pintor y fotógrafo) un retrato del gene-

ral Lafayette en Washington, cuando falleció su esposa en Connecticut. La noticia le llegó con una semana de atraso. La demora con que había llegado la información, lo puso a pensar en un sistema de comunicación más rápido y directo.

Basándose en los adelantos que se habían hecho en el *electromagnetismo*, comenzó a desarrollar el telégrafo eléctrico. Éste fue terminado en 1837, y consistía en transmitir por un cable pulsos eléctricos; unos cortos y otros largos, que llevaban el alfabeto cifrado en código Morse, también creado por el inventor. En el lugar de destino se descifraba el mensaje. Un mecanismo electromecánico traducía los pulsos a una secuencia de rayas y puntos, impresa en una cinta de papel, que era leída por un traductor del código Morse.

El telégrafo y el código Morse comenzaron a usarse 7 años después de su invención. La primera comunicación se hizo el 24 de mayo de 1844 entre Washington y Baltimore, y el mensaje que se envió fue: “*Lo que Dios ha creado*” (parece que Morse no era muy modesto).

Las mejoras en el telégrafo, como fue la transmisión de varios mensajes de forma simultánea, por un solo cable, entre otras, abonaron el campo para el nacimiento del teléfono.

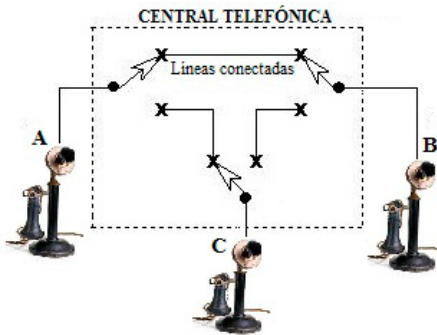
Regresemos al teléfono. El primer abonado al servicio telefónico, incluso antes que el de la Casa Blanca, fue un fabricante de material eléctrico de Boston; conectó su taller con su casa. Estos terminales fueron los números: “1” y “2”, que muestran lo primitivo del sistema, ya que se asignaban por



**Central
Telefónica
manual**

pares, con una línea que se construía expresamente para unir ambos terminales. Así; si se quería hablar con diferentes casas u oficinas, había que contratar igual número de tendidos y, pares de aparatos. El proceso de llamada, igualmente, era muy primitivo, había que silbar en el audífono para alertar que se estaba llamando (actualmente hay un "ringtone" que es así). Después, los interlocutores se turnaban para hablar y escuchar, ya que disponían de un único dispositivo para la salida y entrada del sonido. Algo así, como el teléfono de juguete que antes hacían los niños, uniendo dos vasos plásticos con una cuerda.

Pero, en Estados Unidos, esta situación empezó a cambiar en 1878, con la primera central telefónica, la cual era operada manualmente. Fue un gran avance; los abonados, al menos en las metrópolis, en vez de estar conectados en líneas independientes, quedaban entrelazados en redes, y las conexiones las hacían operadoras (siempre se empleó mujeres) que enchufaban y desenchufaban clavijas en enormes paneles repletos de conectores. De esa forma conectaban el teléfono de quien llamaba con el del número solicitado.



También inventó la expresión: ¡ALÓ!

La central telefónica manual fue inventada por Tivadar Puskás, un húngaro perteneciente a la nobleza de su país. Estaba Puskás en Estados Unidos proyectando mejoras para el sistema telegráfico, cuando Alexander Graham Bell,

patenta el teléfono. Esto lo llevó a adoptar un nuevo enfoque a su obra, y decidió ponerse en contacto con el inventor estadounidense Thomas Alva Edison, a quien le expuso su idea de construir una central telefónica. Según refiere Edison; "Fue Tivadar Puskás la primera persona en sugerir la idea de una central telefónica".

La idea de Puskás se materializó en 1877 en Boston. Y con el nacimiento de la central telefónica, también nació la expresión “ALÓ” para atender las llamadas. Puskás al contestar a la persona que llamaba, entusiasmado gritó en húngaro: “hallom”, que significa “te escucho”.

En vida, Tivadar Puskás no tuvo el reconocimiento que su aporte merecía. Sin embargo, en el 2008, el Banco Nacional de Hungría emitió una moneda conmemorativa en honor de Puskás.

Con la incorporación de las centrales se produjo un aumento significativo en el número de usuarios, lo cual a su vez, trajo otras novedades, como fueron: el directorio telefónico voluminoso, y la sustitución de los nombres de los abonados por números, pues, aunque las operadoras de las comunidades pequeñas conocían a sus vecinos, esto no ocurría en las grandes ciudades.



De 1980 a 1920

Varias mejoras tecnológicas también se aceleraron en el resto del siglo XIX. Se crearon los aparatos con un auricular y un transmisor, lo que permitió hablar y escuchar al mismo tiempo. Esto fue posible gracias a la introducción del doble cableado, que, además, redujo las interferencias. Otro avance fue el uso del micrófono de carbón que optimizó la calidad del sonido. Pero, los teléfonos domésticos todavía estaban alimentados por una batería, y había que recargarla con una manivela. Con el tiempo el suministro de energía fue proporcionado por las centrales a través de la propia red.

Estos progresos también acarrearón problemas no previstos, como las escuchas por parte de las operadoras, violando la privacidad del cliente. Y el que llevó a la creación de las centrales automáticas. Que reseñamos a continuación.

Un pleito entre funerarias, dejó sin trabajo a un montón de mujeres

Almon Strowger era un empresario que tenía una funeraria en Kansas City. Un día, sin saber el porqué, su negocio comenzó a perder clientes. Cavilando concluyó que el único cambio en el negocio, había sido, unos meses atrás, la contratación de una línea telefónica, que, en teoría, tenía que haber servido para aumentar el número de clientes, y no para disminuirlo. No entendía la razón de este efecto negativo, hasta que se descubrió que una de las operadoras de la central telefónica local, era la esposa de un propietario de la competencia, y todas las llamadas solicitando los servicios de una funeraria iban a su competidor. Strowger elevó su reclamo a los superiores de la operadora, pero no hicieron nada. Así que, decidió arreglarlo por sí mismo.



Finales del XIX
y comienzos
del XX

Su idea era crear una central automática para evitar el desvío interesado de llamadas, y prescindir de las operadoras, que además, también gustaban de escuchar conversaciones. Strowger, diseñó e hizo una maqueta de su invento, y gracias a los conocimientos en electricidad de su sobrino William, la hicieron

funcionar. En 1889 solicitaron la patente, que les fue concedida en 1891. Ya con la patente, buscaron un socio capitalista que pudiese financiar la fabricación y comercialización de su invento. El 3 de noviembre de 1892 se instaló en La Porte (Indiana) la primera central telefónica automática, con capacidad para 99 abonados. La presentación fue todo un éxito, y algunos la bautizaron como: *La primera central telefónica sin una sola falda*.

Se hizo mejoras que aumentaron considerablemente la capacidad de las centrales, lo cual produjo un crecimiento en su cantidad y cobertura, llegando a Europa en 1898.

Ese mismo año Strowger decide dejar el negocio: vendió la patente por 1.800 dólares y su participación en la empresa por 10.000 dólares. Se retiró a Florida y, otra vez, volvió a montar una funeraria (se ve que eso era lo suyo). Falleció el 26 de mayo de 1902, a los 62 años.

En 1916 la compañía de Bell compró el invento de Strowger por 2,5 millones de dólares.

En el siglo XX se aceleró el crecimiento del prodigio tecnológico de la telefonía. Estados Unidos estrenó el siglo con tres millones de usuarios y un terminal por cada 60 habitantes. Europa también mostraba una expansión colosal, en Suecia había un aparato por cada 115 personas. Se optimizó la interconexión de las centrales, y aparecieron los teléfonos con rueda de marcación, que aceleraron las llamadas locales. Esto disminuyó, aun más, la labor de las operadoras, que se centró en las llamadas de larga distancia. Éstas se realizaban desde cabinas especiales, con aparatos diferentes a los domésticos. La conexión tardaba en enlazar alrededor de 15 minutos, ya que las operadoras tenían que vincular una central con otra, y ésta con otra más, hasta llegar al destinatario de la llamada.



Década del 60

A su vez, con la llegada de la radio quedó obsoleto el “Periódico Telefónico”, vigente desde la década de 1890 y de gran éxito en Europa. Consistía de un servicio de noticias, música y lectura de novelas, que funcionaba con solo levantar el auricular.

En los años veinte se introdujo un nuevo teléfono mejorado, con el transmisor y el receptor integrados en un único tubo, pero, todavía conectado a una caja que contenía los componentes electromecánicos y la campanilla del ring. En la década siguiente, estos componentes se colocaron dentro de la base del aparato. Otros cambios fueron: la introducción del “tono” al descolgar el aparato, lo que indicaba que ya se podía marcar el número deseado. Y los prefijos para

la conexión directa con las diferentes regiones dentro de un mismo país. Las llamadas internacionales tendrían esta automatización un tiempo después, con la llegada del cable submarino en los años cincuenta. Y en los sesenta, con la puesta en órbita de los satélites de telecomunicaciones Te-lstar.

En los sesenta, también aparecieron los teléfonos con teclas en vez del disco de marcar, y los modelos inalámbricos (híbridos de teléfono y radio). Más tarde en los setenta llegó el "fax" que permitía mandar y recibir documentos (textos o imágenes) por vía telefónica.

El fax consiste de un escáner, que digitaliza textos e imágenes del documento original (los convierte en una serie de valores numéricos: ceros y unos), un módem, que permite la conexión vía telefónica con otro aparato similar; y la impresora, que al recibir un nuevo documento lo imprime en un papel, produciendo una copia del documento transmitido.

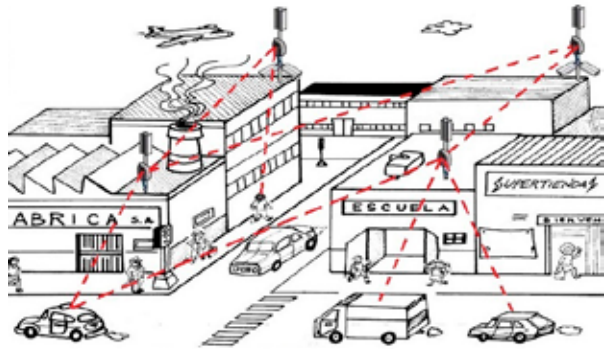
¿Por qué se le llama "celular"?

