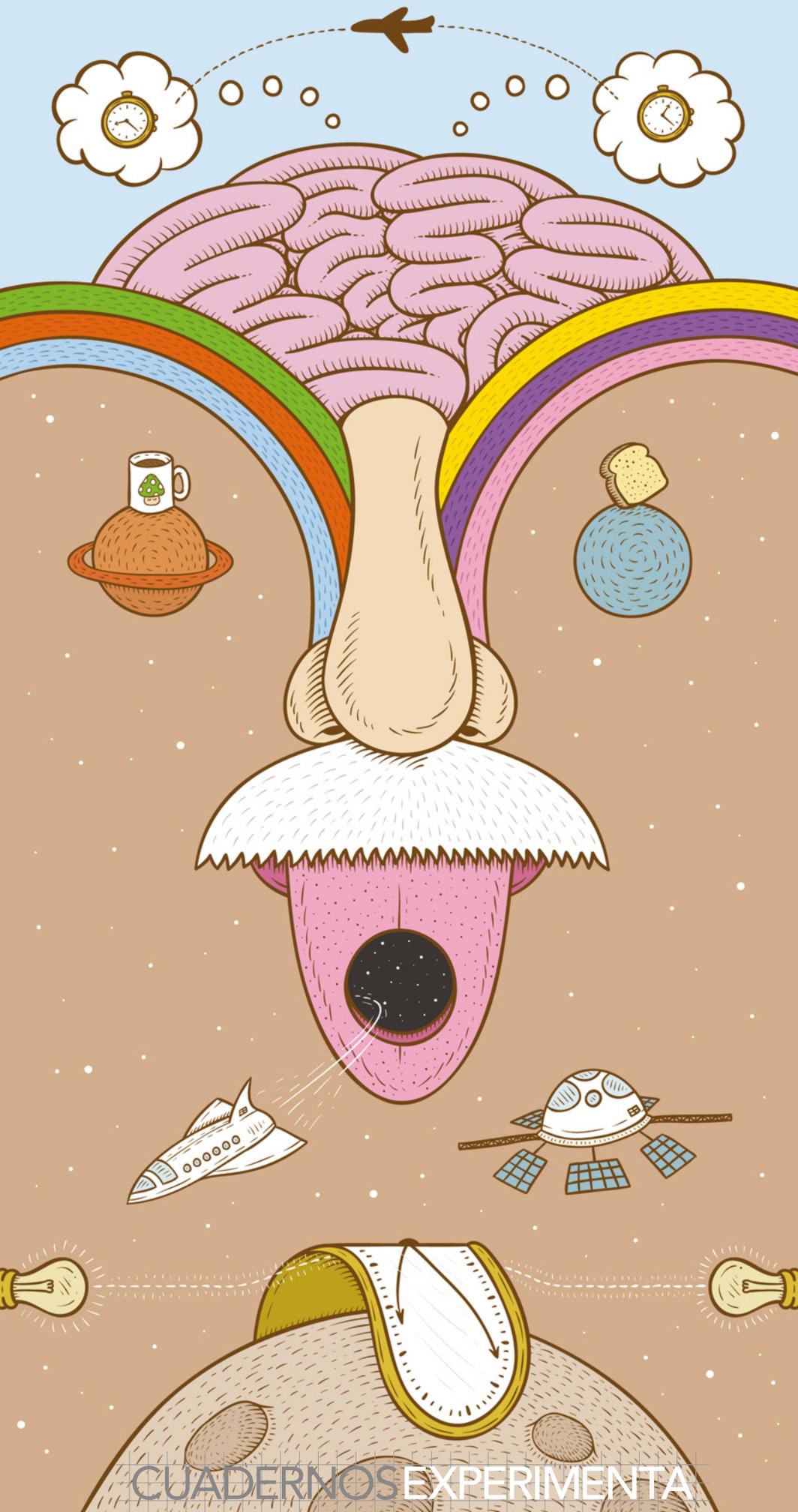
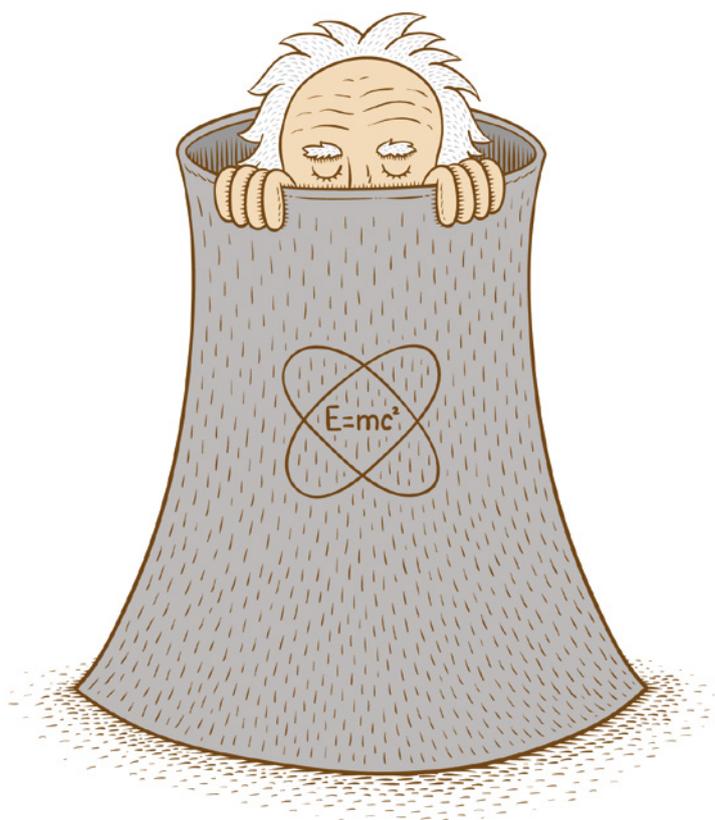


Relatividad



**EDITA**

Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT)

