



**Sabías que...**

Una persona pierde de dos a tres litros de agua por día.

*La tarea suprema del físico es encontrar las leyes fundamentales y universales a partir de las cuales se puede construir el cosmos por pura deducción.*

Albert Einstein (1879-1955)



**Fricción**

El sistema de frenos hidráulicos de un vehículo permite detenerlo completamente hundiendo el pedal con un solo pie.

**Página 7.**

# Interacciones fundamentales

Las galaxias son continentes con alrededor de cien millardos de estrellas, cuyas estructuras están determinadas por la fuerza de gravedad.

En la foto: Galaxia espiral NGC 1300 fotografiada por el Telescopio Espacial Hubble.

**Página 4.**

**El coro de los protones**

En la generación de imágenes por resonancia magnética en medicina, los campos magnéticos aplicados son variados en intensidad sobre la extensión del paciente de manera que los protones no presentan todos los mismos tonos en su canto.

**Página 8.**



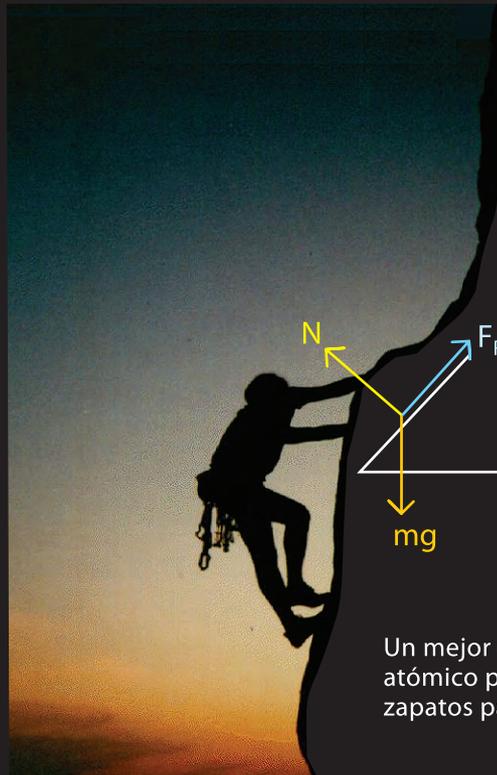
Fisicas

# La fuerza de fricción

**Isbelia Martín** (Universidad Simón Bolívar, Caracas)  
**Claudio Mendoza** (IVIC/CeCaLCULA)

Hace 2400 años, el filósofo griego Aristóteles pensaba que para mantener un cuerpo en movimiento se necesitaba aplicarle una fuerza. Este concepto erróneo lo corrigieron Galileo y Newton en el siglo XVII al aclarar que los cuerpos mantienen su estado de movimiento a menos que se ejerza fuerza sobre ellos. El problema en la visión de Aristóteles era su desconocimiento sobre la fuerza de fricción y su papel protagonista en el movimiento de los cuerpos. Por ejemplo, la necesitamos para caminar, pero al mismo tiempo es una molestia en cualquier movimiento pues al no poder eliminarla del todo causa pérdida de energía y desgaste mecánico a pesar de la tecnología de los lubricantes.

Esencialmente, la fricción es la fuerza que una superficie ejerce sobre otra en contacto y que tiende a resistir el movimiento entre ellas. Depende de la rugosidad de las superficies pero no del área común en contacto. La fricción puede ser estática cuando no hay deslizamiento entre las superficies como la existente entre la suela de los zapatos y el pavimento que permite caminar sin resbalar; o puede ser cinética y su magnitud es proporcional a la fuerza normal o perpendicular a las superficies cuando una se desliza sobre la otra. Ésta es la fuerza que hace que un cuerpo se detenga después de resbalar. No es una fuerza fundamental ya que se debe a las fuerzas intermoleculares de tipo electromagnéticas entre puntos en contacto de las superficies rugosas, pero su naturaleza es compleja y todavía fuente de debate entre científicos e ingenieros.