Todos estos avances se universalizaron al comienzo de los ochenta, pero muy rápido fueron eclipsados por un salto tecnológico aun mayor; la telefonía móvil. Su impacto en la sociedad no puede ser más contundente. Los teléfonos móviles son coprotagonistas, junto a las computadoras e internet, de la revolución digital y, la consecuente era de la información. La telefonía móvil elevó a cotas insospechadas la comunicación a distancia, con una portabilidad y multifuncionalidad nunca imaginadas. Un elemento fundamental para esta evolución, que liberó el flujo de información del cable de transmisión, fue la aplicación del concepto de *red de células*, en el que cada antena repetidora de la señal constituye una célula que cubre un espacio determinado. El área de cobertura, queda ensamblada por una inmensa *red de células*. La señal se transmite pasando de una célula a

otra célula (de ahí, la denominación “*celular*”). Esto asegura la continuidad de la cobertura, ya que la señal pasa de una antena a otra. Además, permite a los celulares funcionar eficientemente con pilas pequeñas, porque no hace falta alta potencia de la señal de salida para llegar a la antena repetidora. Siempre hay una cerca.

Celular ¡delator!

Cabe comentar, que este sistema de *células* en la telefonía móvil, fue de gran ayuda para esclarecer un crimen cometido en julio de 2008. Los registros de la actividad del celular, desmontaron dos coartadas del siquiatra Edmundo Chirinos, quien estaba siendo investigado por el asesinato de una de sus pacientes. Pero; mejor, transcribamos unos fragmentos del libro *Sangre En El Diván*, que escribió la periodista Ybéyise Pacheco, después de un acucioso trabajo de investigación sobre este impactante caso.



Esquema de Red de Células

... “La telefonía es capaz de decir no sólo con quién hablas, sino dónde estás, cuál es tu ruta, inclusive hay expertos que pueden determinar a qué velocidad te desplazas. Pasa de una antena a otra: una te desatiende y enlazas con la siguiente. Ahí se determinó que efectivamente la ruta era la que ella (la víctima) le había dicho a su amiga, así como la ruta de Chirinos, desde el Country Club, hasta el consultorio”.... “Cuando él estaba en fuga, que tenía la orden de aprehensión, nosotros le estábamos haciendo seguimiento por telefonía. Y él se movía en esa zona, de Santa Fe, Caurimare, porque a pesar de que mantenía el teléfono apagado, cometía la torpeza de

prender el teléfono para oír los mensajes; se activaba la antena, y podíamos saber por dónde andaba".....



Primer móvil de Motorola

Regresemos al teléfono móvil: el primer teléfono móvil lo presentó Motorola en 1973; un inmenso aparato analógico (del tamaño de un zapato de número grande), que pesaba más de un kilo, y la batería se agotaba a los 20 minutos de uso. Más que un teléfono, fue un símbolo de estatus.

Los móviles de primera generación, o 1G, debutaron en los ochenta. Se basaban en transmisiones celulares, pero todavía analógicas. Apareció el "roaming", o cobertura internacional.

En los noventa se generalizó definitivamente el uso del celular con el surgimiento de la 2G, de naturaleza completamente digital y basada en un estándar casi universal: la red GSM (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles). Los celulares fueron más pequeños, gracias a la evolución de los microchips, las baterías y los circuitos impresos. Los dispositivos 2G, además de mandar y recibir mensajes SMS, podían hacer de agenda, calculadora, cámara de fotos y de video, reproductor MP3, y los modelos más avanzados podían acceder a Internet. Pero, los contenidos multimedia, cada vez de mayor tamaño, obligaban una mayor capacidad de memoria, y mayor velocidad en transmisión de datos. Este problema dio nacimiento a los móviles de tercera generación; 3G que estaban especialmente concebidos para navegar en Internet y descargar contenidos de banda ancha; "smartphones" o teléfonos inteligentes, basados en plataformas de lo más variadas. El Smartphone Black-berry, el táctil iPhone o el sistema operativo Android, son algunos de los representantes de esa generación.

Mientras tanto, la telefonía fija terminaba su digitalización y su interconexión global, integrándose al tránsito de la información con las ya llamadas nuevas tecnologías.

Hoy en día, los Smartphone han equiparado la navegación por internet desde un móvil con la de cualquier PC convencional, integrando al usuario a la red global de comunicaciones y flujo de información, por medio de redes sociales y aplicaciones, como: Instagram, Facebook, WhatsApp, Telegram, Periscope, etc. Además de servir con eficacia como un GPS, disponer de programas y aplicaciones, que antes solo se podían usar en un PC, y muchas otras prestaciones.

Actualmente la tecnología 4G es diez veces más rápida que la 3G. Y los avances continúan desarrollando la generación 5G.

Las cosas han cambiado mucho desde aquel presidente que no tenía quien le llamara.

¡HÁGASE LA LED! Y SE HIZO LA LUZ Y LA PANTALLA DE MI CELULAR



En Toulouse (Francia), se emplea la tecnología LED para iluminar las zonas más emblemáticas de su centro histórico.

ILUMINACIÓN LED

Cada día es mayor el uso de diodos o luces LED, por su capacidad de adaptación a diversos tipos de aplicación, no solo para iluminación, sino también, para efectos especiales de decoración, pantallas de alta resolución en variedad de tamaños, desde gigantes hasta las usadas en celulares, instrumentos de medición, computadoras, etc.



Fig. 1

Un diodo es un dispositivo que permite el paso de corriente en un solo sentido, y un diodo LED (Fig.1 Lámina iluminada dentro del bombillo) trabaja como un diodo normal, pero, el material semiconductor del que está hecho, al permitir el paso de corriente eléctrica emite energía, parte de ella en calor, y parte en forma luminosa, a este efecto se lo llama “electroluminiscente”. Según el material del que esté elaborado será el color de la luz que proyecte. (Fig. 2) Debido a su pequeño tamaño los diodos LED se pueden armar en tiras rígidas o flexibles (Fig. 3), y al controlar la emisión tanto en intensidad como en color, se logra una inmensa gama de efectos. Además, pueden emitir gran potencia de iluminación sin aumentar su temperatura ni requerir un consumo excesivo de energía.



Fig. 2

De allí su amplio uso en iluminación, decoración, espectáculos y, hoy en día, en los faros de los automóviles. En la figura 4 se muestra los componentes básicos de un bombillo LED para uso doméstico. Tal vez, por razones de “marketing” se mantiene la apariencia del bombillo incandescente tradicional.



Fig. 3



Fig. 4

Los LED tienen otra diferencia fundamental con las luces ahorradoras y es que son reciclables y no poseen elementos tóxicos. Los bombillos ahorradores contienen vapores de mercurio, por lo cual cuando se los reemplaza se los debe desechar sin romperlos.

Ahorro energético

En comparación con la iluminación tradicional los diodos LED proporcionan un ahorro energético entre un 80 y 90%,

lo cual por supuesto, se ve reflejado en el gasto por energía eléctrica, siendo uno de los factores tomados en cuenta tanto en el hogar como en los comercios o industrias. Esto se debe a que el 80% de la energía que consume un LED se transforma en luz, mientras que las bombillas tradicionales solo transforman el 20% de esa energía, el resto se transforma en calor, y aparte de calentar el ambiente, necesitan más energía para poder emitir la cantidad de luz necesaria.

Vida útil

Otra de las grandes ventajas de la iluminación LED es su larga vida útil frente a la iluminación tradicional. Cuando una bombilla tradicional puede tener un tiempo promedio de uso de 5000 horas (si es hecha en China mucho menos) una Bombilla LED la tendrá muy aproximadamente; de 100.000 horas. Esto es una enorme diferencia que también se aplica a los diodos LED en sí, pues estos no se queman o dejan de funcionar de repente como las luces tradicionales, sino que van disminuyendo su intensidad de iluminación muy poco a poco.

Alumbrado exterior

Para lograr el led blanco usado en alumbrado exterior, se utiliza la tecnología de recubrimiento fosfórico sobre un led de emisión lumínica azul, por esta tecnología los investigadores japoneses Isamu Akasaki, Hiroshi Amano y Shuji Nakamura fueron galardonados con el Premio Nobel de Física en 2014.

Dicho recubrimiento fosfórico trabaja a modo de filtro. Cuanto mayor sea la capa de fósforo, estaremos ante un led de blanco más cálido, mientras que a la inversa, cuanto menos filtro tenga el led, el blanco será más frío. De esta manera se consiguen distintas tonalidades de blanco dentro de la zona considerada como “blanca” en el diagrama de colores perceptibles por el ojo humano.

Leds de Alta Potencia

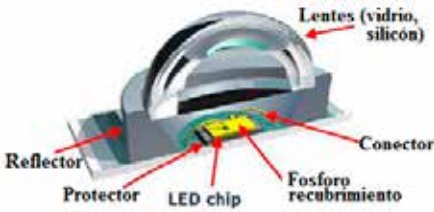


Fig. 5

Son diodos que, en disposición de un solo *chip* LED (Fig. 5) emiten desde 1 vatio hasta 5 vatios aproximadamente, dependiendo del *chip* LED y de la corriente de alimentación. Se usan en arreglos de varios chips.



Fig. 6



Fig. 7

Bajo un análisis técnico este tipo de led es el ideal para su uso en alumbrado público (Figs. 6 y 7), y automotriz, ya que se pueden conformar ópticas específicas para cubrir las necesidades de alumbrado para cada una de estas aplicaciones. También, su vida útil es la adecuada, la cual puede superar las 100.000 horas. Los materiales que conforman dicho LED hacen que su depreciación luminosa sea escasa y, además, tienen una eficiencia que supera cualquier fuente de luz usada hasta el momento en este tipo de aplicaciones.