DIRECCIÓN

Marian del Egado

REDACCIÓN DE TEXTOS

Miguel Barral

COORDINACIÓN

Ana María Uruñuela

GESTIÓN

Ana Guillamón
Isabel Tarancón

REVISIÓN DE TEXTOS

Emilio J. Bande
Rosa Marfín
Ignacio de la Lastra

ILUSTRACIÓN

Curro Oñate

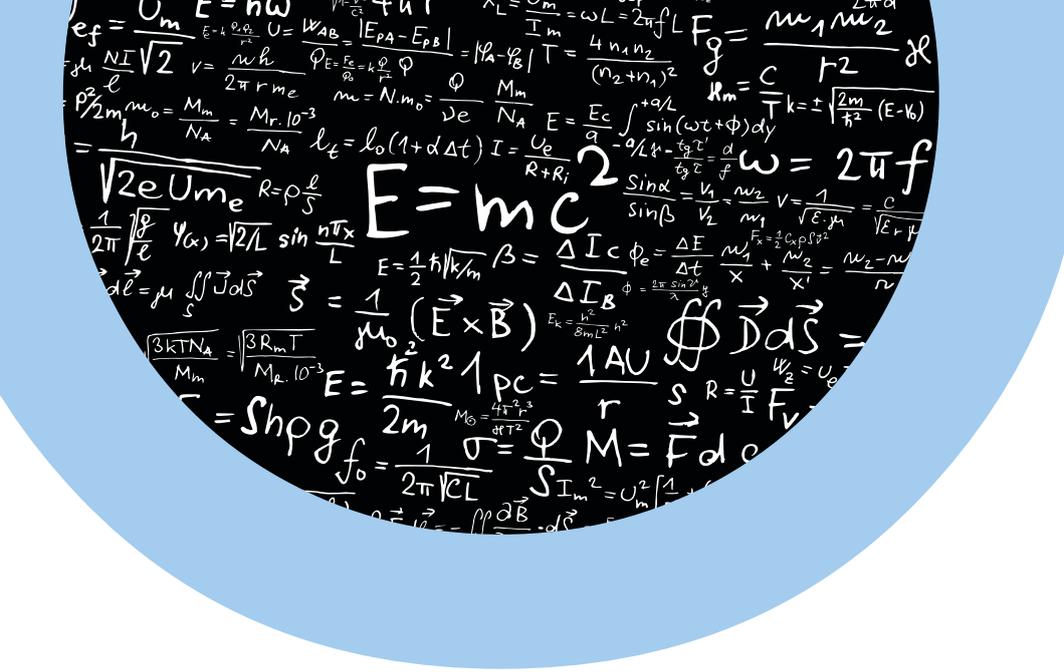
MAQUETACIÓN

Addicta Diseño Corporativo

Depósito legal: M-24423-2015

Nipo: 720-15-095-5

e-Nipo: 720-15-096-0



física

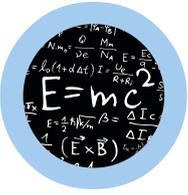
la relatividad einsteiniana

1915-2015

Cien años de la Teoría de la Relatividad General de Einstein

“Es casi un milagro que los modernos métodos de enseñanza todavía no hayan estrangulado totalmente la sagrada curiosidad de investigar; porque este delicado germen necesita, además de estímulo, libertad”

-  EINSTEIN: GENIO Y FIGURA (Y EL PADRE DE LA “CRIATURA”)
-  ¿QUÉ ES ESO DE LA RELATIVIDAD?
-  LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL
-  LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD GENERAL
-  IMPORTANCIA RELATIVA



Relatividad

Einstein: genio y figura (y el padre de la "criatura")

"-¿Por qué pierde el tiempo con ese chiflado?"

-Tiene algunas ideas muy interesantes

-Un profesor de la Universidad de Columbia no debería cartearse con un contable alemán loco

-Es un empleado de patentes, no un contable. Además el señor Einstein se merece todo mi respeto"

(La máquina del tiempo, 2002, Simon Wells)

¿Es posible que un individuo anónimo, totalmente ajeno a la comunidad científica y al margen de las instituciones académicas e investigadoras provoque una revolución en la ciencia como no se ha conocido otra? Sí, es posible. Y Albert Einstein es la prueba. El antiguo –y corriente– estudiante de la Escuela Federal de Zurich, profesor frustrado de instituto que a sus 26 años y desde su anodino puesto de técnico experto de tercera clase en la oficina de patentes de Berna –y gracias que lo había conseguido, no sin ciertas recomendaciones– convirtió 1905 en su *annus mirabilis* con la publicación de cuatro artículos sobre temas tan diversos como el movimiento browniano, el efecto fotoeléctrico y, por encima de todos, una revolucionaria teoría que sacudió los cimientos de la física clásica establecidos por Newton: la Relatividad Especial. Revolución que culminaría una década más tarde con la formulación en 1915 de la Teoría de la Relatividad General, con la que conseguía trasladar las ideas propuestas en su versión inicial al mundo real.

Y tal vez lo que resulte más increíble en esta ya de por sí increíble historia es que Einstein desarrolló sus investigaciones como un *hobby* o afición en el –abundante– tiempo libre que le ofrecía su puesto laboral sin realizar ningún tipo de trabajo experimental, sino planteando sus celebrados "experimentos mentales" en los que se imaginaba escenarios hipotéticos y trataba de darles una explicación.

Pero, posiblemente, la mejor forma de acercarse y comprender la figura y genio de Einstein sea a través de sus propias palabras; mediante una selección de citas que nos lo presentan en estado puro:

"Cuando examino la forma en que pienso llego a la conclusión de que el regalo de la imaginación ha significado para mí más que el talento para absorber el conocimiento absoluto"

"Fue una de las personas más hermosas que he conocido (Planck) pero realmente no entendía de física porque durante el eclipse de 1919 permaneció de pie toda la noche para ver si era capaz de confirmar la desviación de la luz por el campo gravitatorio. Si realmente hubiera entendido la Teoría General de la Relatividad se habría ido a la cama como hice yo"

"Los conceptos físicos son creaciones libres de la mente humana y no están, a pesar de lo que pueda parecer, únicamente determinadas por el mundo exterior"

"Una teoría es tanto más impresionante cuanto mayor sea la simplicidad de sus premisas, cuantas más clases de cosas explique y cuanto más extensa sea su área de aplicación"

"En física las construcciones a priori son tan esenciales como los hechos empíricos"

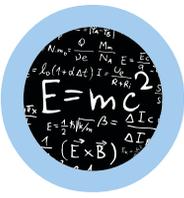
" Toda la ciencia no es más que un refinamiento del sentido común"

"Lo importante es no cesar de preguntarse cosas"



Einstein, la punta del iceberg

Los primeros años del siglo XX son conocidos como la Belle Époque: un periodo de optimismo, vitalidad, aperturismo, experimentación y constante innovación en la sociedad. Una Belle Époque que asimismo experimenta la ciencia y muy especialmente la física que se verá convulsionada por un auténtico *tsunami* con dos epicentros: la relatividad y la mecánica cuántica. Y todo gracias a una excepcional generación de científicos capitaneada por Einstein: Bohr, Planck, Heisenberg, Schrödinger, Born, Dirac, De Broglie, Pauli...