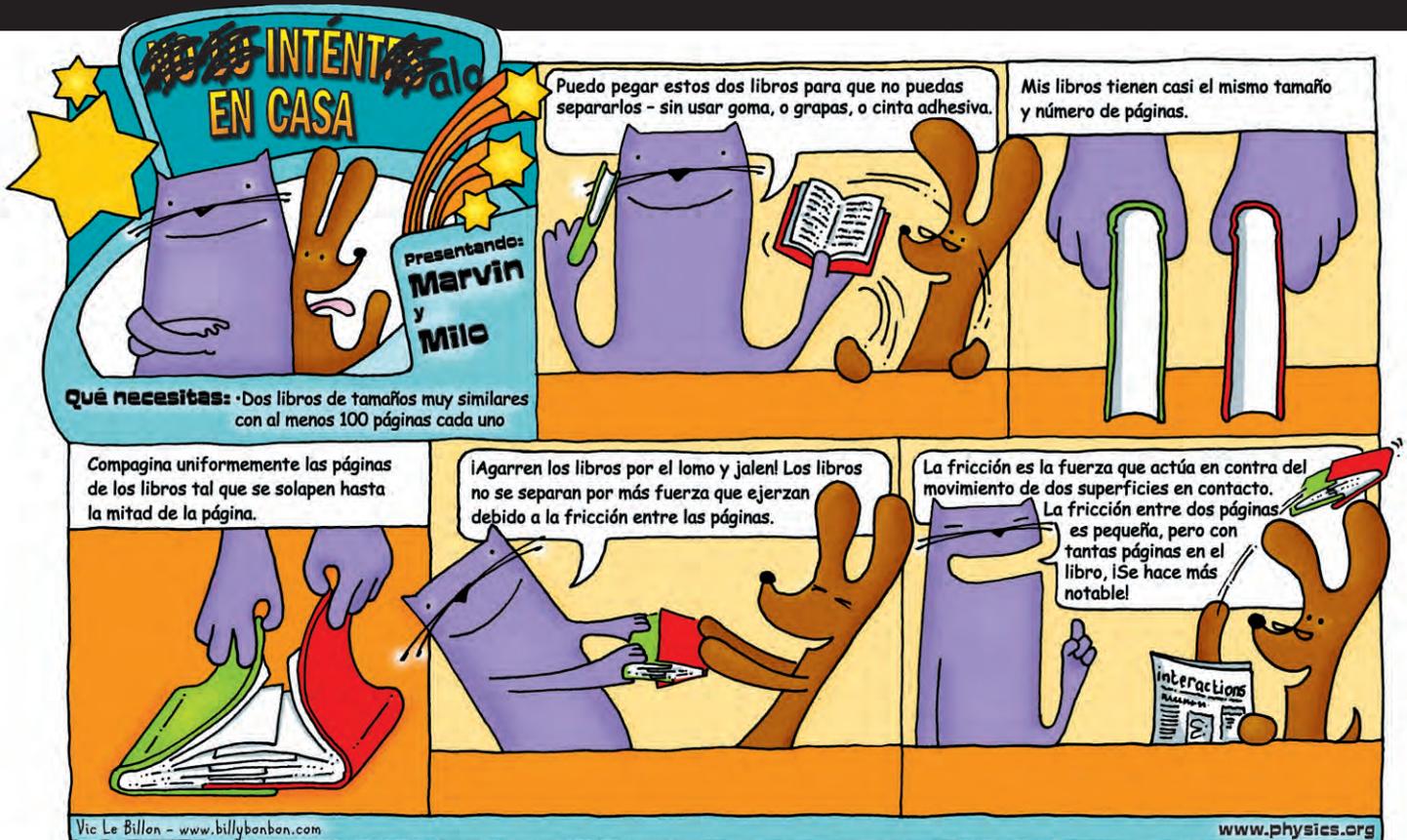
Fuerzas sobre un escalador que no resbala:

El peso  $mg$  siempre actúa verticalmente.

La fuerza normal  $N$  de contacto que ejerce perpendicularmente la superficie sobre el escalador.

La fuerza de fricción  $F_R$  estática en la dirección paralela a la superficie que permite el avance.

Un mejor estudio de la fricción a nivel atómico podría llevar a inventar mejores zapatos para escalar roca.



# Kathy Vivas, una arqueóloga del espacio

Entrevista  
Marielba Núñez

**A** sí como los arqueólogos hurgan en el interior de la Tierra para tratar de descubrir cómo era el pasado, hay científicos que tratan de saber cómo se originaron los planetas, las galaxias y todo lo que contiene el cosmos, escudriñando en las estrellas más antiguas.

Ese es precisamente el trabajo de Kathy Vivas, científica del Centro de Investigaciones de Astronomía de Mérida. Como muchos otros que se han dedicado a observar el espacio, Vivas estudió, en principio, física siguiendo cursos de postgrado, y luego se especializó en astronomía. "Hay que tener conocimientos muy sólidos de física para dedicarse a la astronomía", explica.

Su área de investigación ha sido bautizada por algunos como arqueología del cosmos. En su caso, se ha dedicado al estudio de cómo se formaron las galaxias primitivas y para ello se ha concentrado en la que habitamos, la Vía Láctea. "Dado que es la que tenemos más cerca, es relativamente fácil buscar pistas que nos cuenten acerca de su origen", afirma.

Las grandes galaxias en algún momento fueron caníbales, dice. Las más grandes, gracias a la fuerza de gravedad, se comían a las más pequeñas, les iban arrancando una a una todas sus estrellas y de esta manera aumentaban su tamaño. "Ahora se cree que todas las estrellas de la Vía Láctea alguna vez formaron parte de galaxias más pequeñas".

Como muchas otras teorías en astronomía, el canibalismo galáctico ha sido descrito en postulados teóricos y también comprobado mediante las observaciones de los astrónomos a través de los telescopios. "Estamos encontrando pruebas muy contundentes de que ese modelo es cierto", afirma Vivas.

## ¿Es como un borrador que se va aclarando?

Sí. En principio era algo un poco nebuloso, pero luego se van aportando datos de uno y otro lado y todo se va uniendo. No se ha llegado a una versión definitiva de esta historia, pero eso pasa en todas las ciencias, cuando estás estudiando un problema te sorprenden miles de preguntas más.

