

RELATOS DE ESPACIO-TIEMPO

Julián Steven Gutiérrez



ediciones
USTA
UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS

Relatos de espacio-tiempo

Autor: Julián Gutiérrez Saavedra

Tamaño: 17 x 24 / 112 Páginas.

ISBN: 978-628-7603-87-5

COMITÉ EDITORIAL

Fr. José Fernando MANCIPE, O.P.
Rector

Fr. José Gregorio HERNÁNDEZ TARAZONA, O.P.
Vicerrector Académico

Fr. José Arturo RESTREPO RESTREPO, O.P.
Vicerrector Administrativo-Financiero

Ruth Marlene Sandoval Ortiz
Directora del Departamento de Ciencias Básicas

Diana Mireya AYALA VALDERRAMA
Directora Dirección de Investigación e Innovación

Juan Carlos CANOLES VÁSQUEZ
Director Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación

Primera edición, 2024
ISBN: 978-628-7603-87-5

Corrección de Estilo:
Santiago María Bordamalo Echeverri

Todos los derechos reservados conforme a la ley. Se permite la reproducción citando fuente.
El pensamiento que se expresa en esta obra, es exclusiva responsabilidad del autor y no compromete la ideología de la Universidad Santo Tomás.

Ilustraciones: María Paula Avellaneda Hernández
Diagramación: Jeison Arley Amaya González, D.G.



Ediciones Usta
Universidad Santo Tomás
2024
Departamento Ediciones Usta Tunja
Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja

Queda prohibida la reproducción parcial o total de este libro por cualquier proceso reprográfico o fónico, especialmente por fotocopia, microfilme, offset o mimeógrafo.
Ley 23 de 1982.

*A mi familia,
a todas las personas que sufren ansiedad,
a todas las personas autistas.*

ÍNDICE

Prólogo	7
Resumen	9
Relato 1: Conde Pátula y las gemas del infinito	11
Relato 2: 14 vidas son dos gatos	29
Relato 3: George Lucas nos mintió.....	43
Relato 4: La curiosidad de Schrödinger mató al gato	55
Relato 5: Sith y El lado oscuro de la Fuerza.....	67
Relato 6: Pizza el Bosón de Higgs: El secreto está en la masa	77
Relato 7: ¿Adivina quién?.....	93



PRÓLOGO

Cuando conocí a Julián y tuve la oportunidad de ver la manera de abordar y compartir sus conocimientos en Física, inmediatamente detecté su habilidad para explicar muchas de las particularidades de esta área del conocimiento. Entonces pensé: “¡Este ‘Físico’ es definitivamente apropiado para enseñarle Física a un sinnúmero de estudiantes, de una manera no común y para nada tradicional! Y es precisamente lo que hoy en día quiere un estudiante y en este caso un aprendiz como Luke, como se aprecia en los relatos que se encuentran en este libro.

Podría decir que logré identificar el tema que apasiona a este ‘Físico’ cuando escuché su charla “Neutrinos, el misterio de las partículas fantasma”, pues con gran admiración observé cómo sus comparativos de las teorías físicas que envuelven a estas partículas con la realidad, además de algunas similitudes con películas y programas de ciencia ficción, despertaron el interés total de su público generando una infinidad de preguntas e inquietudes, a las cuales el ‘Físico’ dio respuesta con emoción y sorprendente claridad. Tal como sucede con Luke en cada una de las historias que están por conocer a continuación.

Y si se están preguntando quién es Luke y de qué tratan estas historias, acompañen a Julián en este recorrido, donde quiere resolver de la manera más sutil y clara los interrogantes que le formula un niño llamado... ¿lo adivinaron? Es Luke, cuya imaginación sobrepasa las barreras de la ciencia, pero resulta que sí tienen explicación. Es entonces el momento en que escucharán

hablar de partículas fantasma, mensajeros, mediadores... Está bien, será de neutrinos, fermiones, bosones, materia, antimateria, energía, entropía, radiación, fluctuación cuántica...

*Brigid Hiomara Pacheco
Decana Facultad de Ingeniería Civil
USTA, Seccional Tunja*

RELATOS DE ESPACIO – TIEMPO

VOLUMEN I

Este libro intentará responder las principales preguntas que se crean en la mente de un niño que quiere ser científico, cuando empieza a descubrir el mundo que lo rodea. En el transcurrir de los capítulos, trataré de acercar al lector a algunos de los conceptos y explicaciones de fenómenos físicos que nos encontramos cuando exploramos el universo en el que vivimos. A través de relatos cortos abordo la física desde una perspectiva más sutil y pedagógica. Estas historias fueron el producto de varias conversaciones con un niño muy curioso de mi vecindario. Esta experiencia me hizo reflexionar y querer aceptar el desafío de responderle de la manera más sencilla los paradigmas que él se creaba en su cabeza. Así que nos vamos a sumergir en las mentes de **Newton, Einstein, Fermi, Schrödinger, Hawking, Planck**, para lograr explicar los grandes misterios del universo.

RELATO 1

Conde Pátula y las gemas del infinito

Luke (L): ¿Existen los *aliens*? ¿Existen extra-dimensiones y universos paralelos? ¿Qué es la antimateria? ¿Puede haber otro *Big-Bang* o, aún mejor, dónde fue el epicentro del origen del universo? ¿Existen partículas que se muevan atrás en el tiempo?

Julián (J): Vamos despacio, querido pequeño amigo Luke, no puedes pasar de cero a la velocidad de la luz en un segundo, ni porque estuviéramos a bordo del legendario halcón milenario de Hans Solo. Necesito un café, son las 10:00 de la mañana del sábado, me encuentro paseando a mi perrita Ginger y me estás abordando con unas de las preguntas que más me costó resolver a lo largo de mi doctorado. Nunca pensé hablar de partículas que ‘viajan’ atrás del tiempo con un chico de mi vecindario. Eres muy curioso, Luke, pero cuéntame por qué quieres hablar sobre viajar al pasado. ¿Quisieras cambiar algo en tu vida? ¿Estás arrepentido de algo? Quiero saber el porqué del interés repentino sobre el espacio-tiempo y del universo.

L: Señor científico, cuando grande quiero poder explicar todo lo que se encuentra a mi alrededor. Quisiera lograr entender lo que pasan por las películas de ciencia ficción como: *Interestelar*, *Volver al futuro*, *Star Wars*. Estas sagas hacen estallar mi cabeza, sin embargo, no logro entender casi nada. Necesito formularle todas estas preguntas que llegan a mi cabeza y que no logro comprender. Mamá me contó que usted es una especie de científico o que está loco. Ella lo ha visto grabando videos en el

vecindario y haciendo dibujos en las calles. Es por eso por lo que he recurrido en busca de su ayuda.

J: Sí, soy científico y no estoy loco, aunque algunos de los científicos sí tenían ciertas extravagancias por las cuales los tildaban de locos. Por ejemplo: **Pitágoras** padecía una fobia muy extraña, no se acercaba, tocaba o comía habas. **Nicola Tesla** era obsesivo - compulsivo con la limpieza y algunas rutinas raras como la de darle muchas vueltas a un edificio antes de entrar en él, y amaba las palomas. **Richard Feynman** era un Físico muy fiestero y melómano, y a mí me gusta rayar en las calles como si fueran tableros donde fluye mi imaginación.



Foto 1: Diagramas de Feynman de la interacción débil (una de las cuatro interacciones fundamentales), producto de una explicación con mi amigo del vecindario.

Quisiera haber tenido tu energía y emoción cuando pasaba las noches durante mi estancia doctoral, sin dormir, tratando de entender el misterio de las partículas más abundantes y misteriosas del universo, los vampiros de la física, las partículas fantasmas, los llamados neutrinos.

L: Señor científico, es decir, ¿existen los vampiros? ¿Cómo son? ¿Ha logrado ver alguno? ¿Cómo los atrapo? ¿En dónde viven?

J: Luke, te asombrarías si te dijera que aproximadamente sesenta y seis mil millones de neutrinos nos atraviesan cada segundo, provenientes de diversas fuentes, hasta extragalácticos. Entran en tu cuerpo y vuelven a salir sin que lo notes a velocidades cercanas a la velocidad de la luz. Estos vampiros están por todas partes y tienen orígenes diversos. Por cierto, en ese plátano que traes en tu bolsillo se están produciendo miles de neutrinos en este momento, debido al decaimiento del isótopo Potasio 40 (^{40}K), el cual decae en Calcio 40 (^{40}Ca). Nuestros cuerpos de forma natural, espontánea, están produciendo cientos de millones de neutrinos al día¹. Existen otros deambulando desde el origen del universo. En un centímetro cúbico de universo hay aproximadamente 300 neutrinos, reliquias del *Big-Bang*, son viajeros del tiempo. ¿Puedes creerlo?

L: Pero, ¿cuál es la fuente luminosa más grande que produce neutrinos?