Relatividad

SuperNobel

"El trabajo de Einstein sobre el movimiento browniano habría merecido un premio Nobel razonable, el efecto fotoeléctrico un gran premio Nobel, pero la relatividad especial y $E=mc^2$ merecían un superpremio Nobel"

(Frank Wilczek, premio Nobel de Física en 2004)

Pese a que 1905 fue su *annus mirabilis*; que en 1915 formuló su Teoría de la Relatividad General; y que en 1919 ésta fue confirmada experimentalmente con la expedición del eclipse de Arthur Eddington; Einstein aún hubo de esperar un par de años más y unas cuantas nominaciones mediante –hasta un total de 62– a que su trabajo fuese reconocido con la concesión del premio Nobel, en 1921, "por sus servicios únicos a la física teórica y en particular por su explicación de la ley del efecto fotoeléctrico" –y no como suele creerse por la Teoría de la Relatividad–.

Como ya se ha dicho, en esa época, también se produjeron otros trabajos dignos de un superpremio Nobel. Vincula cada uno de los siguientes premiados con el galardón de Física con el hito por el que le fue concedido:

1 Wilhem Röntgen	a. Por su creación de la mecánica cuántica
2 Pierre y Marie Curie	b. Por el descubrimiento de los destacables rayos nombrados en su honor
3 Max Planck	c. Por su descubrimiento de la naturaleza ondulatoria de los electrones
4 Niels Bohr	d. Por su descubrimiento de nuevas formulaciones de la teoría atómica
5 Louis de Broglie	e. Por sus descubrimientos relacionados con el fenómeno de la radiación
6 Werner Heisenberg	f. Por su descubrimiento de los cuantos de energía
7 Erwin Schrödinger y Paul Dirac	g. Por su investigación de la estructura de los átomos y la radiación que estos emiten

Solución SuperNobel:

1-b; 2-e; 3-f; 4-g; 5-c; 6-a; 7-d

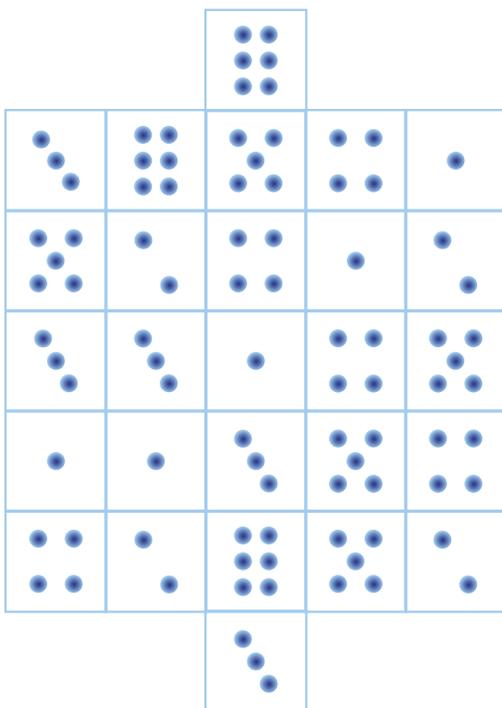
“Dios no juega a los dados”

Esta conocida sentencia de Einstein es la lapidaria frase final con la que cierra una carta dirigida a Max Born en la que dejaba constancia de su negativa a aceptar la incertidumbre inherente a la física cuántica:

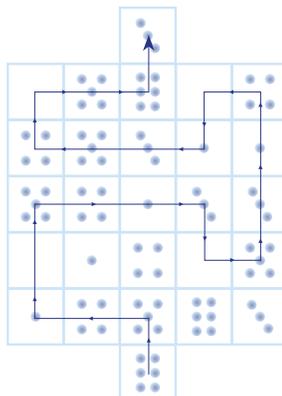
“La mecánica cuántica obliga a que se la respete. Pero una voz interior me dice que todavía no es la cosa real. La teoría nos aporta muchas cosas, pero apenas nos acerca al secreto del Viejo. De todas formas yo estoy convencido de que Él no juega a los dados”

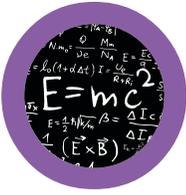
Otra cosa es que tú si estás dispuesto a jugar:

Coloca el dado sobre la casilla de partida con el seis en la cara superior y el uno mirando hacia el tablero y hazlo rodar de casilla en casilla adyacente hasta llegar a la casilla final, teniendo en cuenta que sólo puede desplazarse sobre aquellas casillas cuyo número coincida con el que aparece en la cara superior del dado al ejecutar el movimiento.



Solución:





Relatividad

¿qué es eso de la relatividad?

“Relatividad:

(Diccionario R.A.E): Teoría que se propone averiguar cómo se transforman las leyes físicas cuando se cambia de sistema de referencia

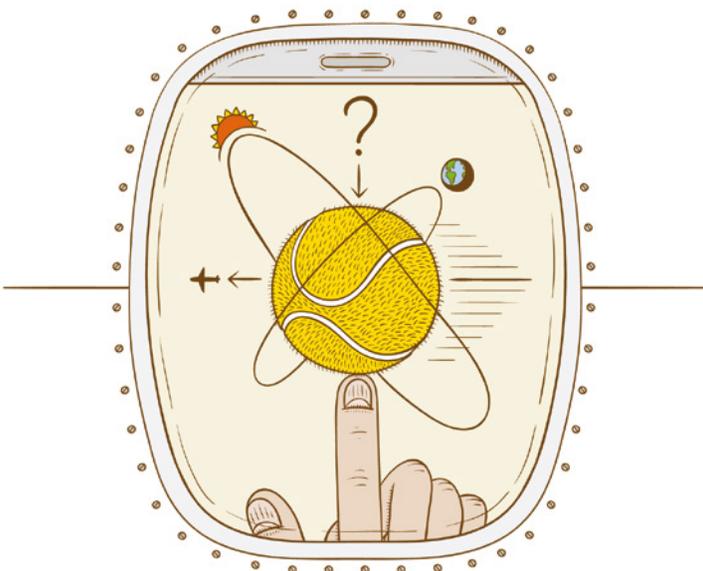
(Oxford dictionary): Dependencia de varios fenómenos físicos con respecto al movimiento relativo entre el observador y los objetos observados, especialmente en relación a la naturaleza de la luz, el espacio, tiempo y gravedad”

La idea de la relatividad es, en esencia, muy sencilla y hasta bastante intuitiva: surge de la imposibilidad de encontrar una referencia absoluta con respecto a la cual determinar la velocidad a la que se mueven las cosas.