## ¿Cómo es el trabajo de observar estrellas?

La visión que tiene el común de la gente sobre los astrónomos actuales es totalmente falsa. Para empezar, el astrónomo jamás pega el ojo en un telescopio. En cualquier observatorio del mundo la sala donde está el astrónomo queda un piso más abajo del telescopio, porque hay que mantener la observación con la menor turbulencia posible. De hecho, por eso los observatorios se construyen generalmente en las montañas.

## ¿Cómo analizan entonces los datos?

Actualmente hay telescopios electrónicos equipados con instrumentos de observación parecidos a los que tienen las cámaras digitales. Los técnicos se encargan de grabar los datos en soportes magnéticos y uno los analiza en su laboratorio. Incluso, se empieza a hablar de observatorios virtuales, un esfuerzo internacional para poner a disposición de todo el mundo, en Internet, las observaciones hechas en cualquier parte del planeta.



Cuando Kathy Vivas era pequeña y pasaba cerca del Observatorio de Llano del Hato, su mayor sueño era estar allí, para estudiar las estrellas. Ahora, que ya es científica, considera que se cumplieron sus deseos. Para hacerlo, debió en principio estudiar física en la Universidad de Los Andes y, luego, cursar un doctorado en la Universidad de Yale, Estados Unidos.

Considera que nació en una buena época para la investigación de las estrellas, pues ahora la tecnología permite conocer mucho más del espacio exterior. Disfruta su trabajo y considera que es una suerte que le paguen "por hacer algo divertido". Sabe que es una minoría entre minorías, pues en Venezuela hay muy pocos astrónomos, y las mujeres que se dedican a esa actividad son apenas cuatro.

Ser mujer y tener familia no es un impedimento para hacer un trabajo científico. Hace poco nació su segunda bebé así que ella y su esposo, también astrónomo, comparten el tiempo de las observaciones del cielo con el cuidado de las pequeñas.

168 ESTADÍSTICA.

Conversion  
de unidades de peso españolas á las métricas decimales.

Granos.	Gramos.	Onzas.	Libras.	Onzas.	Adarmes.	Gran.
1	0,0499	1	0	0	0	20,031
2	0,0998	2	0	0	1	4,061
3	0,1497	3	0	0	2	24,052
4	0,1996	4	0	0	1	8,123
5	0,2495	5	0	0	2	28,154
6	0,2994	6	0	0	3	12,184
7	0,3493	7	0	0	3	32,215
8	0,3992	8	0	0	4	16,243
9	0,4491	9	0	0	5	5
10						
20						
30						
35						

## La física en la historia Lino José Revenga y el Anuario del CIV

Yajaira Freites, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas

**E**n 1851, el ingeniero Lino Revenga (1832-1895) se graduó como teniente de ingenieros en la Academia de Matemáticas, la cual había sido fundada por Juan Manuel Cajigal (1803-1856). Revenga fue uno de los fundadores del Colegio de Ingenieros de Venezuela (CIV) en 1861. En el techo de la casa del Colegio Santa María, instaló una especie de observatorio para hacer mediciones astronómicas y meteorológicas, contando con la ayuda de varios alumnos de la Academia de Matemáticas. Los datos recabados pasaron a formar parte del Anuario de Observaciones del Colegio de Ingenieros de 1862, el cual tenía cuatro secciones: Astronómica, Meteorológica, Estadística y Geográfica.

La Sección Astronómica contenía las efemérides o acontecimientos del Sol, la Luna, de los cinco planetas principales (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno) y de las estrellas fijas como la Polar, referidas al meridiano de Caracas, así como los eclipses. Revenga calculó que para 1862 habría tres eclipses no visibles de Sol y dos visibles de Luna. La Sección Meteorológica incluía los datos aportados por Alejandro Ibarra (1813-1880), catedrático de Física Experimental, y la Sección Estadística las primeras tablas publicadas en Venezuela sobre la conversión de las medidas tradicionales a las métricas y decimales. Revenga había calculado el Meridiano de Caracas respecto del de Greenwich en -04:27:39,4.