Fig. 8

Sistema Matricial de Iluminación LED de Audi

Entre las aplicaciones a la industria automotriz, cabe destacar el Sistema Matrix Led, Sistema Matricial de Iluminación LED de Audi (Fig. 8). El sistema aprovecha la alta colimación que se puede lograr con los haces de luz led, y la amplia modulación de su

intensidad. Cada faro está formado por una matriz de unidades led independientes (Fig. 9). El faro detecta la luz delante del vehículo y manda la información a un ordenador, el cual prende y apaga las unidades led dirigiendo y dosificando la luz según la necesidad de alumbrado, evitando deslumbrar a los conductores (lo opuesto pasa en Venezuela) de los otros vehículos que se encuentren delante, los cuales son alumbrados con luz indirecta de baja intensidad (Fig. 10). El número de combinaciones posibles para distribuir la luz óptimamente, tanto en dirección como en intensidad es del orden de 5 millones.



Fig. 9



Fig. 10



Fig. 11

La figura 11 muestra una comparación entre el sistema tradicional y el Sistem Matrix Led de Audi.

(Se puede ver el funcionamiento de esta maravilla tecnológica, en: <https://youtu.be/HhmWBczRszg>)



Fig. 12

debe, ni tienen efecto estroboscópico (no titilan) y ofrecen una luz totalmente uniforme en cualquier ambiente en el que se usen, ya sea en interiores o exteriores (Fig. 12).

Luz uniforme

Debido a que el avance de la tecnología LED ha logrado producir luz de mayor variedad de colores más nítidos, puros, e intensos, estos sistemas de iluminación LED, así perfeccionados, no emiten ningún resplandor,

Diversidad de colores

Como ya indicamos, los diodos LED emiten una luz de color distinto según el material con el cual es elaborado su semiconductor. El perfeccionamiento en la tecnología LED ha permitido que se puedan lograr infinidad de colores con la adecuada combinación de



Fig. 13

los diodos, de ahí su uso en pantallas para entretenimiento o publicidad, en todos los tamaños y en cualquier ambiente,

sin importar la iluminación circundante (Fig. 13). El efecto LED, además, permite el enfoque direccional de los haces de luz de colores de forma individual o en grupo, según la tecnología digital que se le aplique. Esta ventaja en comparación con la iluminación tradicional ha permitido que los LED tengan un amplio



Fig. 14

uso en decoración ambiental tanto privada (Fig. 14), como en lugares públicos.

Hoy en día es muy común ver en presentaciones musicales el uso de tiras de diodos LED, las cuales son unidas a

un sistema digitalizado que permite que las luces enciendan y apaguen al ritmo de la música de forma automática y además sin emitir calor, lo cual es muy importante cuando están en un escenario donde la temperatura puede ser un factor perjudicial. Las luces blancas que se usan en industrias y hogares para lograr una mejor iluminación, también buscan un estilo decorativo que no se tienen con las luces tradicionales, ni con las ahorradoras.

LOS LED Y LAS PANTALLAS DE LOS CELULARES

Actualmente las pantallas de los dispositivos electrónicos, principalmente de los celulares, son de dos tipos: de **Cristal Líquido (LCD)**, o de **Diodos Emisores de Luz (LED)**. Por lo cual es de utilidad conocer lo básico de su funcionamiento, y comparar las prestaciones de cada clase.

Para no desviar el interés del lector, seremos muy breves en la explicación de una propiedad de la luz: *la polarización*, y en exponer lo fundamental de la naturaleza y propiedades de los Cristales Líquidos. Esto lo hacemos para explicar con claridad y sencillez el funcionamiento de las pantallas de *Cristal Líquido*, protagonistas de este cuento.

Polarización de la luz

Usemos como modelo ilustrativo las ondas producidas en una cuerda. Si se mueve hacia arriba y hacia abajo el extremo de una cuerda tensa como en la figura, la onda recorre la cuerda oscilando en un plano vertical (Fig. 15). Se dice que esa onda está **polarizada**; *polarizada verticalmente*. Si la movemos hacia los lados, produciremos una onda *polarizada horizontalmente*. Igualmente, la luz, que es una onda, puede estar polarizada, o, mejor dicho, se puede polarizar.

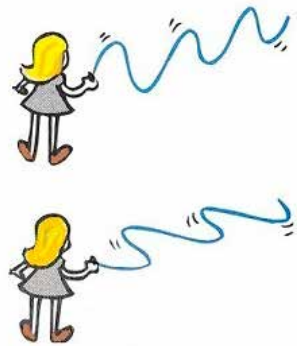


Fig. 15

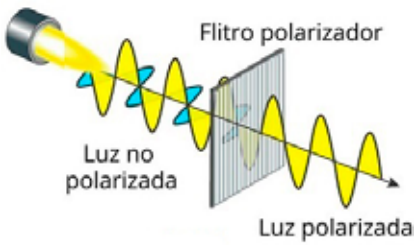


Fig. 16

rá *linealmente polarizada*. Varios procesos pueden producir este efecto, uno de ellos es hacer pasar la luz no polarizada a través de un *Polarizador*;

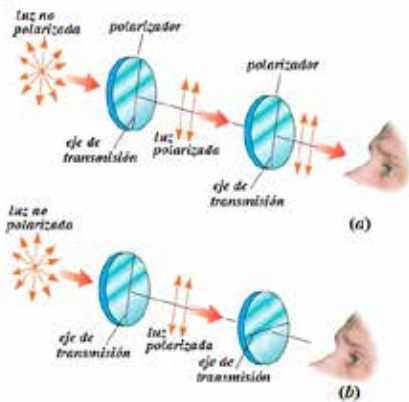


Fig. 17

sí (se dice que están cruzados) la luz **no pasa** por el segundo polarizador (Fig. 17 (b)). Como lo demuestran las fotos de la



Fig. 18

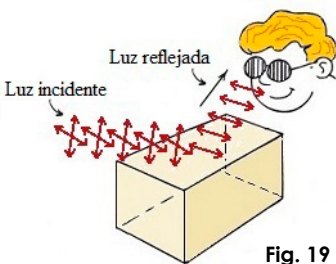


Fig. 19

Una fuente común de luz como una lámpara, o la llama de una vela, emite luz que no está polarizada, pero, se la puede ordenar, de modo que tenga una única dirección de oscilación (la dirección de vibración del campo eléctrico, que la conforma) entonces, la luz estará *linealmente polarizada*. Varios procesos pueden producir este efecto, uno de ellos es hacer pasar la luz no polarizada a través de un *Polarizador*; una película transparente que deja pasar solamente la luz que tiene determinada dirección de oscilación, como se ilustra en la figura 16. Cuando se disponen dos filtros polarizadores, de tal manera que sus ejes de polarización estén paralelos, la luz **pasa** por ambos polarizadores (Fig. 17 (a)). Pero, si sus ejes están en ángulo recto entre

sí (se dice que están cruzados) la luz **no pasa** por el segundo polarizador (Fig. 17 (b)). Como lo demuestran las fotos de la figura 18. Una aplicación práctica de este comportamiento de la luz, es atenuar o, evitar por completo el encandilamiento producido por la luz reflejada. Gran parte de la luz reflejada en superficies no metálicas está polarizada con su plano de polarización paralelo a la superficie que la refleja. En consecuencia, el resplandor proveniente de las superficies reflectoras puede disminuirse en gran proporción usando lentes Polaroid, estos lentes los conforman vidrios polarizadores, los cuales tienen su eje de polarización en dirección vertical,

porque gran parte del resplandor que vemos proviene de reflejos en superficies horizontales, como el causado por reflexión en la superficie de la carretera, que tanto afecta a los conductores (Fig. 19).

Nosotros, al igual que la mayoría de los animales, no detectamos el grado de polarización de la luz, solo vemos la intensidad y el color (¡más de un millón de tonos!), pero no; la polarización, sin embargo hay animales que distinguen el grado de polarización, y lo utilizan para su orientación. La luz del cielo tiene diferentes grados de polarización, dependiendo del lugar de donde se emita con relación a la posición del Sol. Esta propiedad la detectan las abejas y la usan como “brújula óptica” para su orientación. Las abejas también se orientan con el campo magnético de la Tierra y la luz ultravioleta.

Cristal Líquido

Los *cristales líquidos*, como su nombre lo indica, comparten características de los líquidos, y de los sólidos cristalinos. Tienen un

orden molecular intermedio entre el sólido ordenado y el líquido desordenado. Combinan el orden y rigidez del estado sólido con la movilidad y fluidez del estado líquido. Como cristal tienen la propiedad de rotar el plano de polarización de la luz que se propague en ellos. En consecuencia, si se encierra un cristal líquido entre dos polarizadores cruzados, la luz pasará o, no, entre ellos, dependiendo de la rotación que le impriman, al plano de polarización de la luz, la orientación de las moléculas del cristal líquido. Felizmente, esa orientación se puede controlar a voluntad haciendo pasar por el cristal una pequeña corriente eléctrica. El emparedado de cristal líquido se hace opaco o transparente, según se conecte, o desconecte la corriente,

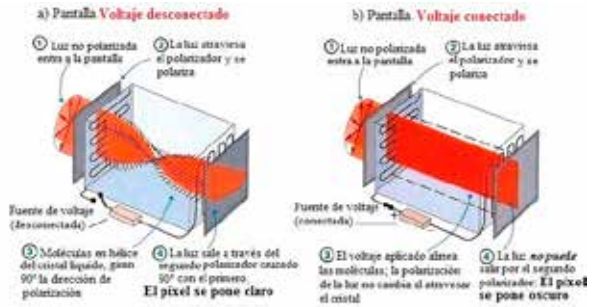


Fig. 20



Fig. 21

como se ilustra en la figura 20. Así, podemos ver los números, por ejemplo; en el reloj digital (Fig. 21): cada pixel (cada barrita) de los siete usados para formar cada dígito, se hace opaco (y se ve negro) o se vuelve transparente (y no lo vemos) cuando una señal eléctrica modula el ordenamiento de las moléculas del cristal líquido.

Gracias a este descubrimiento en 1973, del inglés doctor en Química, George William Gray (1926-2013), los aparatos eléctricos empezaron a ser portátiles. Los primeros display de cristal líquido fueron utilizados en calculadoras y relojes. Podían ser muy pequeños, sin pérdida de definición, y con un consumo de energía insignificante.

Debido a que los avances tecnológicos han logrado nuevas sustancias más flexibles y menos sensibles a las condiciones externas, la actual pantalla de cristal líquido, llamada **LCD**, es más nítida, llena de colorido, y de muy bajo consumo de energía, impulsando la inmensa industria que dota de pantallas a relojes, alarmas, celulares, computadoras, instrumentos de medición, pequeñas y grandes pantallas de televisión. etc.