Plantéatelo de esta manera: aunque mientras lees esto aparentemente tengas la sensación de estar en reposo, lo cierto es que te encuentras sobre la superficie de un planeta que gira a velocidad vertiginosa sobre sí mismo y alrededor del Sol, que a su vez gira alrededor del centro de la Vía Láctea, una galaxia que también está en movimiento. Es decir, no existe en el universo un punto de referencia que podamos establecer como fijo o absoluto. Todos los movimientos son relativos y por tanto la velocidad con que se mueven las cosas unas con respecto a otras también.

El primer científico en considerar esta cuestión fue Galileo Galilei al afirmar que resulta imposible distinguir si estamos en reposo o nos movemos con velocidad uniforme. Isaac Newton recogió el testigo demostrando que las leyes de la mecánica se comportan igual sobre un objeto que está en reposo o sometido a un movimiento uniforme (mientras se desplace en línea recta a velocidad constante), por lo que ambas situaciones son indistinguibles y equivalentes.

Una forma muy fácil de constatarlo es viajar en algún medio de transporte que se desplace a velocidad de “cruceiro” como puede ser un tren o, mejor aún, un avión. Una vez finalizada la operación de despegue y estabilizado el aparato, sentado en tu butaca puedes leer la prensa, trabajar en tu portátil, tomar un refresco e incluso comer un plato de cuchara sin percibir que viajas a gran velocidad. Hasta puedes colocar una pelota sobre una superficie horizontal y comprobar que permanece quieta, como si el avión estuviese detenido.



Pues bien la idea de la relatividad, es decir, la imposibilidad de encontrar una referencia absoluta también puede aplicarse al tiempo. Y aunque de buenas a primeras puede sonar "a ciencia ficción" lo cierto es que es algo muy "real". Piensa, sin ir más lejos –bueno, tal vez un poco–, en lo que sucede cuando realizas un viaje a algún lugar distante como puede ser Nueva York. Supón que embarcas en Madrid a las 14:00 horas y que tras volar durante 8 horas, al aterrizar, mientras tu reloj marca que son las 22:00 horas de la noche, resulta que en la Gran Manzana sólo son las 16:00 horas y, como quien dice, la tarde aún acaba de empezar.

Y aunque no resulta tan sencillo de entender y de experimentar, la relatividad también puede extenderse al tamaño de las cosas e incluso a la masa. Aunque no es una analogía muy precisa puedes intentar verlo así: mientras que para Sabela, mi hija de 7 años, yo soy muy alto y peso mucho; para mi madre –como no podía ser de otra forma habiendo una madre de por medio–, estoy demasiado flacucho; en tanto que cualquier adulto me definiría como un individuo de constitución normal.

Gedankenexperiment ? La dieta del ascensor

Coloca una báscula de baño en el ascensor de un rascacielos y mira cuánto pesas en el momento de comenzar el ascenso, durante el trayecto y en el momento de parar en el último piso. ¿Aprecias variaciones en el peso que marca la báscula en cada una de las situaciones? ¿Cuándo estás más "gordo" y cuándo eres más ligero? ¿Cuánto pesas mientras el ascensor se mueve a velocidad constante? ¿y cuando estás en reposo?

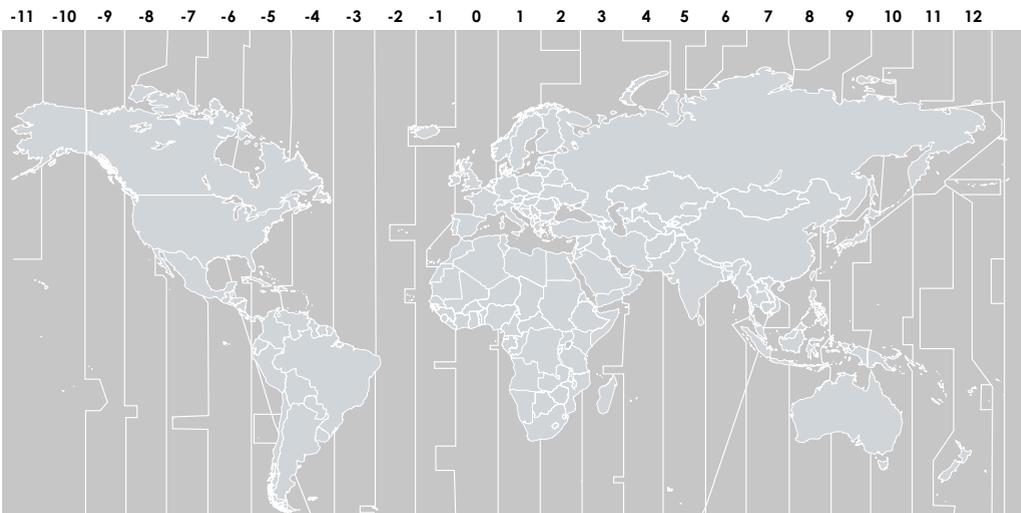
*Si no te animas a buscar, con la báscula bajo el brazo, un rascacielos en el que realizar el experimento siempre puedes tratar de razonar qué es lo que va a pasar; y si no, en última instancia, puedes buscar en Youtube algún vídeo que muestre el experimento en cuestión.

Sincronicemos nuestros relojes Señor Fogg

Determina qué hora marca el reloj del Señor Fogg y qué hora marca el reloj del aeropuerto en cada una de las paradas de esta vuelta al mundo en la que lo embarcamos, teniendo en cuenta la duración de los distintos trayectos.