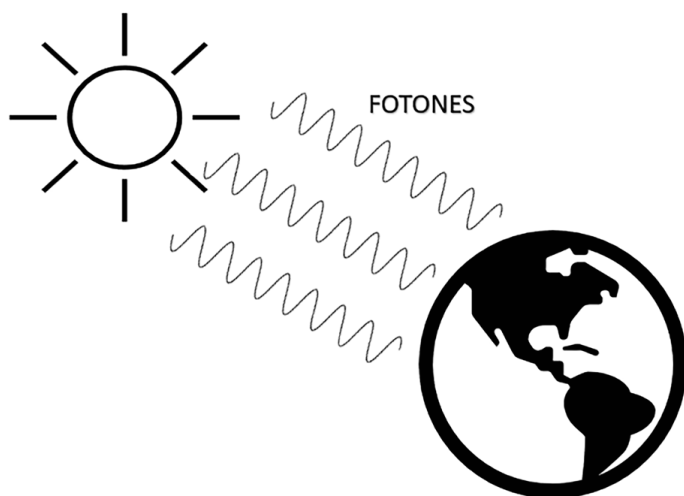


Figura 1: Radiación proveniente del sol.

¹ Cf. Entrevista a Yoji Totsuka. Disponible en: <https://www.uv.es/pou/docencia/Piloto0304/Neutrinos.pdf>

J: La fuente más luminosa, familiar y gigantesca que conocemos de neutrinos es el sol. Resulta paradójica la analogía que hago, ya que los neutrinos se producen en el sol y a su vez los vampiros le temen a esta estrella o si no pregúntale al conde Pátula.



Figura 2: Conde Pátula. Imagen recuperada de: https://aminoapps.com/c/dibujos_animados/page/item/conde-patula/7e2s_NiKldRrdDKdQjQnRgBPom8jDv

L: Pero, ¿qué pasaría, señor científico, si estos vampiros no existieran? ¿En qué cambiaría el universo? ¿Afectaría algo nuestra existencia?

J: Luke: para responderte todas esas preguntas necesitaría más que un café y muchas más salidas al parque con mi perrita Ginger, pero no creo que hoy alcancemos a responder todo lo que se viene a tu cabeza, aunque si trataré de darte pistas sobre la importancia de la existencia de estos vampiros. La “física” se remonta a Aristóteles, un Físico innato muy particular. Él escribió un libro sobre la filosofía natural -como se le conoce a la física-, y muchas de sus preguntas se discutieron por muchos años en la antigua Grecia.

L: Señor científico, qué pena que te interrumpa, ¿nos podemos saltar unos miles de años? Es que tengo que ir a almorzar y se me hace tarde. ¿Existe alguna relación entre las 4 fuerzas que existen

en el universo -de las que hablan en *Star Wars* o de *El lado oscuro de la Fuerza* con el vampiro conde Pátula?

J: Está bien, pequeño amigo, utilizaré un modelo mecánico pedagógico, utilizado por el Físico Fermi, para ilustrar lo que ocurre entre las partículas.

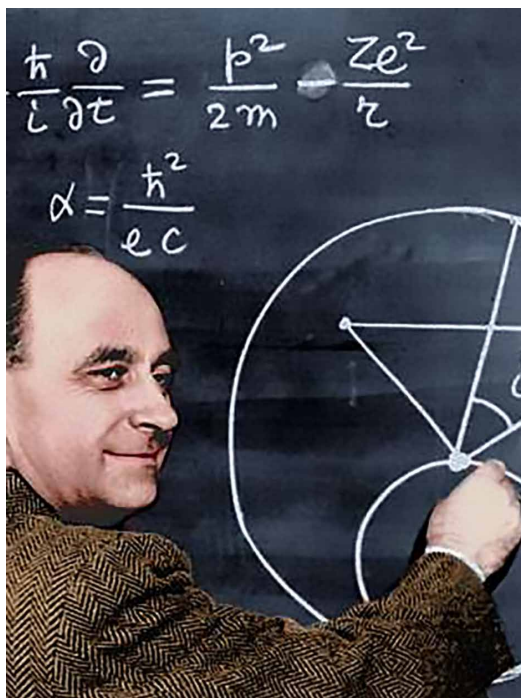


Foto 2: Enrico Fermi. Imagen recuperada de: https://todayinsci.com/F/Fermi_Enrico/FermiEnrico-Quotations.htm

Imagina que tienes un acordeón y lo sujetas para interpretar una canción. En una mano tenemos el teclado y en la otra mano los botones que produce los bajos. Las teclas del lado derecho y los botones en el lado izquierdo no se pueden tocar; sin embargo, pueden interactuar y dar como resultado una melodía muy armónica. Esto es posible gracias al fuelle, que es ese resorte grande que los une. A este resorte se le llama *acoplamiento* y depende de lo rígido que sea ese resorte (no todos los fuelles son iguales). Cuando impulsamos nuestra mano hacia la otra a

través del acordeón estamos transfiriendo energía, y esta es transferida por el resorte que hace las veces de un mensajero de la información.



Figura 3: Modelo pedagógico de interacción utilizado por Fermi.

Todas las interacciones en el universo siempre estarán mediadas por un mensajero al que se le conoce como *cartero* y en el bajo mundo de la física de partículas a estos carteros se les conoce con el nombre de *Bosones*, que son varios dependiendo de la fuerza o de la empresa de transporte en la cual se muevan, si así lo quieres ver. Por cierto, se llama *Bosón mediador* y no *Bolsón*, no es el *hobbit* de la película de *El señor de los anillos*. La energía del resorte representa el acoplamiento entre el Bosón y la partícula. A las partículas que en nuestro caso vendrían siendo las teclas o los botones se les llama *Fermiones*, y este acoplamiento nos indica lo fuerte que es la fuerza o la interacción entre estas partículas. Los Bosones son partículas sociales, pues pueden estar todos en un mismo punto, los fermiones son más selectivos y les gusta estar separados. Si todas las partículas del universo estuvieran en una escalera eléctrica, cada fermión ocuparía un peldaño o escalón, mientras que a los bosones no les incomodarían compartir el mismo espacio (a esto se le denomina estadística de Bose-Einstein y de Fermi-Dirac).

No pueden existir interacciones sin carteros, no puedes lograr invitar a una chica a tomar un café si no le envías una nota, o si no la llamas o si no le envías una señal de humo; ella necesita un mensaje. Así funcionan las cuatro interacciones fundamentales que existen en el universo. Sólo somos un mar de partículas y resortes vagando en el espacio-tiempo.



Figura 4: Descripción de la distribución de Fermi-Dirac.

L: Señor científico, pero no me ha respondido: ¿Cuáles son esas cuatro interacciones fundamentales? Más aún: ¿qué pasaría si los vampiros no existieran?

J: Luke, pensé que cuando hiciste la pregunta de las 4 fuerzas, ya tenías conocimiento sobre su naturaleza y su origen. Vamos a requerir de más salidas al parque para poder responder a tus preguntas. Pero bueno, no me detengas, te contaré sobre las cuatro increíbles fuerzas que hay en el universo, fuerzas que experimentas a diario y de las cuales no te das cuenta. ¿Recuerdas la saga de *Star Wars*? La fuerza era manipulada por los *Jedi* con la mente, pero sabías que el primer Jedi fue Newton. ¿Conoces a Newton, el de las manzanas? Cuando pensamos en Newton y su teoría de la gravitación, a todos nos viene a la mente la famosa manzana que fue su inspiración cuando esta le cayó en la cabeza².



El señor científico Jedi, Sir Isaac Newton, fue el primero en demostrar que las leyes físicas que rigen el movimiento en la Tierra y las que gobiernan el movimiento de los cuerpos planetarios son las mismas. Es decir, que la fuerza de atracción gravitacional que hace caer a la manzana a la tierra es la misma que mantiene a la luna en torno a nuestro planeta Tierra, y la que nos mantiene alrededor del sol y a los demás planetas en órbitas definidas. Sólo necesitas un poco de masa y materia para que esta interacción funcione. ¿Has visto la película de *Ant-man*? Recuerdas que él vive en el mundo cuántico y además de habitarlo, él se dio cuenta que esta interacción gravitacional es poco visible y eficaz a nivel atómico. A escalas microscópicas la fuerza gravitacional es despreciable. La gravedad cuántica es uno de los grandes enigmas que existen hoy en día. Einstein imaginaba el espacio-tiempo como una sábana. Si le lanzaras la manzana de Newton a este tejido, lo deformaría y crearías un sumidero como si fuera una carga eléctrica negativa, cuyas líneas de campo van hacia ella.

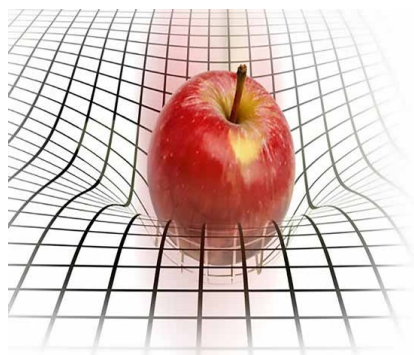
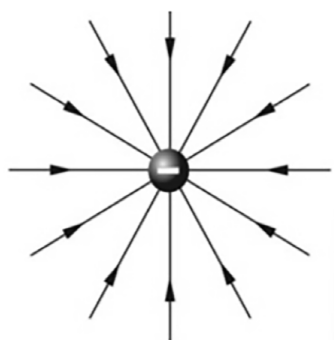


Figura 5: Líneas de campo de una partícula cargada y deformación del espacio-tiempo por un cuerpo masivo (manzana). Imagen recuperada de: <https://medium.com/@raghavchandra/what-is-gravity-1379e85b4aa6>

Así actúa la gravedad a grandes escalas. Las trayectorias que siguen los planetas son debidas a que el sol deformó el tejido espaciotemporal, y nosotros estamos moviéndonos a través de esta trayectoria como cuando el agua en un lavamanos cae hacia el sifón. Ahora, piensa en un electrón que rodea a un átomo. ¿Acaso podrá esta partícula tan diminuta curvar el espacio tiempo como lo pensaba Einstein en su Teoría de la Relatividad?