La pantalla LCD valió para que Gray recibiera muchos reconocimientos, entre ellos: varios Doctorados Honoris Causa, el prestigioso Premio Kyoto en 1995, fue nombrado Comandante de la Excelentísima Orden del Imperio Británico. Y el tren que une la ciudad de Hull, (en cuya universidad desarrolló su carrera de investigador) con la capital londinense, lleva su nombre en la locomotora: George William Gray.

Pantallas OLED

Pero (siempre surge un “pero”) al reinado del cristal líquido le ha salido un fuerte competidor; las pantallas de diodos **OLED**. Un **OLED** (siglas en inglés de organic light-emitting diode) es un diodo emisor de luz fabricado con componentes orgánicos, específicamente polímeros. Las prestaciones

de estos diodos son muy superiores a las de los diodos inorgánicos, principalmente en la fabricación de pantallas. Las capas orgánicas de polímeros de los OLED son más luminosas, con colores más puros y de mayor gama que las de un LED convencional, también, son más delgadas y mucho más flexibles, sobre todo si se los imprime sobre un sustrato plástico. Lo que ha permitido producir pantallas plegables o enrollables y, en el futuro, quizá pantallas sobre la ropa.

Sony es la compañía pionera en la fabricación de pantallas con esta tecnología. El primer televisor OLED del mundo fue el Sony XEL-1, desarrollado en el año 2007 y comercializado en el año 2008.

Por el descubrimiento de los OLED; el químico estadounidense Alan Graham MacDiarmid, el físico estadounidense Alan Heeger, y el químico japonés Hideki Shirakawa. Fueron galardonados con el Premio Nobel de Química del año 2000.

Comparemos las pantallas LCD y OLED, específicamente en el caso de los celulares

La calidad de la pantalla de un celular es uno de sus atributos que más nos atraen cuando vemos la nitidez de la imagen, la variedad de colores, su alta intensidad, y la fidedigna reproducción de imágenes provenientes de diferentes fuentes. Esto ha motivado una sana (lucrativa?) competencia que constantemente mejora las tecnologías para ofrecer pantallas cada vez más sorprendentes.

Una de las tecnologías de punta es la **AMOLED**, (acrónimo en inglés de matriz activa de diodos orgánicos emisores de luz) la cual ha integrado Samsung en sus más recientes dispositivos, concretamente; la **Super AMOLED** que es una versión mejorada. Resaltemos tres propiedades importantes de las **AMOLED**, en comparación con las **LCD** .

1. Menos capas para tener colores más puros

Los pixel de AMOLED emiten su propio color, el color se produce directamente en el cristal sobre el que vemos la imagen, mientras que los de LCD utilizan filtros de colores que son iluminados por otra fuente de luz (Fig. 22), esto hace que se pierda la “la pureza de los colores” y

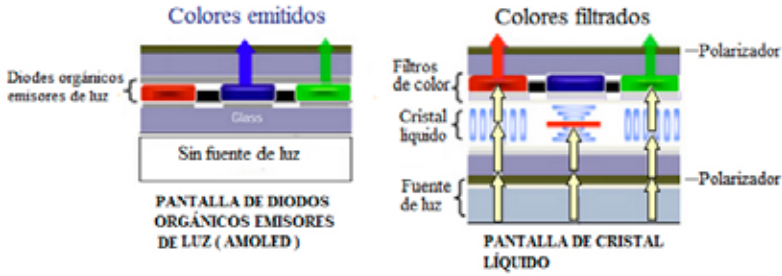


Fig. 22

se emitan con menor intensidad, además de gastar gran cantidad de energía en la fuente de luz que ilumina las capas del display.

También, el reducir el número de capas reflectantes disminuye considerablemente la luz reflejada, permitiendo ver la pantalla sin dificultad, aún en ambientes fuertemente iluminados, como parques o calles bajo la luz del sol, o, en otros ambientes con alta iluminación artificial.

2. Colores más fieles a la realidad



Fig. 23

Las pantallas LCD cubren sólo el 70% del espectro de color RGB (variedad de colores generados por los colores primarios: rojo, verde y azul), lo cual ya es un gran avance en reproducción de imágenes, de hecho para los usuarios de estos dispositivos esta carencia pasa inadvertida; sin embargo, el sistema Super AMOLED cubre poco más del 90% de este espectro. La diferencia se percibe si una misma imagen se observa en una pantalla LCD y en una Super AMOLED (Fig. 23).

3.- Alto contraste: blancos y negros

El alto contraste en una pantalla no depende únicamente de la calidad de los colores, aunque parezca contradictorio, los negros y blancos son determinantes. La diferencia entre los negros en LCD y en AMOLED es que en LCD la luz de fondo del display ilumina toda la pantalla, haciendo que los negros se vean más bien como grises, mientras en AMOLED cada pixel se apaga completamente de forma independiente, esto produce que los “negros” sean realmente negros (Fig. 24).



Fig. 24

Por último, pero no menos importante; el sistema AMOLED permite ver la pantalla desde cualquier ángulo sin que los contrastes ni tonos de los colores se alteren.



The Place, Beijing

La Pantalla Más Grande del Mundo

No tenemos información del tipo de diodos que la conforman, pero, no podíamos cerrar este tema de las pantallas

sin comentar acerca de la pantalla más grande del mundo según el libro de los Récords Guinness. Esta pantalla LED de alta definición está en China, en el centro comercial **The Place en Beijing**, haciendo de techo de la zona comercial. Mide 250 metros de largo y 30 metros de ancho, con un área de 7.500 m², instalada a 25 metros del suelo. La mayor parte del tiempo es un acuario virtual con delfines y tiburones. Pero también, se puede dividir en secciones independientes que reproducen simultáneamente diferentes contenidos, como: películas, televisión por satélite, fotos subidas por los propios visitantes, etc.

LA RADIATIVIDAD: VILLANO EN LA “PELÍCULA MALDITA”

Me motivó a escribir sobre la radiactividad, las consecuencias fatales de la filmación de la película “The Conqueror” (1956) (<https://spoilertime.com/el-conquistador-the-conqueror-analisis-howard-hughes/>). Tanto así, que Howard Hughes productor de la película se arrepintió de ello hasta el último día de su vida.

Debido a la Guerra Fría, era imposible filmar la película “The Conqueror,” en Mongolia, la locación real según el guion, en consecuencia, se eligió un lugar cerca de la ciudad rural de St. George, en Utah, que estaba a solo cien millas del sitio de pruebas nucleares de Nevada. Las autori-

dades federales dijeron que era un lugar seguro, entonces, el elenco y el equipo se instalaron en la ciudad, llenando todos los hoteles y moteles. Los habitantes locales también fueron elegidos como extras. Ignoraban que el Snow Canyon, principal sitio de filmación, estaba contaminado con radioacti-



vidad. El año anterior, dentro de un programa de pruebas de armas nucleares, se habían detonado once bombas atómicas produciendo aire tóxico que el viento llevó a Utah.

Después de 13 semanas de filmación en esa locación, y ya estando en el estudio, el director requirió nuevas grabaciones que simularan el desierto de Mongolia, como regresar con todo el elenco era muy costoso, Howard Hughes envió excavadoras a Snow Canyon y llevó más de 60 toneladas de arena contaminada al estudio de Hollywood para terminar el rodaje, exponiendo al elenco y al resto del equipo a dosis más altas de radiación.

Lo impactante y trascendental de "The Conqueror" no fue su calidad, la cual según los entendidos fue muy baja, ni su maravilloso elenco de estrellas, sino; el cortejo de muertes que origino. Se sabía de las pruebas nucleares del lugar, pero, en ese tiempo se desconocía la intensidad y alcance de esa radiación, y sus efectos en la salud del ser humano. Esto originó que de 220 personas que participaron en la producción, ya sea en el desierto, o en el set con arena de **Utah, 91 enfermaran de cáncer, de las cuales 46 murieron al poco tiempo, y el resto en los siguientes 30 años. Un 50% de muertes por cáncer está lejos de ser simple coincidencia, máxime, si** en el año 2007 se midió la radiación en varios lugares cercanos a St. George encontrando, todavía, altos niveles de radiactividad.

Transcurridos **8** meses después que la película se estrenara y a dos años de su producción, el compositor de la música de la película, **Victor Young**, murió a los 56 años por una hemorragia cerebral fulminante debido a un cáncer de cerebro. El **2 de Enero de 1963** el director de la película **Dick Powell** muere por un linfoma generalizado. Ese mismo año el actor mexicano **Pedro Armendáriz** se suicida a los **51** años de edad, con un balazo en el pecho al enterarse de lo irremediable de su cáncer de riñón. En **1975** la actriz **Susan Hayward** muere a los **56** por un irremediable cáncer de cerebro con múltiples metástasis. **John Wayne** en **1978** desarrolló un cáncer de estómago. La enferme-

dad invadió el páncreas e hígado del actor, muriendo el **11 de junio de 1979** después de cumplir **72 años**. **Agnes Moorehead** muere de cáncer de útero en **1974**.

La lista de muertes por cáncer siguió por los próximos **30 años** para 91 personas de 220 que participaron en la producción.

En 1980, el doctor Robert C. Pendleton, jefe de radiología de la salud de la Universidad de Utah, calificó de epidemia catastrófica la producción de “The Conqueror”. Ya que para 1983 la mitad de los integrantes de la producción habían muerto de cáncer.

El productor **Howard Hughes** se sintió culpable por haber producido una película con nefastas consecuencias; la mantuvo enlatada luego de comprar todas las copias a un costo de **12 millones de dólares**.

Una muy breve y necesaria descripción.

Para escribir un artículo como este, encuentro que es imprescindible el uso de ciertos términos que describen elementos y procesos de física nuclear. El uso de estos términos, una vez definidos, evita o, abrevia largas explicaciones. Por tal motivo se hará una sucinta y cualitativa definición y explicación de ellos.

El átomo está formado por un núcleo con carga positiva, y una nube de electrones con carga negativa, que lo rodean. La mayor parte del átomo



Fig. 1 Modelo del átomo. Núcleo (neutrones y protones) y nube de electrones cuadrantes.

es espacio vacío ya que el núcleo ocupa pocas ¡¡trillonésimas!! del volumen de un átomo. El núcleo está conformado principalmente, por partículas muy aproximadamente de la misma masa, llamadas **nucleones**, estas son de dos tipos: **protones** que tienen carga positiva, y **neutrones** que no tienen carga.