Madrid → Nueva York → Londres → Tokyo → París → Atenas → Madrid

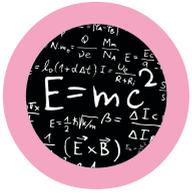
Duración vuelo (Horas)	8	7:15	12	12:30	3:20	4
------------------------	---	------	----	-------	------	---



Solución a Sincronicemos nuestros relojes:

$$14:00 + 8 - 6 = 16:00 + 7:15 + 5 = 04:15 \text{ (día 2)} + 12 + 8 = 00:15 \text{ (día 3)} + 12:30 - 7 = 05:45 + 3:20 + 1 = 10:05 + 4 - 1 = 13:05 \text{ (día 3)}$$

Si el viaje comienza en Madrid a las 14:00 horas del día 1



Relatividad

La Teoría de la Relatividad Especial

“-Son las cuatro de la madrugada

-Lo sé. Una mala noche parece toda una semana

-La relatividad...

-¿A qué te refieres?

-A la Teoría de la Relatividad de Einstein. Si sujetas un cazo muy caliente, un segundo te parece una hora. Si te acuestas con alguien que te gusta, una hora te parece un segundo. Todo es relativo.

-Estudié ingeniería en el Tecnológico de California y es la mejor explicación de física que he oído”

(Deep Blue Sea, 1999, Renny Harlin)

A principios del siglo XX la física se encontraba en una encrucijada consecuencia de la manifiesta incompatibilidad entre las leyes de la mecánica clásica newtonianas y las del electromagnetismo, formuladas por Maxwell con sus ecuaciones.

Una inconsistencia que Einstein consiguió resolver enunciando en 1905 su revolucionaria Teoría de la Relatividad Especial. Para desarrollarla partió de dos postulados o premisas básicas:

1

No existe en el universo un sistema de referencia absoluto

2

La luz viaja siempre a la misma velocidad en el espacio vacío, independientemente del movimiento de la fuente que lo emita

Con estas dos premisas en mente imaginemos una nave espacial que pasa a toda velocidad por delante de una estación espacial. En ese momento, el piloto activa un rayo láser orientado en vertical del suelo al techo. Para el piloto el rayo sigue una trayectoria vertical pero para el astronauta que se encuentra en la estación, el haz láser describe una trayectoria inclinada y, en consecuencia, más larga. Pero si se acepta que la velocidad de la luz es constante e igual para ambos y puesto que la luz ha recorrido una distancia mayor para el revisor –y teniendo en cuenta que la velocidad se define como el cociente entre la distancia recorrida y el tiempo empleado en cubrirla ($v = s/t$)– entonces no queda más remedio que asumir que el tiempo ha avanzado más deprisa para el revisor. En conclusión, en el marco de la Teoría de la Relatividad Especial el tiempo es relativo y depende del sistema de referencia.

Una dependencia expresada matemáticamente por la ecuación:

$$t' = t \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Donde t' es el tiempo medido por el reloj del piloto de la nave, que viaja a la velocidad v y t el tiempo transcurrido según el reloj del astronauta de la estación espacial, de lo que se deduce que el tiempo se dilata o transcurre más lentamente cuanto mayor sea la velocidad a la que nos desplazamos

Un efecto de la Relatividad similar al de la dilatación temporal es el de la contracción espacial: las longitudes se contraen en la dirección del movimiento. Así, cuando dos naves espaciales iguales se cruzan viajando con velocidades próximas a las de la luz y en sentidos opuestos, cada uno de los pilotos piensa que la otra nave es más corta que la suya. Los objetos que se mueven con velocidad uniforme respecto a un observador se acortan o contraen en la dirección del movimiento según la ecuación:

$$l = l' \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Siendo l la longitud medida por el observador y l' la medida por el piloto.

Todavía más contraintuitivo resulta el hecho de que en la Teoría Relatividad Espacial la masa de los objetos también es relativa, aumentando conforme mayor sea la velocidad a la que viaja con respecto a la medida cuando el objeto estaba en reposo, tal y como refleja la ecuación:

$$m' = m / \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Con C de calcular

Calcula la longitud que mediría un observador, la masa que adquiriría el vehículo y el retraso que marcaría el reloj del piloto del mismo para los siguientes vehículos atendiendo a sus especificaciones técnicas:

Un coche de Fórmula 1: 345 Km/h; 700 Kg; 4,5 m longitud

Avión Boeing 787: 912 Km/h; 228000 Kg; 57 m

Transbordador espacial: 27875 Km/h; 2 Ton; 37,24 m

Sonda espacial Juno: 270000 Km/h; 3625 Kg; 3,5 m

Halcón Milenario: 1050 Km/h; 25 Ton; 27 m

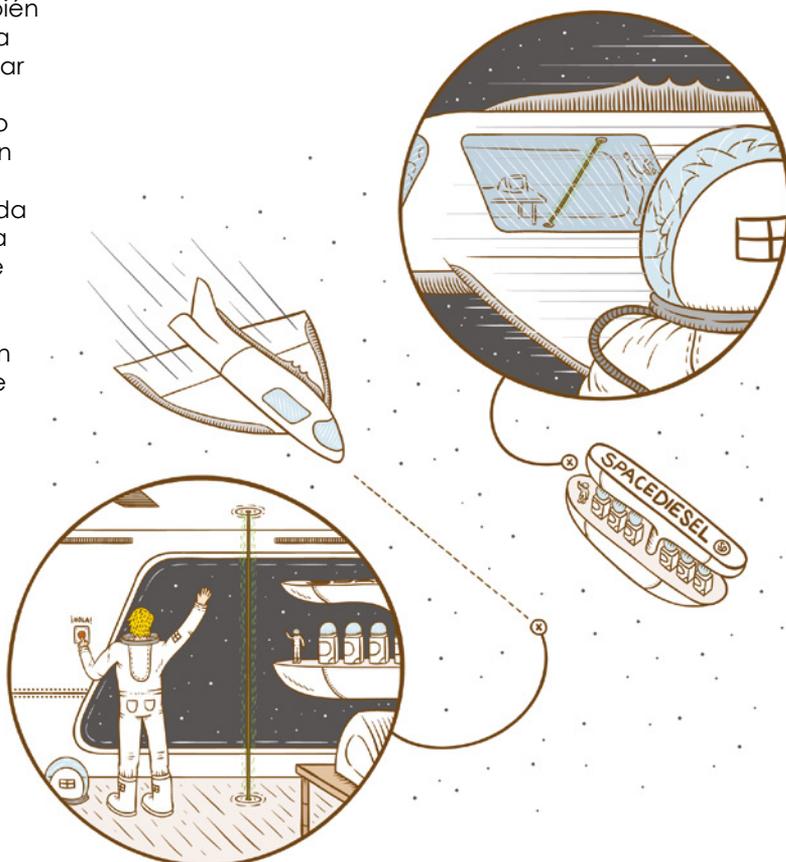
Gedankenexperimente: Viajes en el tiempo

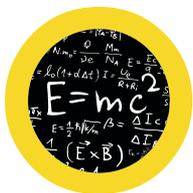
La Teoría de la Relatividad Especial permite viajar en el tiempo, aunque sólo sea hacia el futuro: al desplazarse a velocidades cercanas a las de la luz el tiempo transcurre más despacio, se dilata, tal y como plantea la conocida paradoja de los gemelos.