L: Señor científico, pero si Einstein describe la gravedad como el efecto en el tejido del espacio-tiempo causado por la presencia de materia (o energía), ¿cómo se relacionaría esta teoría con la que estudias de las partículas y los carteros?

J: Vaya lío en que me estás metiendo. En física de partículas la gravedad también se representa por medio de los carteros que median esta fuerza, y se le conocen con el nombre de *gravitones*. Digo que se les conoce porque no hemos sido capaces de detectarlos; sin embargo, no puedo conciliar de manera coherente ambas teorías y aquí abordamos otro problema muy importante y desafiante en la física actual. Los carteros gravitones no los hemos podido cazar, ni ver, por ahora sólo viven en nuestra cabeza. Pero no te desanimes, si logras ver uno puedes ser el próximo ganador de un Premio Nobel. Por cierto,

los vampiros que me preguntaste anteriormente empiezan a aparecer en la siguiente fuerza, llamada la *fuerza débil*.

L: ¿Por qué se le llama fuerza débil? ¿Acaso es menos intensa que la fuerza gravitacional?

J: La fuerza débil es la responsable de que la vida en el planeta tierra exista o por lo menos la vida aeróbica, la que depende del carbono y del oxígeno, y es allí donde radica la importancia de estos vampirillos de la física. Aunque se llame *interacción débil*, no quiere decir que no sea importante y que no esté presente en nuestras actividades diarias. Recuerdas el plátano que ya te comiste, pues él emite antineutrinos, ¡antimateria!, la que me preguntaste cuando te saludé. El 0,012% del potasio del plátano es potasio 40 (^{40}K), el cual es un átomo inestable y como cualquier cosa inestable tiende a querer volverse estable desintegrándose, y en este caso emitiendo radiación.

L: Señor científico, ¿hasta cuántos plátanos puedo comer antes de volverme un ser radiactivo y tener poderes como *Hulk*?



J: Mi nombre no es 'señor científico'. Me llamo Julián, amigo Luke. Por cierto, qué cosas descabelladas dices. Aunque, pensándolo bien, comer un plátano te produce más dosis radiactiva que vivir un año junto a una central nuclear, y no estoy comparando un plátano con una central nuclear, sino la dosis de radiación producida por ambos, pero como ya te lo comiste, te tendrás que aguantar la radiación. ¿Sabías que la medida estándar de los efectos biológicos de la radiación es el Sievert? Aunque esta medida es muy grande, los Físicos e ingenieros nucleares utilizamos para efectos de cálculo, la décima parte de una millonésima de un sievert (0,1microsievert), que es más o menos la dosis que se ingiere al comer un banano. Pero devolvámonos a los vampiros: ¿No estabas interesado en cazarlos? Pues resulta que esta interacción débil es la responsable de que unas partículas se conviertan en otras, al cambiarle la naturaleza a los Fermiones. Es increíble, ¿no te parece? Existe una fuerza que nos hace cambiar nuestra manera de ser, nuestro sabor, nuestra esencia. En el colegio nos enseñan que todo en el universo está compuesto de átomos, y a su vez el átomo está compuesto por un núcleo donde conviven los protones y los neutrones, y que deambulando alrededor de este núcleo están los electrones que son más pequeños que los neutrones y protones. Pues esta interacción hace que un neutrón al hablar con un electrón se convierta en un protón y que el electrón se convierta en un vampiro, es decir un neutrino. Vaya manera curiosa como esta fuerza actúa. Al producirse los neutrinos -por ejemplo en el sol, el cual es una sopa de protones y uno que otro electrón-, se produce lo mismo que ves cuando Goku se une con Vegetta en *Dragón Ball Z*, la llamada fusión. La interacción débil hace que aparezcan muchos neutrones como resultado de que los protones cambian su naturaleza, y estos protones junto con los neutrones pueden crear núcleos estables como el *Helio-4*; otros más complejos como el oxígeno y el carbono pueden producir mucha energía en el proceso, ya que desde el punto de vista energético es muy eficiente este proceso.

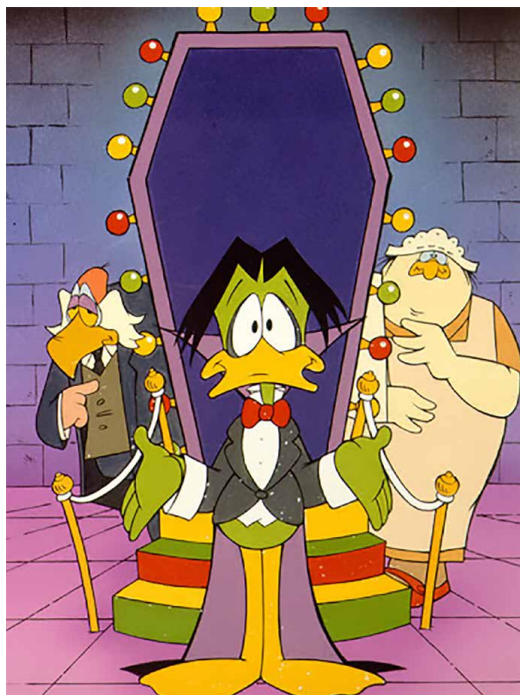


Figura 6: Familia del Conde Pátula. Imagen recuperada de: <https://co.pinterest.com/cpiscocoya/conde-patula/>

Nosotros, los animales y las plantas aprovechamos la energía radiada para poder vivir. Esta reacción se denomina *exotérmica*, debido a que, por ejemplo, cuando quemamos un carbón, la energía que te produce la combustión es más grande que la energía que utilizaste para empezar a quemarlo. Sin la expulsión de los vampiros no podría existir la interacción débil y mucho menos la luz del sol, y tampoco la vida y los núcleos complejos. Igor y Nany estarían muy orgullosos del Conde Pátula; a él le debemos en parte nuestra existencia, ¡ahh!, y a Drácula.

L: Señor Julián, pero hasta el momento sólo ha hablado de dos fuerzas, ¿y las otras dos? ¿De qué se tratan o cómo funcionan?

J: ¿Recuerdas a los carteros del modelo de Fermi, los resortes que acoplan las partículas? Pues resulta que hay otros carteros que trabajan con otro tipo de partículas. Supongamos que de cumpleaños tu mamá te regala una lupa interdimensional con

la cual logras tener un aumento de 100.000 veces cuando miras a través de ella en los objetos. Decides mirar a mi perrita con esta lupa y te encuentras que las primeras partículas que te encuentras son las células de la sangre, es decir los glóbulos rojos, que son 100.000 veces más pequeños que nosotros. Si sigues mirando con tu lupa interdimensional a los glóbulos rojos, descubres que hay partículas 100.000 veces más pequeñas que los glóbulos rojos, los átomos. El origen del átomo se remonta al siglo V a. C. Los griegos pensaban que los átomos eran partículas indivisibles con las cuales se podrían construir todas las cosas del universo; los consideran los ladrillos del cosmos, pero fue más adelante que descubrieron que si rompíamos un átomo con un martillo como el de *Thor*, a los electrones no les pasaba nada. Sin embargo, el núcleo se rompía en sus constituyentes llamados los *quarks*.

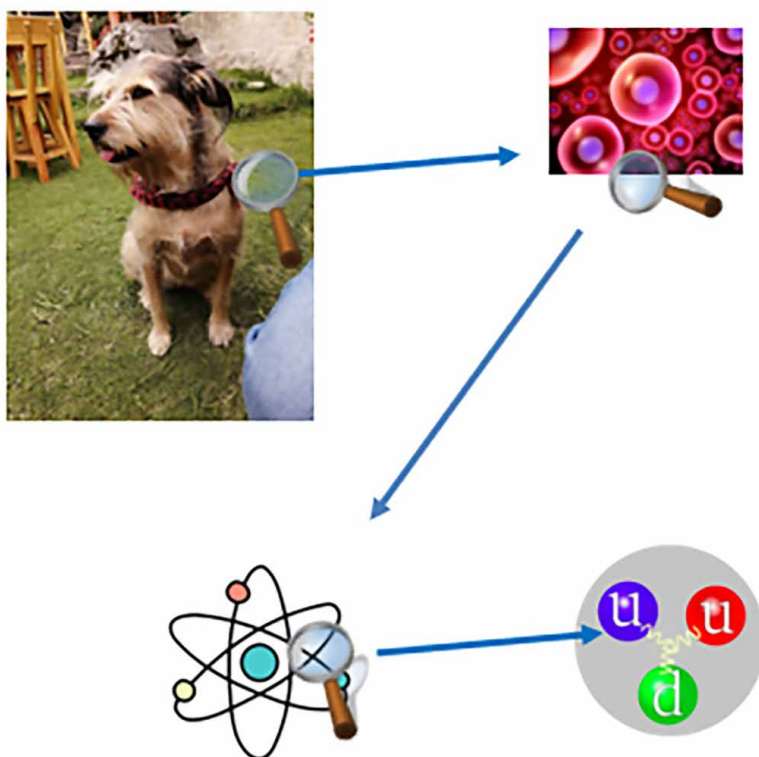


Figura 7: Estructura interna de la materia de Ginger, la perrita de Julián.