Más del 99% de los átomos del ambiente que nos rodea son estables, esto es; los núcleos de dichos átomos no cambiarán nunca. Sin embargo, algunos átomos son inestables y sus núcleos se desintegran espontáneamente con emisión de rayos, este proceso se conoce como **radiactividad**.

Estos elementos *radioactivos* emiten tres clases de radiación: α , β y γ (*alfa*, *beta* y *gamma*, respectivamente). Los rayos **alfa** son partículas con carga positiva, están conformados por 2 protones y 2 neutrones; los **beta** son electrones, por lo cual tienen carga negativa, y, los **gamma** no tienen carga,

son ondas electromagnéticas como los rayos X, pero de mayor energía. Debido a sus diferentes tipos de carga estas clases de radiación pueden ser separadas por un campo magnético como se ilustra en la figura 2.



Fig. 2 Partículas emitidas en el decaimiento radiactivo

Las partículas **alfa** al ser las más pesadas son las que tienen menor penetración, pudiendo ser detenidas por unas cuantas hojas de papel. Las partículas **beta** atraviesan el papel con facilidad, pero, son detenidas por una lámina delgada de aluminio. Los rayos **gamma** solo pueden ser detenidos por varios centímetros de plomo.

Isótopos: *Gemelos, unos más gordos que los otros.*

Las propiedades químicas de los elementos son determinadas por el número de protones en su núcleo, así; el hidrógeno, es tal, porque posee un protón, el neón posee 10 protones, el uranio 92, etc. Pero, no todos los átomos de un determinado elemento son iguales, porque pueden diferir en el número de neutrones, esto es; en su masa (ser unos más gordos que otros). Así, 10 protones y 10 neutrones dan lugar al neón, al igual que 10 protones y 12 neutrones forman una clase diferente de neón. Cada uno de ellos es un **isótopo** del neón.

Todos los elementos tienen una variedad de **isótopos**, algunos son estables y perduran en el tiempo, otros son radiactivos y por ello, son transitorios; decaen emitiendo radiación y transmutándose en otro elemento.

Todos tenemos radiactividad aunque no tomemos cerveza.

Hay un temor a la radioactividad, y este miedo a menudo sustenta la oposición al uso de la energía nuclear. De hecho, la mayor parte de la radiación es natural y la vida en la Tierra sería muy difícil sin ella. Con el uso de la energía nuclear y la medicina nuclear, simplemente hemos aprovechado la radiación para nuestro propio beneficio, como lo hacemos con el fuego y la electricidad, que tienen gran poder destructivo. O con las propiedades medicinales de las plantas, que también pueden hacer mucho daño.

La radioactividad es una importante fuente de calor en el interior de la Tierra, manteniendo su núcleo de hierro fundido, que es un gigantesco dínamo que produce un campo magnético lo suficientemente fuerte como para ser escudo protector de la radiación cósmica, que podría acabar con la vida. La desintegración radiactiva es la que calienta el agua que sale de un géiser, o los manantiales de aguas termales. Sin esta radiactividad, la Tierra se habría enfriado hasta

convertirse en un globo rocoso muerto con una bola de hierro fría en el centro y, tal vez, la vida no existiría.

La fuente de la mayor parte de la radiación que nos rodea se debe a los elementos radiactivos que se formaron junto con la Tierra, o antes. Está en el suelo, y en los ladrillos y piedras de los edificios. Cada tonelada de granito común contiene en promedio unos 20 gramos de torio y 9 de uranio (no se asuste). También, recibimos radiación por rayos cósmicos provenientes del espacio exterior. A nivel del mar, la atmósfera reduce la intensidad de estos rayos, pero, a mayor altitud es más intensa. En Caracas una persona recibe aproximadamente el doble de radiación cósmica que a nivel del mar. Esta radiación es un factor que se considera para limitar las horas de trabajo del personal de las aerolíneas. La radiación del espacio también contribuye a la formación de elementos radiactivos al interactuar con núcleos en la atmósfera superior y con algunos de la superficie.



Fig. 3 Nueces de Brasil. El alimento más radiactivo

Estos elementos, que incluyen formas de: hidrógeno, carbono, aluminio, potasio, entre otros, son absorbidos por las plantas, y, por ende, se encuentran en alimentos como: plátanos, frijoles, zanahorias, papas, maní, nueces de Brasil (el alimento común más radiactivo), etc.

De hecho, nuestro organismo contiene unos 200 gramos de potasio. De esta cantidad aproximadamente 20 miligramos son de potasio 40, un isótopo radiactivo. La cerveza, por ejemplo, contiene ese isótopo, pero, es una décima parte de la que se encuentra en el jugo de zanahoria. Esa forma radiactiva de potasio emite a medida que se desintegra, rayos gamma de alta energía que escapan del cuerpo humano. A esto se debe sumar las 3.000 partículas beta por segundo, emitidas por el carbono 14 que tenemos en el organismo.

Como se puede ver; nosotros **somos radiactivos**, aunque dejemos de tomar cerveza.



Fig. 4 La radioactividad es lo que menos importa

Como vemos, no somos conscientes de la presencia de radiactividad en nuestro entorno, sin embargo, nuestros cuerpos evolucionaron para vivir con ella, de lo contrario no estaríamos aquí. Nuestras células han desarrollado mecanismos de protección que reparan el ADN ante daños causados por radiación.

¿Por qué algunos átomos son radiactivos?

Los protones, debido a que todos tienen la misma carga, en este caso positiva, se repelen fuertemente, pero, no salen despedidos del núcleo porque hay una fuerza todavía más intensa que los une: la *fuerza nuclear*. Tanto los protones como los neu-

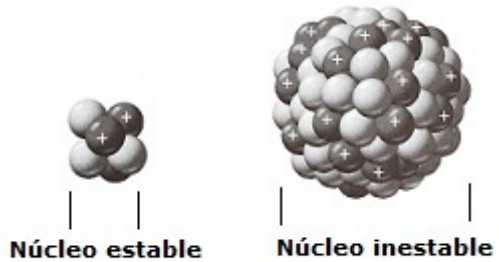


Fig. 5

trones están unidos entre sí por esta formidable fuerza de atracción. Pero, esta fuerza solo actúa a distancia muy corta, cuando los nucleones están muy cerca, dejando de unirlos cuando están a mayor separación. Por otro lado, la fuerza eléctrica actúa a distancias grandes. Así, mientras los protones estén muy cercanos entre sí, como en los núcleos atómicos pequeños, la fuerza nuclear de cohesión supera ampliamente a la fuerza eléctrica de repulsión. En los núcleos grandes la fuerza nuclear de atracción puede ser pequeña en comparación con la fuerza eléctrica de repulsión, sobre todo para protones que se encuentren más alejados dentro del núcleo, como los que estén cercanos a la periferia, o en ella, como se ilustra en la figura 5. Como ejemplo tenemos el isótopo de uranio 238 (es el número de nucleones), que tiene 92 protones y 146 (238-92) neutrones. Si este núcleo

de uranio tuviera cantidades iguales de neutrones y protones (92), se desintegraría de inmediato por la repulsión eléctrica entre protones. Los 54 neutrones adicionales sirven de "amalgama" para mantener la estabilidad. Aun así, el núcleo del U238 es inestable y al final, se descompone.

¿Cuánto tardan en desintegrarse?

La tasa de decaimiento de un isótopo radiactivo se mide con su *vida media*. Es el tiempo que tarda en decaer o transmutarse la mitad de la cantidad original de ese isótopo. Por ejemplo, el isótopo: **radio 226** tiene una vida media de 1.620 años. Significa que la mitad de cualquier muestra se convertiría en otros elementos cuando hayan pasado 1.620 años. El **cobalto 60**, usado en radioterapia, tiene una vida media de 5,27 años, y algunos isótopos radiactivos la tienen de menos de una millonésima de segundo, se transmutan inmediatamente.

Transmutación natural.

El decaimiento radiactivo produce una transmutación del núcleo acompañada con emisión de radiación. Como ejemplo, regresemos al uranio 238, que tiene 92 protones y 146 neutrones, este elemento, se desintegra emitiendo una partícula *alfa* (2 protones y 2 neutrones) acompañada con radiación *gamma*, de modo que el elemento que queda tiene 90 protones y 144 neutrones (Fig. 6). **El uranio se ha transformado en un elemento diferente: el torio 234.** Como vemos, en este decaimiento se emite radiación *alfa* y radiación *gamma*.

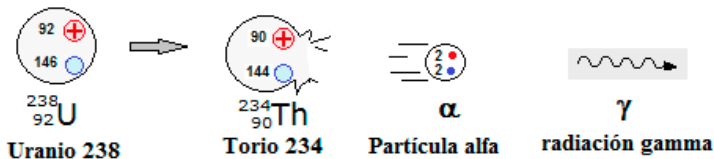


Fig. 6

Este núcleo de *torio*, también es radiactivo y decae emitiendo una partícula *beta* (un electrón) transformándose en un núcleo con 91 protones y 143 neutrones (Fig. 7): el *protactinio*. Además de la radiación beta, se emite un *neutrino*.

Los **neutrinos** son partículas muy livianas que viajan casi a la velocidad de la luz, y el Universo está lleno de ellos, tanto así, que millones de ellos atraviesan nuestro cuerpo cada segundo de cada día, sin ocasionar daño alguno. Solo una o dos veces al año interaccionan uno o dos neutrinos con la materia de nuestro organismo.

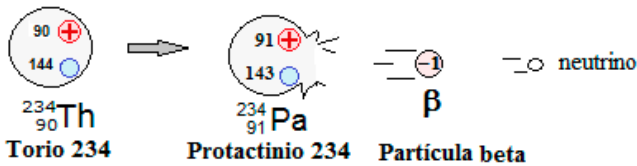


Fig. 7

Fechado con carbono

El acta de defunción del Hombre de Hielo, y los Rollos del Mar Muerto.