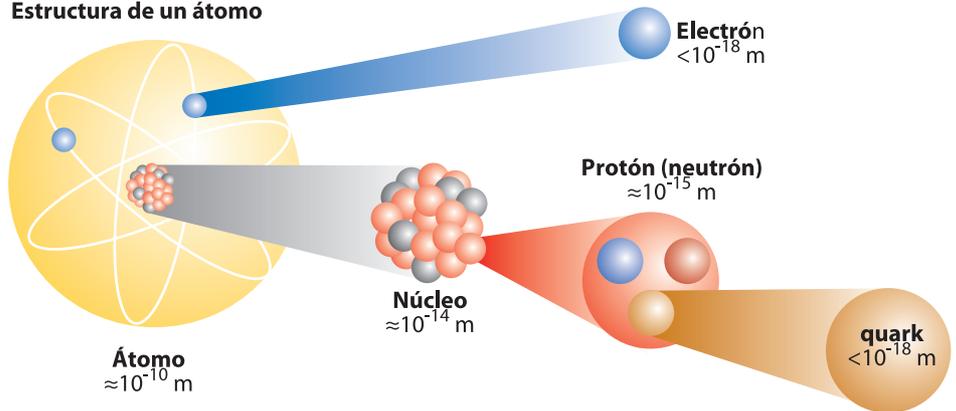
# Las interacciones fundame

**Álvaro Restuccia**, Universidad Simón Bolívar, Caracas

La experiencia diaria con nuestro entorno natural nos permite reconocer que los objetos, sean seres vivos o no, interactúan entre sí de múltiples maneras. Estas interacciones las describimos en términos de las fuerzas entre ellos. Por ejemplo, la fuerza de gravedad es responsable de los fenómenos a gran escala como la estructura de las galaxias, del movimiento de los planetas alrededor del Sol, de la existencia de agujeros negros en el Universo y, a menor escala, de la atracción mutua de un cuerpo con la Tierra. Así mismo, la fuerza electromagnética es responsable de fenómenos como la fricción entre superficies en contacto, la atracción de una moneda por un imán y los rayos láser, entre otros. Aparentemente, las interacciones que reconocemos en nuestra cotidianidad son de múltiples orígenes; y podríamos pensar que existen muchas fuerzas distintas asociadas con esas interacciones. Sin embargo, todas ellas se pueden describir como una combinación de cuatro fuerzas fundamentales: la fuerza de gravedad, la fuerza electromagnética, la fuerza nuclear débil y la fuerza nuclear fuerte.

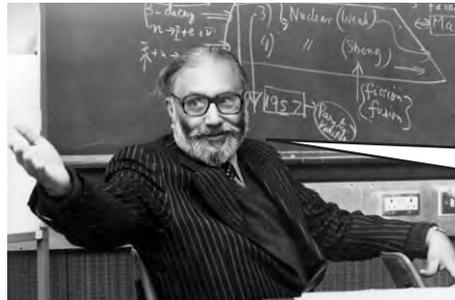
La fuerza gravitatoria y la electromagnética son de alcance infinito, mientras que la fuerza débil y la fuerte son de corto alcance, del orden de milésimas del diámetro del núcleo atómico en la primera y del orden del núcleo atómico en la segunda. Es por esta razón que, en nuestra interacción diaria con la naturaleza, las fuerzas que más que todo presenciamos son la gravitatoria y la electromagnética. De las cuatro fuerzas fundamentales, la más débil es la gravitatoria pero a grandes distancias es la más importante. Esto se debe al rango infinito de su acción y a que, adicionalmente, actúa de forma atractiva con toda la materia. La fuerza electromagnética, por otra parte, solamente actúa entre objetos cargados eléctricamente; puede ser atractiva o repulsiva. La estructura y dinámica de grandes cuerpos como las galaxias y las estrellas son resultado de la fuerza gravitatoria. En comparación, las fuerzas electromagnéticas que experimentan son mucho menores ya que la carga eléctrica total en cada uno es aproximadamente cero.

## Estructura de un átomo



"No hay nada más interesante para el verdadero teórico que un hecho que directamente contradiga una teoría aceptada para ese momento, porque ese es en realidad su trabajo."

Max Planck (Alemania, 1858-1947)



"Cada vez que me confronto con dos teorías que compiten por el mismo conjunto de observaciones, siempre he encontrado que la que más satisface estéticamente es también la correcta."

Abdus Salam (Pakistán, 1926-1996)