L: Señor Julián, ¿qué tienen que ver los patos aquí? He escuchado que están presentes en el núcleo y que hacen *cuac*.

J: Luke, es *quark*, no *cuac*, y no tienen mucho que ver. Aunque los patos también están compuestos por *quarks*. Los *quarks* sí son las partículas más pequeñas que existen en el universo y comparten información de su carga. Esta es la interacción fuerte y el color es la carga que ellos manifiestan. Pero, Luke, no es que los *quarks* sean azules, verdes o rojos, sino que se les asoció una carga de color para identificarlos, y ya te explicare más adelante el porqué de inventarse este número cuántico llamado *color*. Existen tres pares de *quarks*: *Up / Down* (*u, d*), *Charm / Strange* (*c, s*) y *Top / Bottom* (*t, b*) (Moreira, 2009, 1306). A cada partícula le corresponde una antipartícula, es como si a cada superhéroe le correspondiera su *némesis* (polo opuesto), como Spiderman y Venom, como Batman y el Joker, Goku y Freezer. La antipartícula presenta las mismas propiedades de la partícula exceptuando la carga, la cual es opuesta y, por ende, sus interacciones también. Y aquí encontramos las partículas que tú crees que viajan atrás en el tiempo y de las cuales me preguntaste cuando nos encontramos. Entre la materia y la antimateria no puede existir una relación de amor, ya que cuando entran en contacto y chocan, desaparecen y se transforman en energía, en *fotones*.

¿Has escuchado hablar de unos experimentos gigantescos debajo de la tierra en Europa llamado el *CERN*? Pues resulta que allá trabajan muchos Físicos e ingenieros que no tienen nada más qué hacer sino tratar de entender el origen y composición del universo. Estos científicos han puesto a chocar partículas como locos para investigar las componentes de la materia y crear antimateria, pero tranquilo que no van a crear ningún *agujero negro* que destruya la tierra como las personas piensan. Respondiendo a tu inquietud de las antipartículas, no es que a estas las hayamos observado viajando al pasado, sino por increíble que parezca, una antipartícula puede interpretarse como una partícula que se devuelve en el tiempo, como si hubieras grabado una película y la estuvieras viendo al revés. Si alguna vez vas a una clínica y te toman una tomografía por emisión de positrones (*PET*) (Vaquero,

2002), lo sé, suena terrorífico (una especie de radiografía). Estarás expuesto a dosis de antimateria que se aniquilará con tu materia normal y producirás muchos rayitos que abandonarán tu cuerpo y serán detectados por sofisticados aparatos llamados detectores o calorímetros. Para ser sincero contigo -y hablando coloquialmente-, la síntesis de investigación de mi tesis doctoral era demostrar por qué existen más personas buenas que malas en el universo, es decir porque hay un exceso de partículas que antipartículas hoy en día; se trata de la asimetría del universo.

Si nos devolvemos en el tiempo al origen del universo, nosotros somos el resultado de fluctuaciones del vacío al que le llaman *efecto Casimir* (Esquivel, 2011, 23–32). El vacío, aunque no creas o, aunque no parezca tiene energía, una presión interna que en un momento dado osciló y creó un par de partícula- antipartícula. La física es muy curiosa, muy romántica y funciona por parejas, pero así como se crean este par, también si se llegan a encontrar se aniquilarían. El vacío produjo constantemente materia y antimateria por partes iguales, estuvieron tomando café e interactuando por muchos millones de años. Si hoy tuviéramos una balanza especial o un contador de partículas e hiciéramos pasar todo el universo a través, debería encontrar que existe la misma cantidad de materia que de antimateria (personas buenas y personas malas) y, por ende, en algún punto todo se aniquilaría y volveríamos a ser vacío.

L: Y, ¿por qué aún existimos?

J: Resulta que la materia y antimateria han estado chocando al transcurrir los años, aniquilándose y expulsando energía. La aniquilación de estas partículas debería imposibilitar la creación de estructuras de materia como nosotros, como las galaxias. Sin embargo, aún seguimos vivos, lo que nos condujo a pensar y descubrir que existe una asimetría de partículas y antipartículas. ¿Y sabes qué es lo mejor? Que los vampiros también tienen que ver con esto, pero es tema para otro café y otro momento.

L: Pero, señor Físico, tú hablaste de nuevos carteros, pero no me dijiste cómo se llamaban, ni cómo funcionaban, ni para qué servían, ni qué tipo de fuerza median, podrías apresurarte, pues mi mamá ya me está llamando y el almuerzo se enfría...

J: Esta nueva fuerza es la llamada interacción fuerte, es la que mantiene unido a esos *quarks* de los cuales estamos formados todos los objetos materiales. Luke, ¿sabes cómo se dice pegamento en inglés?

L: Sí, señor, se dice *glue*, ¿por qué lo preguntas, señor Julián?

J: Pues estos nuevos carteros -a diferencia de los de la interacción gravitacional- se llaman *gluones*, pegan a los *quarks* para que formen núcleos de materia. Es el pegamento que mantiene estable a los protones y neutrones, que están formados por *quarks*. Este pegamento evita que estos núcleos no exploten y el átomo termine colapsando.

L: Pero, no estoy entendiendo. ¿Por qué el átomo colapsaría así porque sí?

J: Buena pregunta, Luke, aquí es donde entra a jugar la última fuerza fundamental de la Naturaleza, la fuerza electromagnética, la que hace que dos electrones se repelen por tener la misma carga, y la que hace que los polos opuestos se atraigan, ¡no los polos *apuestos*, los polos opuestos! No tiene nada que ver con el comportamiento de las personas; sin embargo, nosotros tendemos a romantizar todo lo que tenemos a nuestro alrededor, y hemos asociado esta interacción a la manera como funciona el amor.

Volviendo a la interacción eléctrica, las partículas que tienen la misma carga se caen mal y no pueden verse, y se repelen cada vez que se ven. Todo esto complica la existencia del átomo, porque los *quarks*, además de tener color y carga eléctrica, también tienden a repelerse y es allí donde el pegamento *gluon* intercede para evitar que colapse, pero hay otros carteros que median la

interacción eléctrica, y se llaman los fotones y son responsables de que los electrones no quieran juntarse ni las partículas de igual carga. En resumidas cuentas, estas son las cuatro fuerzas que componen el universo. Luke, por más alejado que tú estés del planeta tierra o de cualquier estructura material del universo, vas a estar sujeto a cualquiera de estas interacciones, es decir que no somos entes materiales del todo libres, sino que estamos propensos a responder a cualquiera de estas interacciones o fuerzas.

L: Gracias, señor Físico, ya que usted habla de que estamos ligados a estas fuerzas fundamentales, resulta que yo estoy ligado a las fuerzas de mi mamá, ella posee todas las gemas del infinito y de seguro me lo hará saber cuando llegue a la casa y encuentre el almuerzo frío... Hasta mañana.



RELATO 2

14 vidas son dos gatos

Pasaban las 2:00 a. m. y el sonido de los gatos en las tejas me despertaron, lo que me hizo preguntarme sobre el paradero de mi gata supersimétrica Susy (*SuperSymmetry* en inglés). Susy la adopté cuando tenía tres meses en un hogar de paso para mascotas y su nombre lo acuñé cuando en la maestría estaba cursando una asignatura llamada ‘teoría de cuerdas’. En una de esas clases tratamos la supersimetría como una teoría que reúne las cuatro fuerzas fundamentales, las cuales le había explicado a Luke. Proseguí a conciliar el sueño, aunque con la incertidumbre de la ubicación de mi gata. Era paradójico que conceptos como la incertidumbre y ubicación o posición llegarán a mi cabeza, cuando existe un principio físico que fue clave en el desarrollo de la mecánica cuántica y que relaciona a estos dos conceptos y se llama el principio de incertidumbre de Heisenberg.

A veces pensamos que la vida sería muy aburrida si pudiéramos predecir con exactitud qué es lo que va a suceder en cada momento, llamado por Newton determinismo. Por esta razón, Heisenberg nos introdujo un nuevo término que determinaría el comportamiento de las partículas subatómicas: la probabilidad. Gracias a él supimos que la configuración microscópica de las partículas era totalmente incierta. En la vida, como en mecánica cuántica, no hay certeza de nada, la concepción determinista que siempre utilizamos no era tan predecible como siempre creíamos. Las partículas a nivel atómico no asumen una posición determinada ni una sola dirección. De hecho, los electrones pueden dirigirse a infinitos lugares en un mismo momento.