También núcleos livianos pueden ser radiactivos, un ejemplo es el carbono 14. Los rayos cósmicos producen en la atmósfera superior reacciones nucleares que liberan neutrones, éstos al incidir sobre átomos de nitrógeno, que tienen 7 protones y 7 neutrones, producen el isótopo *carbono 14* (Fig.8), que tiene 8 neutrones y 6 protones, y es radiactivo, con un tiempo de vida media de 5.730 años. El isótopo más estable y común es el carbono 12, que tiene 6 neutrones y 6 protones. Tanto el carbono 12 como el carbono 14 se combinan con el oxígeno para formar dióxido de carbono, que es absorbido por las plantas, y, a través de la cadena alimentaria llega a los animales. En síntesis; toda materia orgánica (incluyéndonos) contiene carbono 14.

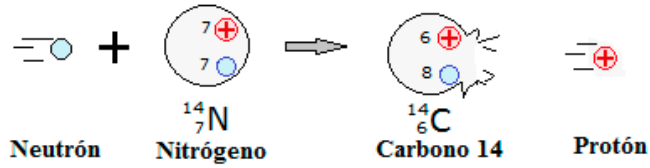


Fig. 8 Formación del carbono 14

Fig. 8 Formación del carbono 14

Lo interesante, como se ilustra en la figura 9, es que el carbono 14 se desintegra emitiendo una partícula beta y convirtiéndose, otra vez, en nitrógeno (otra fuente que nos hace *radiactivos*) Este decaimiento radiactivo registra el *tiempo que lleva muerta la materia orgánica*

El carbono 14 que las plantas pierden por desintegración, lo reponen con más carbono 14 de la atmósfera, que pasa a la cadena alimenticia. De este modo se llega a un equilibrio radiactivo con una relación constante entre carbono 12 y carbono 14. Más o menos un átomo de carbono 14 por cada 100 mil millones de carbono 12. Cuando muere la planta o, el animal, la reposición cesa. Entonces, el porcentaje de carbono 14 disminuye a una tasa constante, haciendo posible conocer la antigüedad de un material orgánico al medir la proporción de carbono 14 que contiene. Por ejemplo: con este método se pudo saber que el *Hombre de Hielo* vivió en 3.300 a C.

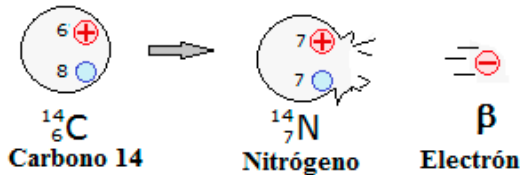


Fig. 9 Decaimiento del carbono 14

El Hombre de Hielo. ¡Hace 5.300 años la gente ya se tatuaba!

El “**Hombre de Hielo**”, también conocido como **Ötzi** (por el lugar donde fue encontrado), fue descubierto entre la frontera de Austria e Italia, el 19 de septiembre de 1991, las capas de hielo permitieron que la momia se conservara en muy buen estado. información contenida en la momia. Citemos lo más relevante:

1. Tenía una estatura de 1.59 cm, alrededor de 46 años y pesaba 56 kilos. Sus ojos eran marrones, su grupo sanguíneo O+, padecía problemas cardiovasculares, era intolerante a la lactosa, presentaba síntomas de artritis, infección en la piel, y parásitos intestinales. Por el polen que tiene se supo que murió entre primavera y verano.
2. Su ADN es muy antiguo ya no figura en las poblaciones humanas modernas. Sin embargo, Ötzi tiene, al parecer, marcadores genéticos con la población actual de Austria, lo que indica que tuvo descendencia en algún momento. Los investigadores que estudiaron el ADN del Hombre de Hielo descubrieron una rara mutación del cromosoma Y conocida como G-L91. Cuando compararon este resultado con casi 4.000 muestras de sangre donadas por personas que vivían en Austria encontraron 19 hombres con la misma mutación que vivían no muy lejos de donde se descubrió a Ötzi. Estos hombres y el Hombre de Hielo tenían los mismos ance-



Fig. 10 Ötzi, un hombre de la Edad del Cobre

tros», dijo el forense Walther Parson en un comunicado de 2013 a la Agencia de Prensa Austriaca.

3. Alrededor de ocho horas antes de su muerte consumió carne de gamuza y ciervo rojo, junto a un cereal (escaña) en forma de pan, semillas de endrino y raíces.
4. En una mano presenta una herida que curó usando musgo, una planta con propiedades curativas procedente de un pantano. ***Lo más curioso es que presenta 68 tatuajes en su cuerpo, distribuidos en; la muñeca izquierda, la zona lumbar de la espalda, la pierna derecha y en la pierna izquierda. Una posible interpretación es que pudieran tener una función mágico-religiosa, por problemas de salud.***

Hace 5.300 años el hombre se tatuaba. ¿Había expertos en esa técnica, y en fabricar la tinta e instrumental necesarios?

5. Las ropas de Ötzi incluían una capa o sobretodo de fibra vegetal, un gorro de piel de oso, un chaleco y calzas de piel de cabra doméstica, taparrabos de cuero y zapatos de cuero tejidos, los cuales eran muy avanzados por ser impermeables.



Fig. 11 Hacha de Cobre

6. El equipo de Ötzi:
 - a. Un hacha de cobre y pedernal con un mango de tejo. Cabe destacar que se creía que la humanidad en el año 3500 a.C. aún no dominaba la tecnología para forjar un hacha de cobre casi puro, y muy bien acabada.

- b. Un cuchillo de pedernal con mango de fresno.
- c. Un carcaj lleno de flechas con los vástagos de viburno.
- d. Puntas de pedernal y un arco inacabado que era más alto que él.
- e. Además de dos especies de hongos; uno de ellos de abedul, que tiene características antibacterianas. El otro era un tipo de hongo de yesca (para producir fuego), incluido como parte de lo que parecía ser un equipo complejo para prender lumbre. El equipo contiene pedazos de diversas plantas, cerca de una docena, además del pedernal y de la pirita para crear chispas.



Fig. 12 Cuchillo de pedernal con mango de fresno

Todo indica que Ötzi murió asesinado, porque que se han encontrado restos de punta de flecha en su pulmón izquierdo, sangre de una persona en su capa, y sangre de otra persona en su cuchillo. Lo que muestra que luchó con más de una persona, hiriendo a una de ellas a cuchilladas.

También se detectó dos tipos de sangre en una misma punta de flecha de su carcaj, esto muestra que alguna vez hirió a dos personas distintas con una misma flecha, y cada vez, extrajo la flecha, sin que perdiera la punta. Por lo cual la calidad de sus flechas era superior a la de sus atacantes, ya que él recibió un flechazo en el omóplato izquierdo, que le alcanzó el pulmón, y al extraer la flecha quedó la punta en su cuerpo. Ötzi tuvo una muerte lenta seguramente por asfixia o desangramiento.

Los Rollos del Mar Muerto

Otro ejemplo es la determinación de la antigüedad de los **Rollos del Mar Muerto**. Estos manuscritos en pergaminos



Fig. 13 Rollos del Mar Muerto

o papiros, fueron descubiertos en 1947 por un grupo de beduinos en las cuevas de Qumrán, en la costa norte del Mar Muerto. Después, en exploraciones que duraron hasta 1956, se fueron hallando en otras cuevas el resto de manuscritos, para un total de 972 manuscritos, unos en arameo y otros en hebreo. Dada su importancia histórica y religiosa se deseaba conocer su antigüedad. La datación por carbono 14 aplicado al material de origen orgánico en que estaban envueltos, determinó que abarcan el período **entre los años 250 a.C. y 66 d.C.** Mostrando que fueron escritos años antes de la destrucción del Segundo Templo de Jerusalén.

El Sudario de Turín

El Sudario de Turin fue mostrado por primera vez cuando fue depositado en la iglesia de Lirey cerca de Troyes en el año **1353**. Para la época en que el Sudario fue expuesto, el obispo de Troyes; Pierre dArcis, amparado en una investigación efectuada por su antecesor, el obispo Enrique de Poitiers, la cual demostró que el Sudario era una falsificación “pintada con astucia” y el artista (que se mantuvo en anonimato) había admitido en confesión haberlo creado. Pierre dArcis, presionó al papa Clemente VII de Aviñón para que suprimiera la veneración pública del Santo Sudario, por considerarlo una falsificación. En 1389, el papa Clemente VII, corrobora, con su intención de ocultar, lo que ya se sabía del origen del Sudario, al emitir una bula que obliga a mantener silencio sobre su verdadera naturaleza.

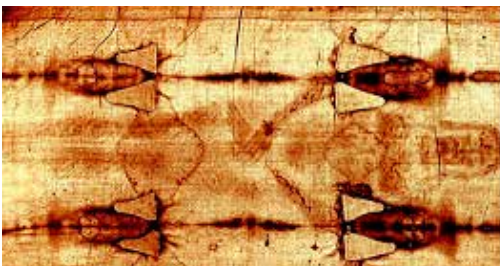


Fig. 13-1 Sudario de Turín

Con el tiempo se tuvo la necesidad de datar científicamente el Santo Sudario, pero, se denegaba el permiso debido al temor de dañar la reliquia. Sin embargo, con el desarrollo de las técnicas de datación por radiocarbono que requerían muestras muy pequeñas, se resolvió usar esta técnica para la datación, el Cardenal Anastasio Ballesteros, el arzobispo de Turín en ese momento, y el custodio de la Sábana Santa, permitieron la investigación. Varias entidades fueron elegidas, pero al final, solo se les permitió a tres: la Universidad de Arizona, el Instituto Federal de Tecnología de Suiza, y la Universidad de Oxford. El 21 de abril de 1988, pequeños fragmentos del tejido mortuorio sagrado fueron sometidos a la datación del Carbono 14. Una vez concluida la prueba, los investigadores anunciaron que los tres grupos de investigación con un 95% de confianza, habían fechado los fragmentos de tela entre **1260** y **1390**, un período medieval que incluye el año **1353** cuando el Sudario fue mostrado por primera vez. La misma Iglesia vaticana a través de un portavoz: monseñor Ballesteros, anunció los resultados en una conferencia de prensa en octubre de 1988.

Transmutación artificial.

Durante más de 2.000 años los alquimistas trataron de convertir el plomo en oro. Se hicieron enormes esfuerzos, mágicos y químicos pero nunca lo lograron; desconocían el núcleo atómico y, más aun, los mecanismos para alterarlo. De hecho, se puede transformar el plomo en oro sacando del núcleo de plomo tres protones, algo que escapaba a la magia de los alquimistas.