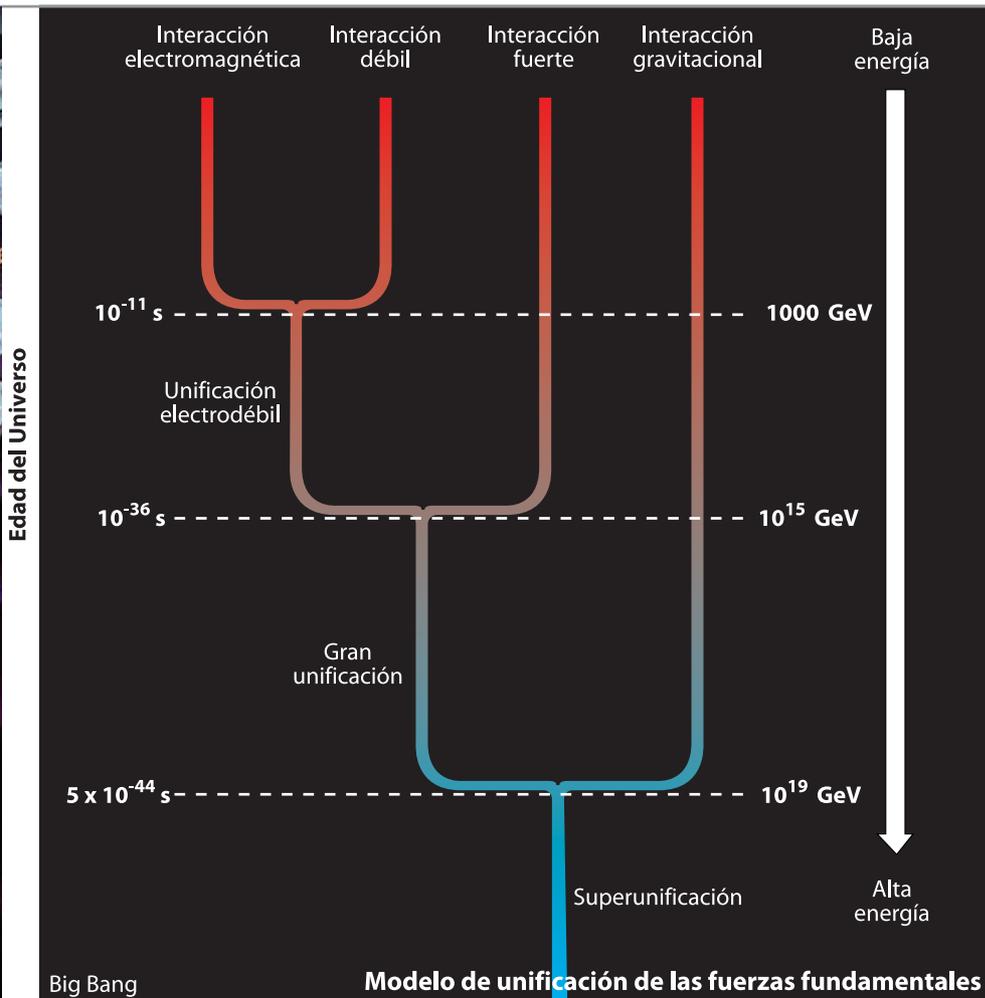
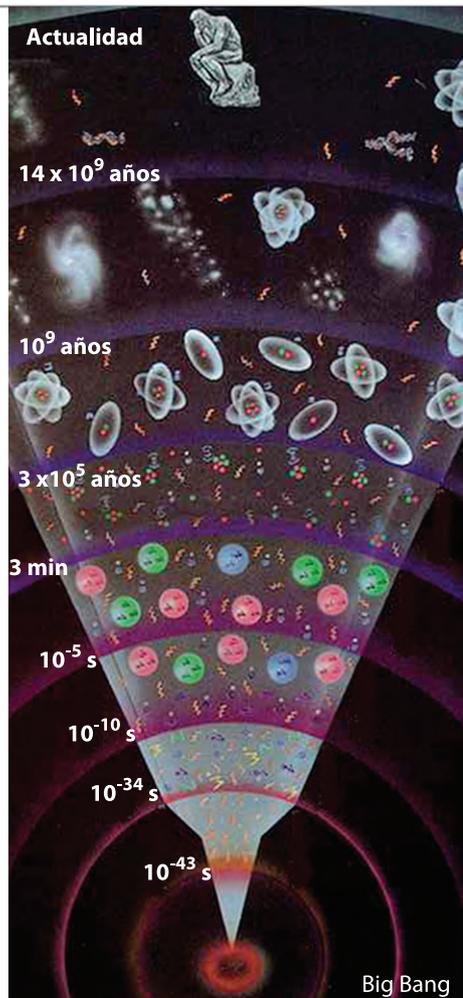
La fuerza débil y la fuerte actúan solamente a escalas del núcleo del átomo. La fuerza débil hace que los neutrones decaigan (decaimiento beta) produciendo la radiactividad. La fuerza fuerte es responsable de mantener unidos a los protones y neutrones en el núcleo atómico. El nombre de estas dos fuerzas de acción nuclear se origina del hecho de que la fuerza débil es de mucha menos intensidad que la fuerte, aunque ambas fuerzas son mucho más intensas que la fuerza gravitatoria.

La descripción de las interacciones fundamentales depende del nivel de energía en que ocurre la interacción. A bajas energías, es decir a rangos de energía como los cotidianos, la descripción de la fuerza asociada con la interacción se representa por una "acción a distancia". Por ejemplo, la interacción entre dos cargas eléctricas separadas a una cierta distancia la representamos como una fuerza que actúa directamente sobre cada carga. Esta forma

de entender las interacciones es, a más altas energías, inconsistente con los principios de la relatividad de Einstein y la mecánica cuántica. La descripción más precisa y consistente considera que la fuerza se debe al intercambio de partículas mediadoras, o "cuantos". Estas partículas intermedias son las portadoras de las fuerzas entre las cargas. En el caso de la fuerza electromagnética, el *cuanto* se llama fotón. En el de la fuerza gravitacional es el gravitón, el cual aún no se ha detectado directamente. En ambos casos, la partícula portadora no tiene masa por lo cual la interacción que representan es de largo alcance. En contraste, los portadores de la fuerza débil, las partículas W y Z, son muy masivas, por lo tanto su rango de acción es muy pequeño. Los portadores de la fuerza fuerte se denominan "gluones" y tienen masas muy pequeñas o ninguna.

Una propiedad muy notable de las fuerzas fundamentales es que a altas energías la

# ntales en la naturaleza



electromagnética y la débil se pueden describir como una misma interacción: la interacción electrodébil. A energías aún más altas, las fuerzas electrodébil y fuerte también se pueden unificar; es decir, a altas energías la naturaleza se comporta muy diferente a como estamos acostumbrados a reconocerla. Estas tres fuerzas fundamentales y las partículas que interactúan mediante ellas se describen satisfactoriamente en la teoría del **Modelo Estándar de la Materia**. Por otra parte, la teoría de la relatividad general de Einstein describe muy bien a la fuerza gravitatoria pero de una forma completamente diferente, en términos de distorsiones geométricas del espacio-tiempo.