Recordé esa noche la manera como les explicaba a mis estudiantes de física este principio y les ponía el siguiente ejemplo: Supongamos que estamos en un cuarto oscuro y contamos con una pelota, la cual utilizaremos para atinarle a un blanco o tablero ubicado en alguna parte de la habitación, y después de ello determinar la distancia de nosotros al blanco con el sonido del choque. Esta condición nos lleva a empezar a lanzar la pelota en diferentes direcciones, intentando colisionar con el tablero, hasta que después de muchos intentos golpeamos al blanco. En el momento que logramos darle al blanco para así saber la distancia, la fuerza que imprimimos al balón alteraría la posición del tablero; esto quiere decir que al interactuar con el blanco estamos afectando la medición porque lo estamos cambiando de lugar. En resumen, podremos medir la distancia, pero ya no sabremos su paradero ni su velocidad, ya que hemos interactuado con él. Mientras recordaba aquella clase volví a dormir y desperté a las pocas horas a buscar a mi gata. Me di a la tarea de recurrir a mi amigo pequeño científico Luke para intentar encontrarla y saber su paradero.

Al salir de mi casa me di cuenta de que Luke empezó a imaginarse que tenía superpoderes por causa de comer su plátano radiactivo y ahora trepaba árboles y decía tener supervisión. Salí con Ginger y me dirigí hacia él. Noté algo muy particular: estaba mirando a un perro con una lupa, algo frustrado, y me dirigí a saludarlo.

J: Hola pequeño Luke, ¿por qué estás tan agobiado?, ¿cómo va tu día?

L: Señor Julián, no he logrado poder encontrar ningún neutrino en este perro, ahora sé por qué le dicen los 'fantasmas de la física'.

J: El sustantivo de *fantasmas*, Luke, es porque de cada 100 000 000 000 000 000 000 000 neutrinos que nos llegan del sol, únicamente 1 de este trillón logra interactuar con nuestro cuerpo; son tan ligeros porque tienen una pequeña energía que no logramos sentirlos, a pesar de que estamos siendo bombardeados

constantemente por ellos. La masa de los neutrinos es tan pequeña, que es aproximadamente una millonésima parte de la masa del electrón. Por cierto, hablando de fantasmas no has visto a mi gata supersimétrica Susy vagando por ahí; ¿cómo lo hacen los neutrinos del universo primigenio deambulando por todos lados?

L: ¿Gata supersimétrica? Por qué la defines así, señor científico, capté al leer que la supersimetría es una teoría muy avanzada para explicar cómo funciona el universo.



Figura 8: *Quark* de la interacción fuerte.

J: Es así, pequeño amigo; la física completa más de 50 años tratando de construir una teoría que unifique las cuatro interacciones fundamentales. Los Físicos construimos una tablita y organizamos las partículas como los electrones y los *quarks* y sus respectivos carteros, y a esa tablita y sus interacciones la llamamos el *modelo estándar* de partículas elementales. Todas

las partículas materiales o fermiones que forman el modelo estándar se

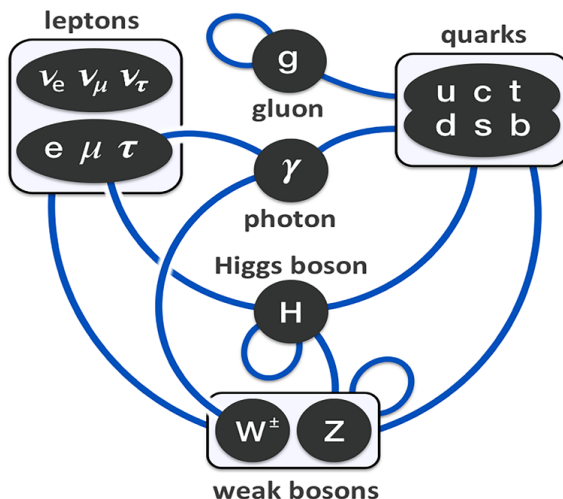


Figura 9: Modelo estándar de la física de partículas. Imagen extraída de: <https://cultura-cientifica.com/2014/06/17/del-modelo-estandar/>

consideran los ladrillos mediante los cuales construimos el cosmos, y los carteros o bosones son los pegamentos o medios que utilizamos para enviar información y crear estructuras. Durante este tiempo, los Físicos hemos realizado muchos experimentos para validar el modelo estándar que, aunque antiguo e incompleto (lo digo por el misterioso *gravitón* y el comportamiento de esta fuerza a nivel cuántico), sigue resultando sorprendentemente efectivo. Las deficiencias del modelo estándar se superaron mediante la aplicación de un tipo de simetría que no se usaba anteriormente en la descripción de partículas elementales.

Las simetrías que describen el espectro de las partículas elementales podrían ser muy diferentes de lo que hemos pensado hasta ahora. Efectivamente, en física las simetrías implican una interpretación más profunda; te mencionaré un ejemplo: supongamos que tienes una pelota y te digo que la dejes caer en un acantilado en este preciso momento. Después de dos

minutos, la pelota seguirá cayendo de la misma manera, y si el acantilado fuera muy grande no sabríamos si ha descendido mucho o poco. Esta propiedad es una manifestación de cierta simetría que no entiendes ahora. Las leyes de la física permanecen sin cambios con respecto al instante de tiempo en que dejamos caer la pelota. Una mujer matemática muy inteligente, Emmy Noether, demostró que las simetrías desempeñan un gran papel en la física porque están relacionadas con los principios de conservación, a través de algo que permanece invariante, sin cambios. La *supersimetría* que mencionaste es una teoría cuántica que asocia a cada partícula de tipo cartero una partícula material llamada *supercompañera*, y viceversa. Es como tener un espejo y cuando te mires a través de él te encuentres más guapo. El único problema de estos supercompañeros es que aún no se han cazado, no los hemos visto y su existencia debería ser un hecho para que funcione todo el universo. Pero no me desvíes del motivo por el cual te estoy hablando. ¿Has o no has visto a mi gata Susy?

L: No, señor, ni gatas, ni neutrinos, ni antipartículas, ni vampiros, no he visto nada de nada, pero podría ayudarte a buscarla, no debería ser difícil encontrarla. ¿Cuántos años tiene?

J: Pienso que a lo sumo 7 u 8 años, yo la adopté en la universidad cuando cursaba mi posgrado.

L: ¿Cómo es posible que no sepas su edad? Si quieres le podríamos hacer una prueba de datación (Stuckenrath, R, 1978). Ayer en el noticiero escuché que los Físicos utilizaban la radiación para determinar la edad de los seres vivos; si quieres voy a mi casa por un plátano y usamos su radiación para determinar cuántos años tiene Susy. Aunque, pensándolo bien, no sabría cómo utilizar esta radiación. Tendría que darle de comer el plátano, y después, ¿qué tendríamos que hacer?

J: No es tan fácil como darle de comer un plátano, amigo Luke. La radiación cósmica que llega a nuestro planeta adquiere por uno de sus componentes el nitrógeno que golpea constantemente

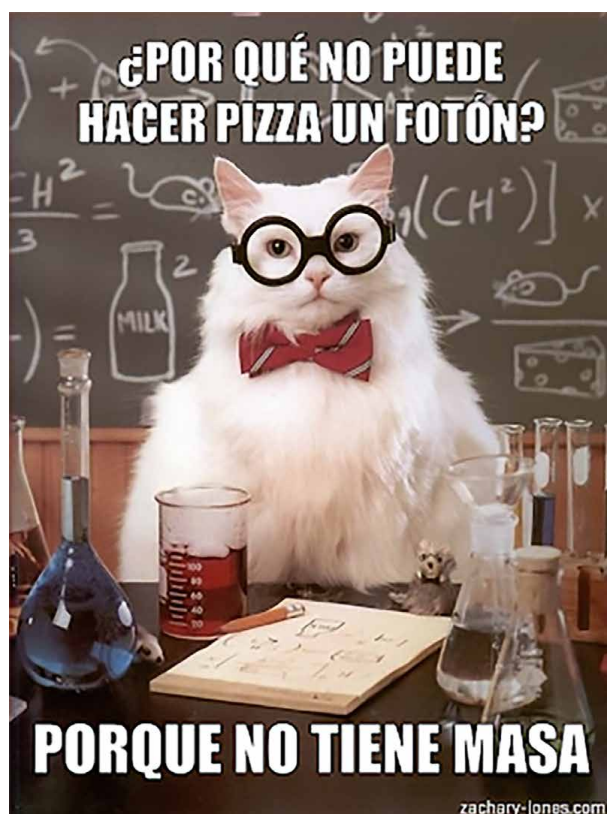
nuestro planeta, y de esta acción se obtiene el radiocarbono o carbono-14 (C14), o los isótopos del carbono. Los isótopos son núcleos inestables, y como todo lo inestable tiende a querer llegar a su estado de equilibrio. El radiocarbono -mediante la interacción débil- decae y se convierte en otro isótopo o en otro elemento; pero, ¿cómo podemos saber la edad de los fósiles mas no de los seres vivos mediante esta técnica? Básicamente es por la interacción con el dióxido de carbono presente en la atmósfera. En efecto, las plantas absorben el C14 mediante la fotosíntesis, y los herbívoros al alimentarse de las plantas absorben el isótopo; seguidamente, los carnívoros devoran a los herbívoros, nosotros a las plantas y a los animales y así toda la cadena alimenticia. Por lo tanto, estamos continuamente recibiendo carbono hasta el día en que nuestro corazón deje de latir. Cuando fallecemos, nuestro cuerpo tendría la misma concentración de C14 que el entorno, y conforme va pasando el tiempo, esta cantidad de carbono empieza a disminuir cuando decae radiactivamente. Los Físicos utilizamos unas tasas de decaimiento radiactivo del C14, unas tablas de tiempos y cantidad de materia de ese isótopo, y estimamos el tiempo transcurrido entre la muerte de cualquier ser vivo hasta el día que le apliquemos la prueba. Por tanto, ni con el plátano, ni con la datación C14, podremos saber la edad de Susy, o en fin, siendo un poco más rigurosos tendríamos la edad del universo y de todos los entes materiales (14 000 millones de años), ya que mis átomos, los tuyos y los de Susy se encontraban mezclados unos con otros cuando sucedió el *Big-Bang*. Por cierto, ¿sabías que las personas son más jóvenes de los pies que de la cabeza?