En 1919 Ernest Rutherford logró por primera vez transmutar un elemento químico. Bombardeo núcleos de nitrógeno con partículas *alfa*, logrando transmutar el nitrógeno en oxígeno. La partícula *alfa* fue absorbida por el núcleo de nitrógeno y éste, a su vez, expulsó un protón, convirtiéndose en oxígeno (Fig. 14).

A partir del logro de Rutherford, se ha podido producir artificialmente muchos elementos, ya sea bombardeando núcleos con partículas procedentes de minerales radiactivos, o con partículas con alta energía: protones y electrones emanados de aceleradores de partículas.

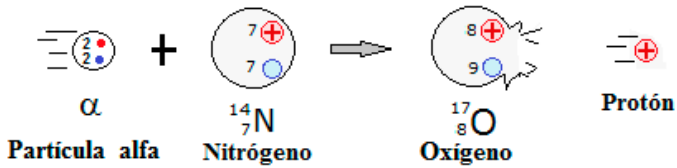


Fig. 14 Rutherford logró transmutar el nitrógeno en oxígeno

Esta transmutación que produce isótopos radiactivos de núcleos livianos, es la fuente principal de contaminación radiactiva producida por escapes de radiación, ya sea de reactores nucleares, o por explosiones de bombas nucleares. Entre otros.

Análisis por activación de neutrones

Napoleón fue envenenado.

La transmutación artificial hace posible el método de **activación de neutrones**, para identificar los elementos que componen una muestra de material. Este método tiene la ventaja de no necesitar muestras grandes de material, que además, son destruidas en el análisis. El método, es efectivo aún con muestras muy pequeñas, y tan sensible que detecta elementos que la conforman, aunque intervengan en cantidades insignificantes que pasarían inadvertidos por los otros métodos. Veamos en que consiste.

Se irradia la muestra con neutrones, y los núcleos de los diferentes elementos que la componen, al absorber los neutrones se transmutan en isótopos, muchos de ellos radiactivos. El isótopo radiactivo al descomponerse, emite partículas con cierto grado de energía, que permiten identificar el isótopo que las emitió. Al identificar el isótopo se puede saber de qué elemento proviene.

Por ejemplo: el cobre al absorber un neutrón, se transforma en el isótopo radiactivo cobre 66, el cual al desintegrarse, origina zinc 66 con la emisión de un electrón y un rayo gamma. Al detectar estas emisiones, y sus correspondientes energías, se identifica el isótopo del cinc, y con él; el cobre que lo originó.

Ejemplos de su aplicación

El análisis de activación de neutrones se usa en varias industrias; por ejemplo, en la aviación comercial se emplea para revisar el equipaje en los aviones en busca de explosivos ocultos.

En la Historia. ¡Otra vez; Napoleón!

El siguiente uso; fue de gran importancia histórica. Napoleón murió en la isla de Santa Elena en 1821. Tras su muerte se le afeitó la cabeza, y los mechones de pelo fueron vendidos como recuerdo. Como hubo sospechas de que su muerte no fue por causas naturales, en 1961 uno de los cabellos de Napoleón fue sometido a análisis por **activación de neutrones**, encontrando grandes cantidades de arsénico. El estudio de diferentes partes del cabello, arrojó que el arsénico le fue administrado de manera irregular, correspondiendo el patrón de concentración de arsénico con los altibajos de la enfermedad de Napoleón, como lo reseñan los datos históricos.

Particularmente: creo; que por su importancia para la historia, este análisis debería hacerse a los restos (si todavía quedan), de Lenin y de Stalin.



Fig. 15 Napoleón fue envenenado

En el Arte

También, el análisis de activación de neutrones es usado por expertos en arte para detectar falsificaciones. Los pigmentos de las pinturas cambian con el paso del tiempo. Los pigmentos viejos y nuevos reaccionan de modo diferente a la activación de neutrones. Incluso se puede detectar obras de arte que permanecen ocultas debajo de otras pinturas, ya que, la capa oculta más vieja, reacciona diferente a la capa superficial más reciente.

En la investigación penal. Análisis de muestras forenses

La Policía de Investigaciones de Chile (PDI), utilizó *activación de neutrones* para investigar los daños ocasionados a un cristo durante una protesta estudiantil que tuvo lugar en junio de 2016 en la capital del país, Santiago de Chile.



Fig. 16 Partes de la figura dañada durante la protesta estudiantil en junio 2016

El objetivo de los análisis fue confirmar la edad y el origen de la figura, y los materiales con que fue elaborada. Con la finalidad de determinar, como parte importante de la investigación, el valor histórico de la estatua, el cual es determinante en la condena penal.

Otros usos de la radiación



Fig. 17

No le tenga miedo a su reloj

Algunos relojes tienen manecillas y, puntos o números, que brillan en la oscuridad, sin que su brillo se atenúe. El resplandor de estos componentes de la esfera, se debe a que su pintura contiene bromuro de radio (radiactivo) mezclado con sulfuro de zinc. El radio al decaer emite una partí-

cula alfa, la cual al chocar con una molécula de sulfuro de zinc, produce luz visible.

La radiación que se emplea con esta finalidad es de muy baja energía y no reviste peligro alguno para la salud. Además, la mayoría de los relojes que tienen esta propiedad usan la luz del ambiente, y no, la radioactividad como medio de excitación para la emisión de luz, pero, con la desventaja de que en la oscuridad su brillo decrece y se anula en poco tiempo. Cosa que no pasa con la radioactividad.

Trazadores radiactivos

En medicina

Uno de los usos más valiosos de los *trazadores* o *indicadores radiactivos*, es en la medicina. Por ejemplo, el yodo, que lo obtenemos principalmente por el consumo de sal yodada y mariscos, y es tan necesario para el correcto funcionamiento de nuestro cuerpo, puede servir como excelente rastreador para evaluar el funcionamiento de la glándula tiroides. El paciente bebe una cantidad muy pequeña de yoduro de sodio radiactivo, compuesto con el isótopo yodo 131. Isótopo radiactivo producido de manera artificial (el isótopo natural no radiactivo es el yodo 127) La cantidad de yodo en función del tiempo que llega a la tiroides, es un indicativo del buen funcionamiento de la glándula, y esto se determina midiendo la intensidad de radiación emitida en el cuello del paciente.

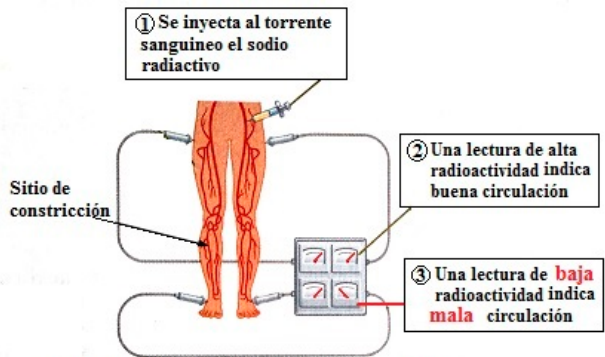


Fig. 18 Uso de rastreadores radiactivos en medicina

Una segunda aplicación se ilustra en la figura 18. Una solución con sodio radiactivo se inyecta en una vena de la

pierna, y el tiempo que tarda el radioisótopo en llegar a otra parte del cuerpo es detectado con un contador de radiación. El tiempo que transcurre es un indicador de la presencia o ausencia de obstrucciones en el sistema circulatorio, indicando el lugar de la obstrucción en caso de existir.

En la industria automotriz

Se puede estudiar cómo se desgastan las partes de un motor, haciendo radiactivas las paredes de los cilindros. En funcionamiento los anillos del pistón se frotan contra esas paredes. Las diminutas partículas de metal radiactivo que se desprenden caen en el aceite lubricante, donde se pueden medir con un detector de radiación. Al repetir esta prueba con distintos aceites se puede determinar cuál es el lubricante que produce menos desgaste y prolonga la vida del motor.

También los fabricantes de neumáticos emplean isótopos radiactivos. Si se conoce la proporción de átomos de carbono radiactivos en el neumático, se puede estimar la cantidad de caucho que queda en el pavimento al efectuar un frenazo, midiendo la radiación que queda en el pavimento.

En la agricultura

Para evaluar la eficacia de un fertilizante, se combina una pequeña cantidad de material radiactivo con el fertilizante, y luego se esparce sobre un grupo de plantas. Para un segundo grupo se rocía sobre el suelo, y se lo mezcla con la tierra, para un tercer grupo. La cantidad de fertilizante absorbida por las plantas se puede medir midiendo la radiación en cada grupo de plantas. A partir de tales mediciones se puede instruir a los agricultores sobre la dosis de fertilizante correcta, y la manera de aplicarlo.

Detección de fugas

Para detectar fugas en las redes subterráneas de distribución de líquidos, se mezcla con el líquido una cantidad pequeña de isótopos radiactivos. Midiendo la intensidad de la radiactividad en la superficie se puede localizar los lugares de las fugas. Como se muestra en la figura 19.

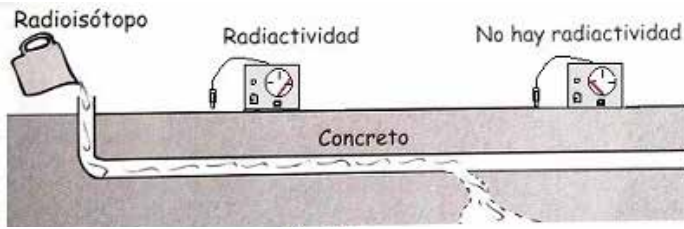


Fig. 19

Detectores de humo

Esta aplicación de la radiactividad ayuda a salvar vidas. El detector de humo está constituido por una cámara de ionización (donde se crean partículas cargadas), un detector de corriente de alta sensibilidad y una alarma (Fig. 20). Una fuente radiactiva de baja intensidad dentro de la cámara, ioniza el aire creando partículas cargadas (iones), las cuales son atraídas (según el signo de su carga) por dos placas; una positiva y otra negativa conectadas a una batería. De esta manera se establece una corriente, que, aunque pequeña, es detectada por el circuito. Mientras fluye la corriente la alarma permanece desactivada. Pero, si entra humo en la cámara los iones se combinan con las partículas de humo, formando partículas neutras, y, en todo caso, más pesadas. Lo cual ocasiona una disminución notable de la corriente activando la alarma.