Muchos científicos piensan que a energías aún más altas que las asociadas con la unificación de la interacción electrodébil con la fuerte debería existir una descripción unificada general y consistente de todas las fuerzas fundamentales. Si esto

fuese así, la descripción del espacio-tiempo, íntimamente ligada a las fuerzas fundamentales, sobre todo a la gravitación, sería completamente distinta a la de nuestra experiencia diaria. Inclusive, algunas teorías científicas predicen la existencia de dimensiones adicionales a las que reconocemos a simple vista en la naturaleza. En particular, se piensa que en el inicio del Universo había una altísima concentración de energía y, en consecuencia, una estructura de las fuerzas fundamentales diferente a la existente. Curiosamente, si todas las fuerzas fundamentales se pudieran unificar a muy altas energías, esto ocurriría en una naturaleza mucho más armónica y simétrica de la que nos es familiar.

Nuestro conocimiento de las fuerzas fundamentales y de las teorías científicas que las explican es bastante satisfactorio. Paralelamente, el desarrollo tecnológico en el siglo pasado asociado con ese desa-

rollo del conocimiento ha sido enorme. Sin embargo, existen fenómenos físicos muy notables que las teorías actuales no explican a cabalidad. Esto ha ocurrido repetidamente en la historia de la ciencia, y la respuesta a esas grandes interrogantes siempre ha dado lugar a nuevos caminos para entender la naturaleza.

En nuestros arduos esfuerzos por comprender las fuerzas fundamentales de la naturaleza, quizás el problema más importante por explicar, a partir de ellas, es la expansión acelerada del Universo. ¡Actualmente las diferencias entre la teoría y las observaciones son gigantescas! La explicación de este fenómeno físico indudablemente tendrá consecuencias determinantes en nuestro entendimiento del Universo.



**RETO**  
¿Cuál es el peso de un pescado si pesa 10 kilos más de la mitad de su peso?

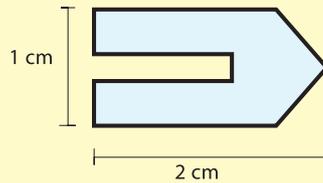
Respuesta: <http://www.fundacionempresaspolar.org/fisica>

# Prueba y verás Un bote sin motor



## Parque Tecnológico de Mérida

Como se indica en la figura, corta un pedazo de cartón (como de 2 cm x 1 cm) para hacer un bote. Echa suficiente leche en un plato para cubrir el fondo y pon el bote a flotar en la leche. El bote queda estacionario. Ahora echa una gota de detergente líquido (o agua jabonosa) en la ranura y observa qué pasa. El cartón se mueve en la dirección contraria a la de la apertura. ¿Qué sucede?



En la superficie de todo líquido y a lo largo de ella, existe una fuerza llamada **tensión superficial**. Esta fuerza es el resultado de la atracción entre las moléculas de la superficie del líquido debido a las fuerzas intermoleculares. Dentro del líquido, cada molécula es atraída igualmente en todas las direcciones por las

moléculas vecinas resultando en una fuerza neta igual a cero. En cambio, en la superficie las moléculas son atraídas hacia adentro y hacia los lados, ya que por encima no tienen otras moléculas del líquido para balancearlas, generando una "tensión". Al echar el detergente en la ranura del bote, se rompe la tensión superficial, y se activan nuevas fuerzas de atracción entre las moléculas de la proa, que se evidencia en una resultante que impulsa el bote hacia la zona donde la tensión superficial permanece intacta.



## Deportes

# Rompiendo ladrillos

## Rogelio F. Chovet

Muchas demostraciones de artes marciales tales como el kárate, taekwondó, muaytai y kung-fu presentan a practicantes de estas disciplinas rompiendo ladrillos con sus manos, pies y hasta con la cabeza. Para lograr esto es necesario tener disciplina, condiciones corporales adecuadas y un poco de física. La parte de la física que nos concierne se basa en la energía desarrollada por un movimiento rápido y preciso, por lo que con un tanto de fuerza aplicada sobre un pequeño punto estratégico y en un breve espacio de tiempo, el deportista puede romper ladrillos con un golpe.

Obviamente, cualquier persona no puede realizar este acto ya que podría romperse la parte del cuerpo que usara. El ejercicio físico de acondicionar sus músculos, piel, tendones y huesos sumado al desarrollo de fuerza muscular pueden hacer que una persona logre este cometido. Es posible estudiar física y fisiología para aprender a romper ladrillos... pero es más rápido obtener un cinturón negro en estas disciplinas deportivas.

Consideremos lo siguiente: toma un pitillo, de los que usas para beber un refresco y trata de perforar una papa: el pitillo se dobla. Entonces, tapa uno de los lados del pitillo con tu dedo índice y con un movimiento rápido intenta perforar la papa. La velocidad y la rigidez permiten al pitillo penetrar la papa. Eso es lo que se aprende en estos deportes.

Este tema nos permite revisar la ecuación de energía cinética:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

donde  $m$  = masa del objeto y  $v$  = velocidad del mismo.

Por tratarse de una energía, como es de suponer, se mide en las mismas unidades que la energía mecánica: el joule, el ergio y el kilowat-hora.