L: ¿Acaso por eso es por lo que nos dicen a los jóvenes que siempre andamos ‘metiendo las patas’?

J: Claro que no, según Einstein cuanto más intenso es el campo gravitacional en una región del espacio, tanto más lento pasa el tiempo, y como nosotros estamos sujetos al campo gravitacional de la tierra, y la gravedad es más intensa a medida que nos acercamos al centro de la tierra, y nuestros pies reposan en el suelo, por consiguiente, nuestros pies tendrían menos edad.

Para ser sincero, esto es posible siempre y cuando la variación de campo fuese muy grande, el cual no es nuestro caso, pero es gracioso pensar que nuestros pies fueran más jóvenes que nuestra cabeza.

L: Wow, qué interesante, pero además de la edad, ¿cómo podríamos reconocer a Susy?, ¿cómo es su aspecto físico? ¿Acaso es una gata gordita? Hace unos días leí en el periódico que, según los Físicos, existe un supercartero, el papá de los carteros que asigna masa a las partículas y hace que Susy sea más pesada o liviana, ¿es esto cierto?



J: Tienes toda la razón, este supercartero se llama el señor Higgs, dueño de la pizzería del universo en donde el secreto está en la masa. El modelo estándar inicialmente describe las partículas sin masa y sus interacciones; sin embargo, estas partículas

adquieren masa cuando interactúan con el señor Higgs. El Higgs es un campo cuántico que se extiende por todo el espacio. Una analogía que puedo establecer es la siguiente: El Higgs es un campo de barro cuántico, que algunos carteros flacos lo atraviesan sin mancharse (los fotones que no tienen masa) y otros sí, mientras que los restantes (electrones, *quarks*, etc.) se frenan al cruzarlo. Por tanto, su velocidad disminuye porque se mancha más. Este campo no lo podemos ver, pero estamos nadando a través de él y nos da masa, así que la razón por la que Susy es gordita es gracias al señor Higgs.

L: Entiendo, y ¿de qué color es la gata supersimétrica, señor Julián?

J: ¿Hablas de la percepción humana del color, o del color asociado a una onda física, a una onda electromagnética que hace parte del espectro visible? Porque si es así, te voy a explicar cómo los Físicos y la Naturaleza definen el color de las cosas.

La luz visible es una parte muy pequeña del espectro electromagnético. Está compuesta de fotones y se mueven a la velocidad de la luz. Como a mí me gustan los ejemplos, te daré uno: cuando tú vas a calentar la comida al llegar tarde a almorzar -y no quieres que tu mamá se dé cuenta-, pones la comida en el horno microondas, y en ese momento coexistirán dos ondas de diferente tamaño: los fotones de luz visible y los fotones de microondas. Los fotones de luz visible, al poseer una longitud de onda pequeña (es decir, su tamaño) pueden salir sin ningún problema a través de la malla metálica que se encuentra en la puerta de vidrio del horno. Las microondas son mucho más robustas, no caben por esos agujeros y se limitan a calentar la comida, excitando las partículas que conforman el pollo o el arroz que quieras calentar. Para que podamos ver el color se necesitan dos cosas: una luz que ilumine el objeto y nuestros ojos que perciben las ondas reflejadas por el objeto. Nuestros ojos están compuestos por foto-receptores llamados conos y bastones (estos últimos perciben las tonalidades de oscuridad), que se encuentran en la retina y a su vez envían señales a través

del nervio óptico al cerebro, que interpreta las longitudes de onda o tamaños a los colores.

L: ¿Es decir que el buso que tengo es color verde, cierto?

J: No, aún no te he dicho de qué color son las cosas. Cuando la luz incide en cualquier objeto, esta se encuentra con que este objeto está compuesto por átomos, y que ellos oscilan a una frecuencia respectiva, natural, una frecuencia propia; entonces el objeto absorbe todas las longitudes de onda o frecuencias de onda, a excepción de las que tienen la misma frecuencia que su oscilación. Las frecuencias iguales las refleja y por ende llegan a nuestros ojos. Por tanto, el color de un taxi en Colombia, por ejemplo, no sería amarillo, sería de todas las longitudes de onda o colores menos del amarillo, ya que este color es el que se refleja. Y el color de tu buso no es verde, sino de todos los colores menos el verde. Hay colores como el plateado que reflejan la radiación. Sin embargo, te voy a facilitar la vida, Susy: es de color blanco, que comprende todas las tonalidades del espectro de luz visible y tiene unas manchas cafés en el cuerpo y en su bigote.

L: Ahora que mencionas a tu gata, ¿puede Susy tener dos hogares al mismo tiempo?, ¿acaso puede estar en dos lugares al mismo tiempo?

J: Creo que estás hablando de una superposición de estados y claro que se puede, pero a nivel cuántico. Recuerdo una frase de Michio Kaku: “El sentido común no tiene cabida en la mecánica cuántica”. Pero primero debemos saber qué es la mecánica cuántica. A nivel cuántico, un rayo de luz puede ocasionar que un objeto cambie de posición bruscamente, lo que no pasa contigo cuando los rayos del sol vienen en el verano a la playa. Para poder describir algo como mi gata o los átomos de Susy se necesita hablar del estado de un objeto, un concepto muy importante. Un estado posible de Susy puede ser en el arenero de mi casa en reposo; otro subiendo rápidamente por el árbol que está en el patio de mi casa para escaparse, entre otros más.

Especificar el estado de Susy en un instante dado es entonces indicar su posición y su velocidad (reposo o en movimiento). Según la física de Newton, podemos predecir la trayectoria de Susy, sabiendo su estado inicial; a esto se le llama *mecánica clásica*. Pero en *mecánica cuántica* esto no es tan fácil y no se aplica esta idea. La mecánica cuántica no es determinista, no podemos inferir exactamente la trayectoria de una partícula como un átomo. A nivel cuántico, al especificar el estado de una partícula en un instante dado, significa relacionarle una probabilidad de que tenga una velocidad y se encuentre en un cierto lugar. Erwin Schrödinger y Werner Heisenberg postularon estas ideas permitiendo calcular los cambios temporales de esta probabilidad.



Foto 3: A la izquierda Erwin Schrödinger y a la derecha Werner Heisenberg. Imágenes tomadas de <https://famousphysicists.org/>

Te daré un ejemplo más tangible: el paciente doctor Henry Jekyll y la malvada y retorcida personalidad de Mr. Hyde, son dos estados de una misma persona; ambas personalidades tendrían 50% de probabilidad de existir y la superposición de estos dos estados conformarían al personaje creado por el escritor escocés Robert Louis Stevenson.



Figura 10: Dr. Jekyll y Mr. Hyde. Imagen recuperada de <https://www.shutterstock.com/es/search/dr-jekyll-mr-hyde>

Por su parte, el Físico Erwin Schrödinger no habló de Mr. Hyde, pero sí propuso el siguiente experimento mental: en una caja encerramos un gato, un frasco de gas venenoso y un dispositivo que puede ser activado por medio de una partícula radiactiva (pienso que Schrödinger utilizó para su ejercicio mental un gato, por aquello de las 'siete vidas'); si la partícula se desintegra –como el caso del C-14 del que hablamos en la datación–, el veneno se libera y el gato muere. Con el transcurrir del tiempo tendremos 50% de probabilidad de que el gato esté vivo y el dispositivo no se haya activado, y 50% de que el gas se haya liberado matando al gato; como no sabemos qué está pasando en la caja, el estado enigmático del gato será la superposición de los estados “gato vivo” y “gato muerto”. Sólo cuando abramos la caja sabremos si el gato está vivo o muerto; o, por ejemplo Superman, es una superposición de un pájaro y un avión.

$$\frac{1}{\sqrt{2}}|\text{gato vivo}\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|\text{gato muerto}\rangle$$

Figura 11: Estado del gato de Schrödinger, mitad vivo, mitad muerto. Imagen recuperada de: <https://www.neoteo.com/la-paradoja-del-gato-de-schrodinger/>

L: Señor Julián, es decir que, en este momento, ¿Susy es 50% un fantasma y 50% un ser viviente?

J: Hablando cuánticamente, sí, pero como diría Schrödinger, hasta que no abramos la caja no sabremos en cuál de los dos estados se encontrará Susy. Vamos hacia el parque y prestemos mucha atención encima de los tejados.