Pero además, que la velocidad de la luz sea constante y finita también permite "echar un vistazo" el pasado, aunque sólo sea como mero observador. De hecho, cada vez que nos miramos a un espejo, dado que la luz tarda un lapso en recorrer la distancia de ida y vuelta entre nuestros ojos y el cristal, lo que en realidad estamos viendo es una imagen de cómo éramos justo un instante antes. Y como la luz viaja más lenta en el agua que en el aire, si repites el experimento sumergido aún nos veremos un pelín más jóvenes.

Lo anterior plantea también un dilema: si realmente la luz tarda un lapso en viajar y lo que vemos reflejado en el espejo es el pasado "reciente", si ponemos un reloj de aguja frente al espejo, ¿la esfera reflejada marcará exactamente la misma hora o un instante antes?, ¿entonces no es cierto que un espejo ofrece siempre la imagen especular del objeto que se le enfrenta?

Este fenómeno que puede parecer anecdótico no lo es tanto cuando se trata de la luz que vemos procedente de estrellas muy distantes. Incluso es posible que las veamos cuando, de facto, ya no existen, ya se han extinguido.





Relatividad

La Teoría de la Relatividad General

“Rechazamos el espacio tiempo de la literatura relativista. Quien encuentre gusto en ello, puede sostener que el Espacio es la cara externa del Tiempo, o el cuerpo del Tiempo, o que el Tiempo está empapado de Espacio, o viceversa, o que de determinada y curiosa manera, el Espacio es meramente un subproducto del Tiempo, o, mejor, su cadáver, o que, a fin de cuentas, a final de cuentas, el Tiempo es el Espacio; esa clase de parloteo puede resultar agradable, sobre todo cuando uno es joven; pero nadie conseguirá hacerme creer que el movimiento de un objeto (digamos una aguja) a través de un determinado trozo de espacio (digamos, la esfera de un reloj) sea algo de la misma naturaleza que el “paso” del tiempo”

(Ada o el ardor; Vladimir Nabokov)

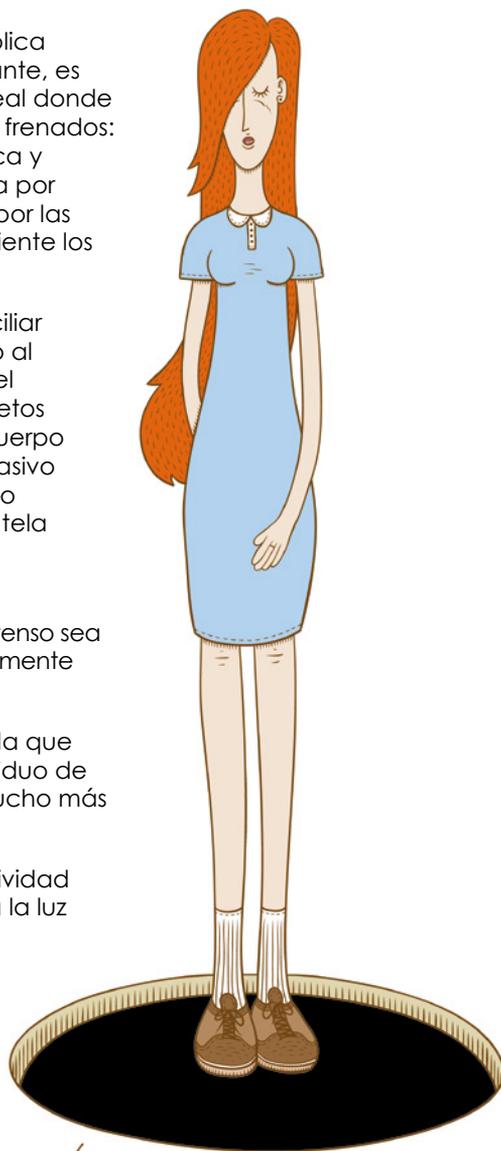
La Teoría de la Relatividad Especial (o Restringida) sólo se aplica cuando los movimientos son rectilíneos y a velocidad constante, es decir, que apenas aclaraba nada con respecto al mundo real donde prácticamente todos los cuerpos están siendo acelerados o frenados: desde el ascensor con nuestra báscula cada vez que arranca y alcanza la planta de destino hasta la nave espacial pilotada por el astronauta cuando gira, cambia de trayectoria o circula por las proximidades de algún planeta, estrella o cuerpo masivo y siente los efectos de su gravedad.

Tras diez años de improbables esfuerzos, Einstein consiguió conciliar y amoldar su teoría primigenia a las condiciones del universo al enunciar la Teoría de la Relatividad General que explicaba el tirón gravitatorio que ejercen todos los cuerpos sobre los objetos cercanos como consecuencia de que la presencia de un cuerpo deforma el tejido espacio-tiempo, tanto más cuanto más masivo sea éste. Una situación análoga a cómo una bola de billar –o cualquier otro objeto pesado– deforma la superficie de una tela suspendida en el aire y tensada por sus cuatro esquinas.

Como no podía ser de otra forma, en la Relatividad General la gravedad afecta asimismo al paso del tiempo. Cuanto más intenso sea el campo gravitatorio que experimenta un individuo más lentamente avanzará su reloj, es decir más se dilata el tiempo.

En lo tocante a las longitudes, los cuerpos se estiran a medida que aumenta la atracción gravitatoria, por lo que el mismo individuo de antes será un poco más alto en la Tierra que en la Luna y mucho más aún en el Sol.