1 Joule de energía cinética es igual a  $1 \text{ kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$

1 Joule =  $10^7$  ergios

1 kilowat-hora =  $36 \times 10^5$  Joules =  $36 \times 10^{12}$  ergios



Sadan Nim Virgil ha competido y ganado trofeos en las modalidades *formas*, *sparring* y *rompiendo ladrillos* de kárate a nivel internacional. Su marca personal rompiendo ladrillos es de 26 para la cual utilizó la palma de su mano.

# La física en... los frenos

## ¡Frena un carro con un solo pie!



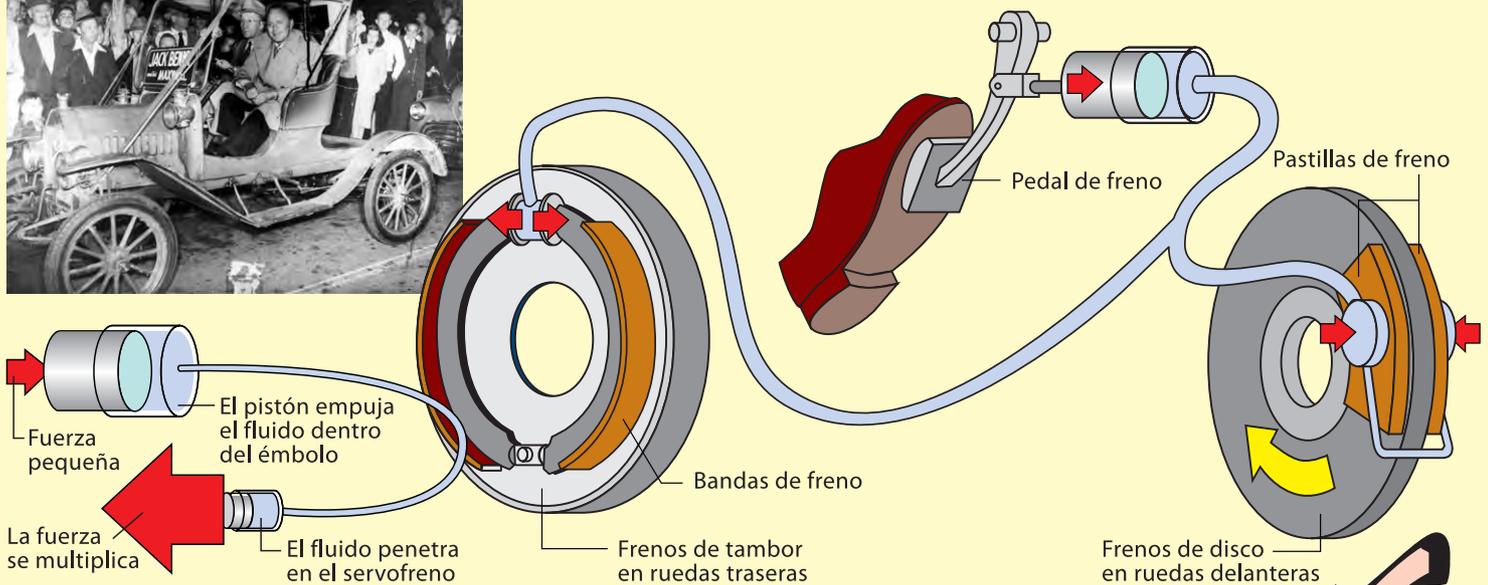
### Parque Tecnológico de Mérida

Imagina por un instante que vas en un automóvil de la edad de piedra y tienes que frenarlo con ayuda de tus extremidades. ¡Tendrías que ejercer mucha fuerza! En esa época no existía el automóvil y hoy, gracias a un mecanismo, se puede frenar el auto suavemente con el pie. Inicialmente los vehículos utilizaban frenos mecánicos: al accionar el pedal de freno con el pie, un cable o

barra transmitía la fuerza para detener el vehículo. Era como los frenos de una bicicleta: requerían suficiente esfuerzo físico.

En la actualidad, los vehículos automotores poseen sistemas de frenos que utilizan el **principio de Pascal** para transferir la poca fuerza de frenado a los neumáticos. Se llaman frenos hidráulicos porque usan un líquido para transmitir la fuerza aplicada. Al frenar se ejerce con el pie una fuerza en un gran émbolo, con

lo que se crea una presión uniforme en todo el líquido del sistema de frenos. Esta presión llega a los émbolos de las ruedas (que son más pequeños), originando una fuerza mayor que se aplica a las zapatas o pastillas de los frenos y, por fricción, se desacelera el vehículo. Es el mismo principio que ocurre en un gato hidráulico, con el cual se puede levantar un gran peso con la fuerza del brazo, al bombear un fluido desde un pistón pequeño a uno más grande.



### Curiosidades

## El golpe de kárate

Ángel Delgado, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Caracas

Los entrenadores de artes marciales enseñan a sus estudiantes que los golpes de pies o manos se deben detener cuando hayan penetrado dos o tres centímetros el cuerpo del oponente, recogiendo la extremidad en movimiento como si se ejecutara un látigo. El golpe es entonces sólo efectivo en la zona de los dos o tres centímetros del lugar enfocado para golpear, lo que lo hace, según los entrenadores, más efectivo que las técnicas callejeras en las cuales se lanzan golpes consecutivos completando el movimiento luego de haber golpeado. Lo cierto es que continuar el movimiento luego de golpear no causa mayor impacto. Lo único que hace es empujar y gastar energía innecesariamente ocasionando un mayor cansancio, con lo cual ubica al combatiente o alumno en desventaja para seguir el combate o entrenamiento.