L: ¿Y si utilizamos a Ginger para que olfatee y la busque y nos indique dónde está? El único problema que tendría Ginger y no nosotros, es que ella sólo ve en blanco y negro, no podría identificar a Susy si llegara a encontrarse con Don Gato y su pandilla.



Figura 12: Don Gato y su pandilla. Imagen recuperada de: <https://www.paradigma.live/curiosidades-y-secretos-de-don-gato-y-su-pandilla-del-fracaso-rotundo-en-los-estados-unidos-al-exito-en-latinoamerica/>

J: Espera, Luke, déjame que te interrumpa, ¿de dónde sacas esas cosas? Los perros y los gatos no ven en blanco y negro. La visión de los seres humanos es tricromática y permite distinguir las diferentes longitudes de onda del espectro visible, pero los perros poseen una visión dicromática. Es decir, que pueden distinguir, además del blanco y el negro, dos colores más: el azul y el verde. Los gatos pueden distinguir hasta seis colores. Los

chimpancés, en su mayoría, tiene una visión del color idéntica a la humana. Existe un dicho muy conocido: nosotros también comemos con los ojos. ¿Sabes una razón del por qué lo dicen? Porque existe la acromatopsia, que hace que las personas vean en blanco y negro, y no sepan diferenciar entre un gusano a un espagueti. Al ingerir la comida no sabremos diferenciar cuál es cuál, dejando a nuestras papilas gustativas tener esa sorpresa. ¿Sabes qué es curioso? Que las personas le compren juguetes de colores rojos a los perros, sabiendo que ellos no discriminan ese color, pero como todo en la industria está pensado según los humanos y no de acuerdo con su entorno y su hábitat. Es algo absurdo.



Figura 13: Gato de Schrodinger. Imagen recuperada de: <https://www.pinterest.com.mx/pin/89438742577197753/>

L: Señor Julián, ¿pero está seguro de que Susy no se encontraba en la casa cuando usted salió a buscarla?

J: Luke, no recordaba que uno de los estados cuánticos de Susy era debajo de las cobijas, regresaré a mi casa y te avisaré cualquier novedad.

Al regresar a la casa, me sentí un poco apenado con Luke, pensé que esta vez la noción determinista de Newton tendría sentido si nos dejábamos llevar por la primera ley del movimiento. Susy no saldría debajo de las cobijas y permanecería en reposo. Si no hay una fuerza o agente externo que la hubiese obligado a salir de la cama, no creo que los sonidos de los gatos la hubiesen sacado de su estado de equilibrio de mínima energía, porque ella es muy miedosa. Al llegar la encontré durmiendo entre las sábanas y la probabilidad de 50 / 50 aumentó al 100%, ya que con certeza sabía que estaba viva y en la casa.

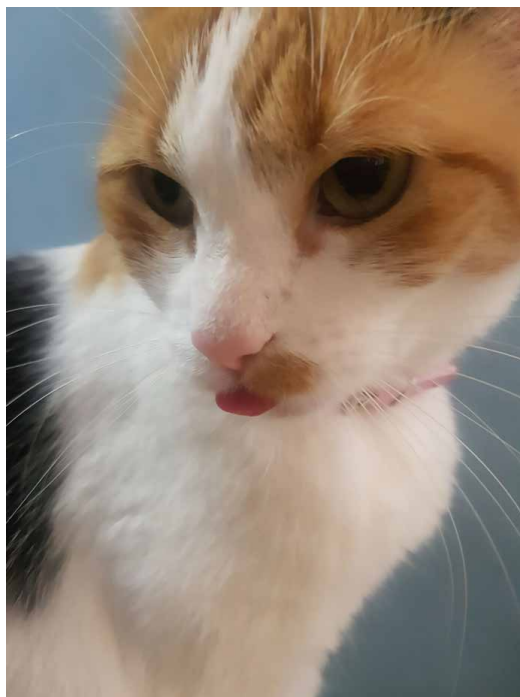


Foto 4: Susy, la 'gata supersimetría'.

RELATO 3

George Lucas nos mintió

Hoy, como de costumbre, me levanté tarde, mucho después de haber sonado la alarma. Y debía ir a la universidad a dictar una clase sobre *Relatividad especial*, aquella que enunció Einstein. La primera vez que escuché hablar de esta teoría me imaginé el siguiente escenario: supongamos existieran 3 Einsteins, uno en reposo que se encuentra de pie de gafas, otro manejando un carro de color rojo y otro manejando un carro de color verde como en la siguiente imagen.

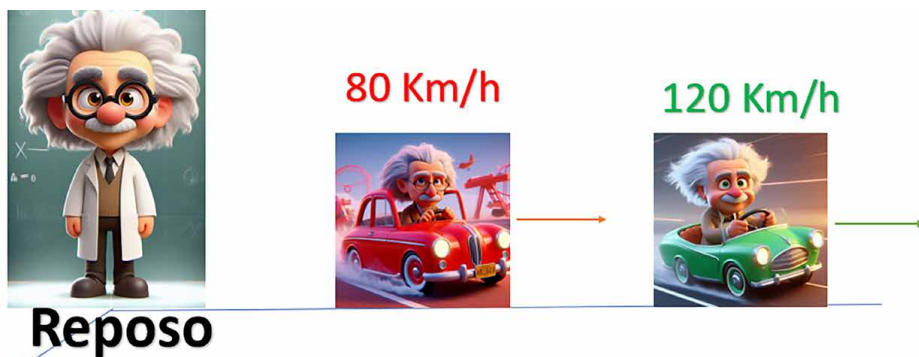


Figura 14: Tres diferentes Einsteins representando tres sistemas de referencia inerciales.

Para el Einstein que está en reposo, el Einstein del carro rojo estará moviéndose a 80 Km/h, y el Einstein en el carro verde alcanzaría una velocidad respecto de él de 120 Km/h. Sin embargo, visto desde el Einstein del carro rojo, el Einstein del carro verde se estaría moviendo a 40 Km/h y el Einstein que se encuentra en reposo, estaría alejándose de él a -80 Km/h.



Estos eventos están relacionados uno con el otro mediante unas simples ecuaciones llamadas *transformadas* de Galileo que hacen parte de la mecánica clásica. Cuando estas velocidades se aproximan a la velocidad de la luz $v = c$ (con c =velocidad de la luz), el tiempo, el espacio y la masa inercial cambian. A estas nuevas ecuaciones se les llamó las transformaciones de Lorentz. Así como todo cambia a nivel cuántico, de la misma manera sucede con velocidades grandes, es decir a velocidades relativistas.

Recordé que tenía que pasar por la casa de mis padres a supervisar a su perro. No pasaban las 7:30 a.m. del lunes y, al sacar el carro del parqueadero, allí estaba el pequeño Luke al que se le había pasado también el bus, pero con la diferencia que él disfrutaba del pasar del tiempo y yo padecía su trascender. En ese momento, prendí el carro y me acerqué a él.

J: Hola, pequeño Luke, ¿vas a esperar 15 minutos más a que pase otro bus?

L: Hola, señor Julián, ¿cómo es posible que lo que pensaba que eran 5 minutos más de sueño se hayan convertido en media hora de retraso? Pareciera que el tiempo no fluye de manera homogénea en el mundo, o por lo menos en mi casa.

Señor Julián, mi colegio está situado frente a tu universidad, ¿podrías por el día de hoy acercarme? Prometo no hacerte preguntas, o bueno, sí, una que tengo de tarea y que se me olvidó formularla, sobre el *Big-Bang*. ¿Es el *Big-Bang* una teoría del origen del universo indeterminada o absoluta?



J: Luke, primero que todo el definir algo como absoluto es peligroso, pues siempre hay una indeterminación. Lo que sucede es que hoy en día podemos poseer aparatos más precisos o exactos, que son dos cosas distintas, ya que la *precisión* está relacionada con la dispersión de los datos que tomamos de una medida, pero puede que esta medida este mal tomada, mientras que la *exactitud* habla de qué tan lejos estamos del valor real. El considerar el *Big-Bang* como una teoría absoluta es absurdo, pero sí puede ser una teoría muy acertada y te voy a dar las razones suficientes desde el punto de vista físico. Primero, la teoría del Big Bang no es una teoría del origen del universo. Es una hipótesis de la evolución del universo hasta el día de hoy. Podemos regresar -por así decirlo- en el tiempo hasta un instante en donde el espacio - tiempo estaba confinado en un punto, toda la materia y la energía se encontraba allí reunida. La física y sus ecuaciones nos permiten regresar en el tiempo y poder explicar cómo el tejido espacio-temporal y toda la materia pudo reunirse en un punto del tamaño de un fríjol. Sin embargo, la gravedad en ese punto era tan increíblemente grande, tan descomunal que tendríamos que considerar los efectos de la gravedad a nivel cuántico, pero -como ya sabes- no hemos podido encontrar al cartero gravitón que intermedie la interacción gravitacional, y mucho menos que este cartero actúe a nivel atómico. La teoría cuántica de Campos y la Relatividad no pueden describir lo que sucedió en el *Big-Bang*, sino tan solo una teoría de la gravedad cuántica que relacione estas dos teorías podría proporcionar una idea acerca de cómo comenzó el universo. Así que podemos

describir la evolución del universo a partir de ese momento, aunque explicar lo que sucedió antes significaría una *teoría unificada* que en este momento no hemos sido capaces de crear.