Otra de las consecuencias implícitas de la Teoría de la Relatividad General es que la presencia de una masa también afecta a la luz curvando su trayectoria por efecto de la deformación de la región del espacio-tiempo por la que viaja. Por ejemplo, en su viaje hasta la Tierra, la luz procedente de una estrella distante se vería curvada al pasar cerca del Sol, fenómeno conocido como deflexión de la luz. Y precisamente la observación de este fenómeno fue la primera evidencia experimental que confirmaba la vigencia de la Relatividad General y encumbraba a su creador. En 1919 el astrónomo Sir Arthur Eddington, durante un eclipse solar, realizó mediciones que confirmaron que la luz de las estrellas se desviaba en función de la curvatura del espacio-tiempo deformado por la masa solar en la medida en que predecía la teoría einsteiniana.



ES UN AGUJERO
ES NEGRO

Gedankenexperiment: Una siesta con mucho tirón... (gravitatorio)

La mejor forma de comprobar y experimentar en primera persona el tirón gravitacional consecuencia de la deformación del tejido espacio-tiempo que propugna la relatividad general es buscar en pareja un colchón de matrimonio lo más blando posible –ya si es de agua, mejor que mejor–. Una vez localizado no tienes más que acostarte e invitar a tu partenaire a que haga lo propio. Notarás cómo su presencia deforma el colchón espacio-temporal provocando que “caigas” un poco hacia él. Tanto más cuanto más masivo sea.

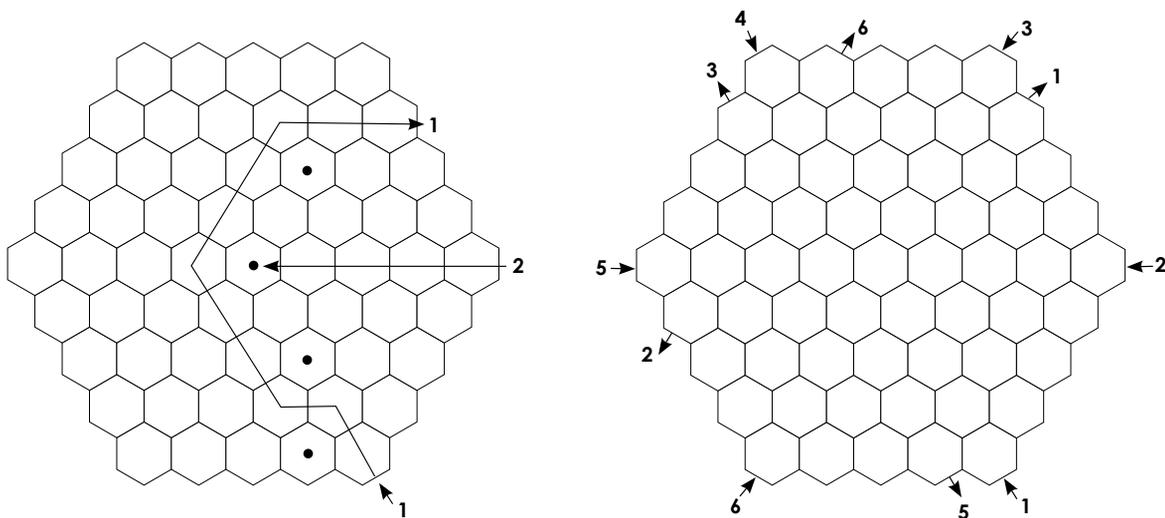
Detectando agujeros negros

Una manera de localizar agujeros negros es detectar efectos gravitatorios o, en términos relativistas, deformaciones del espacio-tiempo que provocan que las trayectorias de las cosas que pasan por sus proximidades (planetas, rayos de luz, etc.) se curven hacia dentro.

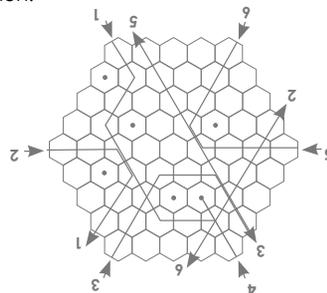
Este es el sistema que hemos empleado en este juego. Tenemos una región del espacio (o espacio-tiempo) dividida en hexágonos para facilitar su estudio. Sabemos que en dicha región hay 6 agujeros negros (que como no emiten luz no se ven) y ahora queremos determinar su posición exacta, esto es, delimitar en qué hexágono se encuentran. La flechas numeradas indican la posición por la que entran y salen (si es que salen) los 6 rayos de luz. Hay que tener en cuenta que:

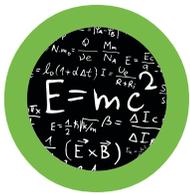
- 1** Los rayos de luz viajan en línea recta mientras no sientan los efectos de un agujero negro.
- 2** Que los rayos de luz que alcanzan un agujero negro son absorbidos por él y por tanto no “salen” (no hay flecha de salida).
- 3** Que la presencia de un agujero negro en un hexágono vecino provoca una desviación de la luz de 120° hacia dentro (hacia el agujero negro).

El comportamiento de los rayos de luz se aprecia con claridad en el ejemplo adjunto.



Solución:



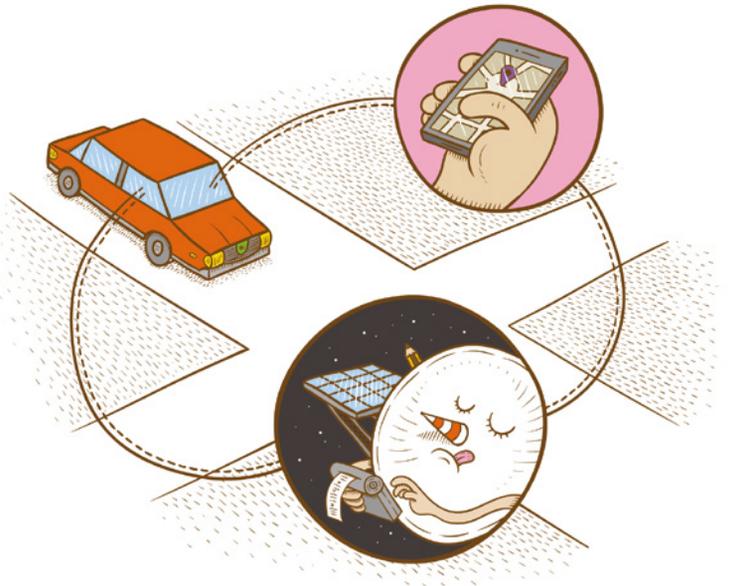


Relatividad

importancia relativa

“Newton destronó a Aristóteles. Einstein destronó a Newton. Mañana algún otro destronará a Einstein. Apenas terminamos de entender una teoría, otra nueva la reemplaza. No me molestaría mucho si nos hubieran advertido que las ideas viejas eran provisorias. La ley de la gravedad de Newton, la llamaban, y aún se determina así. Pero, si se trataba de una ley de la naturaleza ¿cómo pudo haber estado equivocada? ¿Cómo pudieron desplazarla? Sólo Dios puede abolir las leyes de la naturaleza, no los científicos. Si Albert Einstein tenía razón, entonces Newton era un aficionado, un chapucero...”