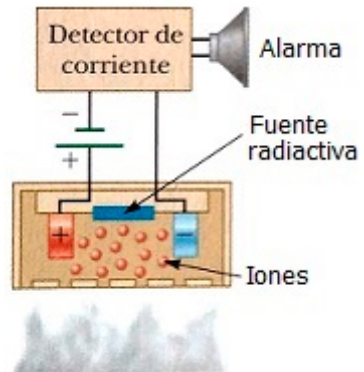


Fig. 20

En los alimentos.

Ojo: a los astronautas no les da diarrea.

Según los Centros para Control y Prevención de Enfermedades, en Atlanta Georgia; cada semana son **millones** las personas que sufren enfermedades originadas por la ingesta de alimentos. Pero esto, que sería catastrófico en órbita, a los astronautas nunca les sucede. ¿Por qué? Porque los alimentos que consumen son *irradiados* con rayos gamma, quedando libres de salmonela, E. Coli, otros microbios, y, demás parásitos que producen enfermedades.

La irradiación de los alimentos va más allá de la tranquilidad de los astronautas; también mata a los insectos de los granos, harina, frutas y verduras. Evita que germinen las papas, las cebollas y los ajos, almacenados. Prolonga significativamente el tiempo de las frutas sin que se descompongan. Limpia de patógenos las carnes de cerdo y aves. Y se puede aplicar en cualquier etapa de la generación de alimentos, porque puede penetrar las latas, los frascos y los paquetes sellados.



Fig. 21 Símbolo de los alimentos irradiados

Lo que **no** hace la irradiación es dejar radiactividad en los alimentos. Los rayos gamma atraviesan los alimentos destruyendo la mayoría de los patógenos que causan enfermedades, sin que ningún alimento se vuelva radiactivo, porque los rayos gamma que se usan no tienen energía suficiente para producir ese efecto; son de *baja energía*.

En comparación con el enlatado y la refrigeración, la irradiación tiene menor influencia en los valores nutritivos y el sabor. Se ha usado en casi todo el siglo XX, y sometido a pruebas durante más de 40 años, sin detectar peligro alguno para los consumidores. Sociedades científicas como: La Organización Mundial de la Salud, la Administración de Alimentos y Medicinas, y La Asociación Médica Estadouni-

dense, avalan la irradiación de los alimentos. Es usada ampliamente en Bélgica, Francia y en los Países Bajos.

Entonces; ¿Por qué su uso no se ha generalizado? La respuesta es por el temor de la gente a la palabra *radiación*. Estos temores obligaron a cambiar de nombre a la exploración médica: Resonancia Magnética Nuclear (NMR) por Imagen de Resonancia Magnética (MRI) que es más amigable al no tener la palabra “nuclear”.

En todo caso, se debería comparar la cantidad de las personas que *podrían morir* por los alimentos irradiados, con la cantidad de las que *realmente mueren* porque el alimento no fue irradiado.

Fuentes de contaminación radiactiva

Más del 98% de la radiación que recibimos anualmente, proviene de los alimentos y el agua, más la radiación de fondo natural, más los rayos X en la medicina y otros métodos de exploración. La contaminación debida a pruebas nucleares y generación eléctrica con carbón o reactores nucleares, tienen contribuciones mínimas en comparación.

Haciendo otra comparación; es sorprendente que las centrales eléctricas que queman carbón superan con mucho a la generación con energía nuclear, como fuente de radiación. El consumo anual de carbón lanza a la atmósfera unas 16.000 toneladas de torio radiactivo, y unas 7.000 toneladas de uranio radiactivo, las cuales contienen cerca de 50 toneladas de uranio 235 el que es usado en bombas nucleares. Mientras

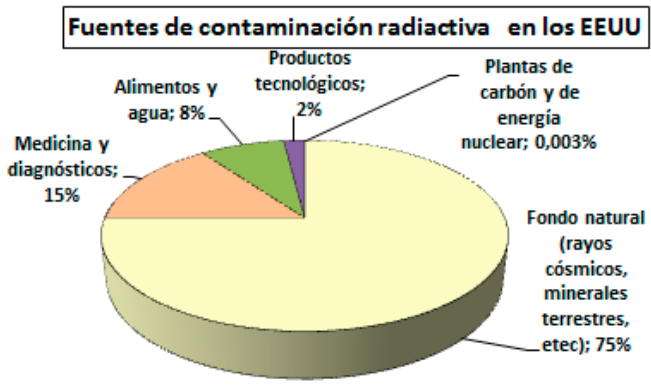


Fig. 22

El consumo anual de carbón lanza a la atmósfera unas 16.000 toneladas de torio radiactivo, y unas 7.000 toneladas de uranio radiactivo, las cuales contienen cerca de 50 toneladas de uranio 235 el que es usado en bombas nucleares. Mientras

que las plantas de energía nuclear generan unas 10.000 toneladas de desechos radiactivos por año, pero, casi todos esos desperdicios están controlados y no pasan al ambiente.

Efectos de la radiación en los seres vivos.

Las células de los tejidos vivos están formadas por moléculas muy complejas, dentro de un medio rico en iones (partículas cargadas). La radiación al penetrar en este medio produce un caos a nivel atómico. Por ejemplo, una partícula *beta* (electrón) puede impactar a las moléculas y dejar un trazo de moléculas alteradas o rotas, pero químicamente activas, junto con iones y radicales libres, estos escombros, a su vez, pueden destruir más moléculas o formar nuevas moléculas que pueden ser inútiles o dañinas para la célula.

La radiación *gamma* es la más penetrante, ya que es luz de alta energía, y por ende, la más difícil de bloquear. Eso, más la capacidad que tiene de interactuar con la materia orgánica, y ser parte importante de la radiación natural de fondo, la hace potencialmente más dañina. Cuando un fotón de rayos gamma penetra la materia, puede impactar en un electrón y cederle mucha energía. Entonces, el electrón energizado puede moverse por los tejidos ocasionando el mismo daño que la radiación beta de origen externo.

Los rayos *alfa*, son partículas lentas, masivas y con mucha carga, interactúan fuertemente con la materia y, por lo tanto, no penetran mucho porque su energía es consumida en muchos choques en un corto recorrido. Pueden viajar solo unos pocos centímetros en el aire, y son absorbidas por las capas más externas de la piel humana, la cual no pueden penetrar. Sin embargo, si tienen alta energía son capaces de causar un daño celular grave.

Las células reparan la mayoría de los daños moleculares. Una célula puede sobrevivir a una dosis alta de radiación, si se le aplica a intervalos que le permitan la recuperación. Aun cuando las células mueren, las células muertas se pue-

den reponer con otras nuevas. A excepción de las células nerviosas que son irremplazables. Algunas veces la información genética defectuosa, contenida en una molécula de ADN, de alguna célula, es transmitida a las células descendientes, y se produce una *mutación* celular. En la mayoría de los casos estas mutaciones son irrelevantes, pero en algunos casos pueden dar células con algún grado de malignidad. O, introducir mejoras que la evolución, en millones de años, selecciona y perfecciona dando origen a especies con otras adaptaciones y especializaciones. Tal vez eso originó al *homo sapiens*, destructor de su hábitat y del equilibrio ecológico.

Lo importante es saber que las dosis de radiación que recibimos son mucho menores que el límite de letalidad. Por ejemplo; una radiografía normal de tórax contiene menos de la diezmilésima parte de la dosis letal. Además, recibimos fundamentalmente, la misma cantidad de radiación que han recibido durante millones de años, los demás seres vivos.

Adaptación en el reino animal.

El Atolón de Bikini es una isla del Pacífico que fue devastada por pruebas nucleares hace 60 años. Entre 1946 y 1958, se llevaron a cabo 23 pruebas nucleares en este atolón, incluyendo la bomba H, la más potente de todas. Después del final de los ensayos nucleares, la población del atolón, que había sido previamente evacuada, no pudo regresar porque los suelos, las aguas, todo el ambiente, estaba demasiado contaminado por la radiación.



Fig. 23 Atolón de Bikini en las Islas Marshall

Sin embargo, con el transcurso del tiempo, el ecosistema del atolón se ha recuperado claramente, a pesar de que los



Fig. 24

niveles de radiación están todavía lejos de no ser fatales para el ser humano. Gran parte de la vida marina ha regresado. Los corales han vuelto a poblar las zonas costeras. Y el desarrollo de estos arrecifes coralinos atrae a muchas especies de invertebrados, crustáceos, peces e incluso tiburones. Los tiburones por ser depredadores, y estar en la cúspide de la cadena alimentaria son un signo de un ecosistema saludable. Actualmente, se está estudiando el ADN de estos animales para descubrir los mecanismos biológicos que les permiten sobrevivir a las radiaciones, lo que podría ser muy importante en la investigación del cáncer.

La vida renace en girasoles.

Las plantas evolucionaron en momentos en que los niveles de radiación en la Tierra eran mayores a los que tenemos hoy, por eso muchas han desarrollado mecanismos de adaptación para sobrevivir en altos niveles de radioactividad, absorbiendo metales pesados e isótopos radioactivos y almacenándolos en tallos y hojas. Por esta capacidad de adaptación



Fig. 25 Girasoles plantados en Fukushima

de adaptación la vida vegetal ha vuelto a florecer alrededor de Chernóbil (lugar del mayor accidente nuclear), reduciendo gradualmente la contaminación del suelo.

Esta técnica natural llamada “fitorremediación”, se aplicó tanto en Chernóbil como en Fukushima (accidente nuclear en 2011) plantando **girasoles**. Debido a que **el sue-**

lo y el agua estaban cargados de elementos radiactivos, principalmente cesio y estroncio. Estos dos elementos son absorbidos por la planta, ya que el cesio imita al potasio, usado en la fotosíntesis, y el estroncio imita al calcio como soporte estructural. Además, **los girasoles** crecen de forma rápida, y en todas partes. Y más importante aún, almacenan la mayor parte de su biomasa en las hojas y los tallos, por lo que el material radiactivo absorbido por las plantas puede eliminarse sin tener que arrancar las raíces. Por estos motivos **los girasoles son las mejores plantas para** llevar a cabo la fitorremediación, aunque no son las únicas.