En las artes marciales, los golpes son ejecutados enfocando al oponente y buscando efectividad en una región de dos o tres centímetros dentro del área de foco escogida, de forma tal que el golpe tenga la máxima velocidad con el contacto inicial para que la fuerza de impacto sea máxima.



Tras el cielo azul

# La danza de las estrellas

Gladis Magris, Centro de Investigaciones de Astronomía, Mérida

Cuando observamos los astros en el firmamento, parecen suspendidos en el espacio. Es la fuerza de atracción gravitacional, la gran artífice del Universo, que determina las posiciones y movimientos de las estrellas, planetas y demás objetos que lo pueblan. Aunque lucen quietas, las estrellas están en constante movimiento al igual que la Luna gira alrededor de la Tierra y la Tierra rodeando al Sol. Ese baile eterno lo ejecutan también las estrellas que se mueven dentro de una galaxia. En el caso de la Vía Láctea, nuestra galaxia, el movimiento del Sol y todas sus vecinas, es circular alrededor del centro de la galaxia a una velocidad de 220 km/s.

El movimiento de las estrellas determina la forma en que observamos las galaxias desde lejos. Como en las coreografías durante la inauguración de juegos deportivos, si estamos dentro del grupo de atletas sólo vemos a los compañeros correr de un lado o a otro, pero si somos espectadores externos, podemos ver vistosas figuras que van construyéndose y deshaciéndose. Lo mismo ocurre con los movimientos de las estrellas. En las galaxias elípticas las estrellas se mueven en órbitas circulares o elípticas en diferentes planos, tal cual lo hacen las abejas alrededor de un panal. En las galaxias espirales, como la nuestra, las estrellas rotan en un plano preferencial. Su apariencia a lo lejos es la de un disco y lo que más resalta en ella es la forma espiral, debida a que una onda, parecida a una ola del mar, comprime el gas y hace que se formen nuevas estrellas. Estas estrellas son mucho más brillantes que las estrellas más viejas, y logran resaltar a los lejos la huella de la onda espiral.



Galaxia elíptica



Galaxia espiral

Física y salud

# El coro de los protones

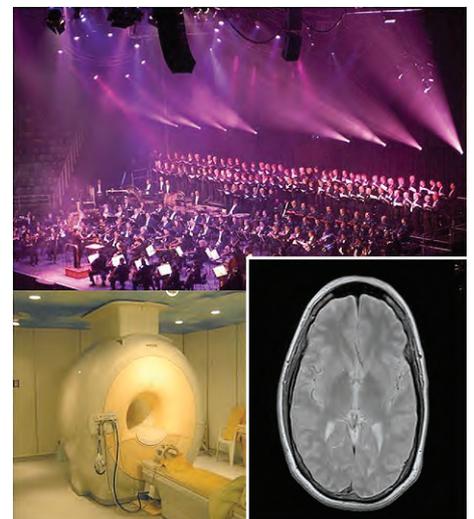
Miguel Martín, Universidad Central de Venezuela, Caracas

Hace más de cincuenta años en la Universidad de Harvard, Estados Unidos, los físicos Edward Purcell y Felix Bloch lograron medir e interpretar la resonancia magnética sobre núcleos de hidrógeno. Por su descubrimiento fueron galardonados con el Premio Nobel en física en 1952. La resonancia magnética fue progresivamente desarrollada en los laboratorios experimentales y, a mediados de la década de 1970, aplicada a la generación de imágenes en medicina. Pero en términos sencillos, ¿en qué consiste el fenómeno y qué tiene que ver con el título de este artículo?

Sin entrar en detalles técnicos, los núcleos atómicos de ciertos elementos se comportan como pequeñísimas brújulas que se orientan en un campo magnético: unas a favor de ese campo con baja energía y otras en oposición con alta energía. La diferencia de energía entre esas orientaciones depende de cuán intenso sea el campo magnético, y si queremos subir la energía

de uno de esos núcleos, es decir, excitarlo, usamos un instrumento que proporciona exactamente la diferencia de energía entre las dos orientaciones. Cuando esto ocurre, ni más ni menos en perfecta sintonía, se ha producido la resonancia magnética. Aunque suene simple mencionarlo, el instrumento que se utiliza es un aparato de radio transmisor y receptor que se encuentra en constante comunicación con los núcleos. Si la intensidad del campo magnético es baja, el núcleo responde con un tono bajo; si es alta, el núcleo responde con un tono alto. Según variemos la intensidad del campo magnético tendremos núcleos (o protones en el caso del hidrógeno) bajos, barítonos y tenores.

En la generación de imágenes por resonancia magnética en medicina, los campos magnéticos aplicados son variados en intensidad sobre la extensión del paciente de manera que los protones no presentan todos los mismos tonos en su canto.



Además, no todos cantan al mismo tiempo sino que son orquestados por el programa organizador que se usa en el instrumento. Los protones se comportan como un coro magistralmente dirigido por el instrumento de resonancia magnética interpretando la partitura única y personal de su imagen.