(Contact, Carl Sagan)



Es bien cierto que en nuestra realidad cotidiana, protagonizada por objetos modestos en cuanto a masa y que se mueven a velocidades muy pequeñas, la mecánica clásica, la basada en las leyes de Newton, es perfectamente válida dado que los efectos relativistas son inapreciables. Pero la situación cambia por completo a escala cósmica. Es más, a la hora de tratar de estudiar y entender el universo es imprescindible recurrir a la teoría einsteiniana.

No obstante, lo anterior no significa, ni mucho menos, que la relatividad no dirija y conduzca tu día a día. Más bien todo lo contrario. Y es que una de las principales aplicaciones prácticas de la relatividad son los dispositivos de localización por satélite, los populares GPS. La precisión de estos aparatos depende de los relojes instalados en cada uno de los satélites que conforman el sistema. Satélites que orbitan a unos 20 000 Km de la Tierra y se desplazan a velocidades que rondan los 14 000 Km/h. Condiciones en las que los efectos relativistas ya se manifiestan lo suficiente como para tenerlos en consideración. Debido a la velocidad a la que viajan los relojes avanzan más despacio (dilatación temporal). Pero al mismo tiempo debido a la disminución de la intensidad de la atracción gravitatoria con respecto a la experimentada en la superficie terrestre, los relojes avanzan más rápido. La combinación de ambos efectos provoca que los relojes de los satélites experimenten un adelanto de 38 microsegundos/día respecto a los terrestres. Un desfase que en caso de no tenerse en cuenta provocaría un error de más de una decena de kilómetros en el momento de determinar una posición.

Otra de las consecuencias más “evidentes” de la relatividad viene dada por la celeberrima ecuación $E = mc^2$ que establece la conversión de masa en energía y viceversa y que constituye la explicación de la energía nuclear y el origen de su aplicación práctica.

“No he realizado ninguna contribución a la bomba atómica, ninguna contribución en absoluto”

La bomba atómica supuso la primera gran aplicación práctica derivada de aquella, lo que durante mucho tiempo hizo que se etiquetase a Einstein como el padre de la era nuclear, circunstancia que lo atormentó a lo largo de su vida y a todas luces injusta. Aplicando un razonamiento análogo se le podría considerar asimismo como el padre de una nueva y poderosa fuente de energía llamada a reemplazar a la basada en los combustibles fósiles.

Lo que invita a reflexionar –es más, te invitamos a hacerlo– acerca del debate sobre los beneficios/perjuicios de la ciencia y la tecnología. Cada descubrimiento científico, cada innovación tecnológica es en sí misma un conocimiento neutro. Que se convierta en algo positivo o negativo para la humanidad depende del buen o mal empleo que se haga del mismo. Aunque, en descargo de la ciencia, conviene aclarar que a la larga, los nuevos avances casi siempre acaban reportando beneficios.

Circulando* (*es una pista)

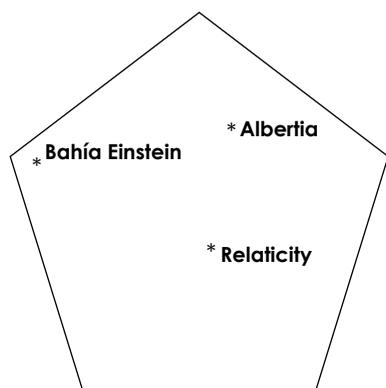
Imagina que estás realizando un viaje por una región que no conoces en absoluto y te has perdido. Por fortuna, en medio del páramo vacío por el que circulas encuentras la siguiente señal indicadora:

Albertia 150 Km

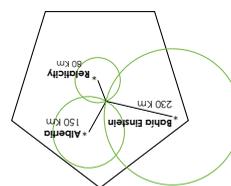
Relaticity 80 Km

Bahía Einstein 230 Km

Con estos tres datos deberías ser capaz de establecer tu posición exacta sobre en el mapa:



Solución:



(escala: 1 cm: 100 Km)

Los receptores GPS establecen tu posición exacta mediante un sistema de triangulación tridimensional a partir de tu posición relativa con respecto a tres de los satélites del sistema con el mismo método, por triangulación con la salvedad de que en lugar de círculos, dado que se trata de un espacio tridimensional, determinan la posición mediante la intersección de 3 esferas** (**¿Qué más pistas quieres?)

Convirtiendo materia en energía

Convierte materia en energía siguiendo la pista de las siguientes definiciones relativistas y teniendo en cuenta que en cada caso se indica el número de letras que cambia con respecto a la anterior y si alguna de ellas ha intercambiado su posición (↔)

M A T E R I A

□ □ □ □ □ □ □ □

1 La de Volta y la de los Beatles

□ □ □ □ □ □ □ □

1 Hurto de poca importancia

□ □ □ □ □ □ □ □

↔ Carótida, femoral, aorta,...

□ □ □ □ □ □ □ □

1 Adonde acudes si quieres sentirte como Harry el sucio

□ □ □ □ □ □ □ □

1 Formaba parte de la URSS

□ □ □ □ □ □ □ □

2 Caen chuzos de punta

□ □ □ □ □ □ □ □

1 ¿A dónde vas de vacaciones? (dos palabras)

□ □ □ □ □ □ □ □

2 Ilustre dama

□ □ □ □ □ □ □ □

1 Es... real (dos palabras)

□ □ □ □ □ □ □ □

↔ Es... la hija de Éter y la Tierra (dos palabras)

E N E R G Í A

1