L: ¿O sea que mi profesor está equivocado?

J: Tal vez no, Luke, pero puede que esté confundido respecto a llamarla una teoría de creación más no de evolución. El *Big-Bang* es una locura, allí las leyes de la física cambian completamente: el tiempo, el espacio, todo. Einstein consiguió algo tan mágico y trascendental que parecía inalcanzable: describir en forma precisa la naturaleza misma del espacio y del tiempo. Te contaré cuáles son las consecuencias de desarrollar la teoría de la *Relatividad especial y general*, pero en particular la especial respecto a la comprensión del universo.

Asimismo, Einstein desarrolló su teoría con base en dos postulados: el primero de ellos nos habla de que las leyes de la física deben ser las mismas para todos los observadores inerciales, es decir que no debe haber observadores privilegiados: llamamos observadores a cualquier persona que quiera medir o describir un fenómeno físico y llamamos inercial a aquel que se encuentra en reposo o en movimiento a velocidad constante. Por ejemplo, si vas dentro de un carro en movimiento o si estás afuera viendo el carro pasar, y quisieras medir la longitud de la portada de un libro con una regla, el resultado debe ser el mismo: la longitud no debe cambiar. El movimiento a velocidad constante de un observador no afecta las mediciones. Y el segundo postulado habla sobre la velocidad límite a la que puede llegar cualquier objeto, partícula u onda, la velocidad de la luz (c). Estos dos postulados en principio asumen tres consecuencias muy importantes llamadas las transformaciones de Lorentz (un amigo de Einstein a quien éste admiraba mucho). Estas transformaciones son las siguientes: primero, dilatación del tiempo. ¿Amigo Luke, qué pasa si calientas una barra de metal, qué crees que pueda pasar?

L: Señor Julián, pues se derrite, se funde como el interior del planeta tierra. El calor del núcleo permite que los átomos del metal comiencen a moverse a grandes velocidades y se aceleren y se conviertan al estado líquido.

J: Has aprendido mucho en nuestras charlas y en la escuela Luke, pero me temo que te fuiste al caso extremo, ya hablas de una 'transición de fase', un cambio de estado, pasar de sólido a líquido, pero esto ocurre cuando pasas un límite termodinámico, el cual vamos a conservar. Efectivamente, cuando el calor llega al material, este se transfiere por conducción, una de las tres maneras de propagación del calor a toda la barra, haciendo que los átomos vibren con mayor frecuencia y se separen unos de otros, lo que se llama dilatación y se haga en todas las direcciones. Este fenómeno hace que se alargue la barra de metal y ante nuestros ojos parezca que sólo crezca en una dirección en donde hay mayor número de ordenamiento de átomos, pero no es así, sino que la dilatación se da en todas las direcciones. Si utilizamos estas ideas para el caso del tiempo, la manera de dilatarlo o de contraerlo, o de lograr que pase más lento es moviéndonos a la velocidad de la luz (c , constante como en $E = mc^2$)... ¿Qué cool, no?

L: Señor Julián, en la película de *Star Wars*, *Han Solo* en su Halcón milenario lograba esto, ¿es posible hacerlo?, ¿cómo veríamos las cosas al viajar a velocidad c ?

J: No, mi querido Luke, hoy en día los Físicos e ingenieros han unido fuerzas para crear el gran colisionador de hadrones (*LHC*), en donde envían a los pobres protones a altas velocidades (no a c , tendríamos que utilizar una energía infinita para



Figura 15: Han Solo y Chewbacca en el Halcón milenario viajando a velocidad de la luz, imagen recuperada de: https://www.eldiario.es/interferencias/ano-cambio-telegram-hal-con-milenario_132_4410990.html

lograr eso), y los chocan unos con otros para mirar qué hay más allá de ellos, para encontrar los ladrillos del universo, las partículas fundamentales, los carteros y demás. Si para una diminuta partícula necesitamos una energía tan grande para acelerarla, imagínate nosotros. Pero supongamos que lo logramos y que tenemos el dispositivo para hacerlo y una nave para viajar. Cuando aceleremos nuestra nave, los pocos átomos de hidrógeno que hay en el vacío interestelar van a golpear la proa de nuestra astronave a una velocidad tan grande como en el *LHC*, generando una energía tal que deterioraría la nave y nos desintegraría.



Figura 16: Rocket y Groot moviéndose a c , imagen extraída de: <https://vfxblog.com/2017/05/18/lets-talk-about-those-crazy-guardians-of-the-galaxy-vol-2-warp-shots/>

No es tan fácil como parece, Luke, pero también me preguntabas cómo veríamos las cosas; entonces supongamos que contamos con un *superblindaje* que nos cubre de esta radiación y del polvo cósmico. Lo primero que veríamos es la distorsión de las estrellas como si fuéramos atravesando un túnel, luego nuestro frente se volvería azul, las ondas de radiación se unirían tanto que aumentarían su frecuencia y las estrellas en la parte trasera se verían rojas. A esto se le llama efecto Doppler³.



Figura 17: Efecto Doppler. Imagen extraída de: <https://revista.correodelmaestro.com/publico/html5072014/capitulo2/El-efecto-Doppler-su-descubrimiento-explicacion-y-aplicaciones.html>

Este efecto surge cuando nos movemos en dirección a favor o en contra de una fuente que emita ondas, ya sea sonoras o electromagnéticas; además, al movernos a velocidad c nuestra visión se oscurecería porque las ondas ya no serían o no harían parte del espectro visible. Así que no te recomiendo viajar a velocidad c . Pero, Luke, me desvié un poco del tema, no puedes jugar con el tiempo ni el espacio, pues hay leyes que nos lo impiden y consecuencias de las cuales te estoy hablando. La dilatación del tiempo se logra, pero si nosotros nos movemos a velocidades cercanas a la de la luz; cuando esto ocurre, el tiempo pasa más lento que para una persona que está en reposo o quieta o moviéndose en el planeta tierra. Pero el movernos a velocidad de la luz haría que el tiempo se detuviera algunos segundos, y esto traería grandes consecuencias. Cuando vayas a respirar, oxigenar tu cerebro y desarrollar ideas, no podrías hacerlo, ya

que los átomos de oxígeno estarían estáticos en el aire. El tener los átomos quietos implicaría pensar que llegaríamos a tener el cero absoluto y que estos átomos estarían muy fríos; entonces estaríamos ante la presencia de una nevera del tamaño del planeta tierra -¿catastrófico, no?-, pero debemos acordarnos de que hay una energía de fondo que se conserva y que se puede propagar. Además de *conducción* y *convección* por radiación, estamos salvados, pero no me hagas desviarme más del tema... Einstein estableció la paradoja de los gemelos en ella, en que se demuestra que el tiempo es relativo. Supongamos que mi perrita Ginger tiene una gemela, la cual parte en una nave espacial, a realizar un viaje extragaláctico en busca de huesos alienígenas a velocidades cercanas a la de la luz. Mientras que en la Tierra pasen diez años, en la nave pasarían unos pocos meses. Y ahí está la paradoja: Ginger astronauta en la nave tiene una gemela cazadora en la tierra, la cual estará más viejita. Es como cuando te ves por el espejo, la reflexión hace posible esto, la luz va de nuestros ojos al espejo y se devuelve, no nos estamos viendo en tiempo real, estamos viendo un pasado casi simultáneo pero desfasado; tendríamos que acercarnos al espejo para que la luz tardara menos en viajar de nuestros ojos y regresar con la imagen y proyectarla en nuestra retina. Es decir que si te quieres ver más joven tendrías que acercarte más al espejo, aunque veríamos muchas de nuestras imperfecciones. Vaya lío que tenemos con el espacio - tiempo y con las ondas electromagnéticas. Otra consecuencia de movernos a velocidad c es la contracción de la longitud. ¿Cuándo has echado ropa a lavar, no has sentido que se te encoge?

L: Si señor, Julián, pero creo que es por culpa del señor Higgs y su superpoder de darnos masa en lugar del detergente, ¡ahh!, y de la fuerza centrífuga.

J: En parte el señor Higgs tiene la culpa, pero no, cuando hablamos de la contracción del tejido temporal, es el moverse a la velocidad de la luz la causante de tal consecuencia. Te daré un ejemplo reciente: esta mañana, mientras esperabas el autobús en el paradero, viste pasar otros buses con otras rutas. Cuando

un bus llegaba al paradero podías verle desde la proa o parte delantera hasta la popa sin ningún problema; podrías haber tomado un metro y medir su longitud sin ningún problema, pero también viste otro bus pasar como si estuviera en una competencia automovilística. Al querer tomarle la longitud al autobús en movimiento, puedes correr con tu metro a la proa para empezar la medición, pero como este se mueve tan rápido, al querer dirigirte hacia la popa te llevas la sorpresa de que esta ya se encuentra cerca de ti... ¿Acaso se ha encogido el bus? Algo así ocurre si nos moviéramos a la velocidad de la luz: las cosas, los objetos se contraerían, se adelgazarían, así que si quieres verte *fitness* y atlético trata de moverte a la velocidad de la luz...

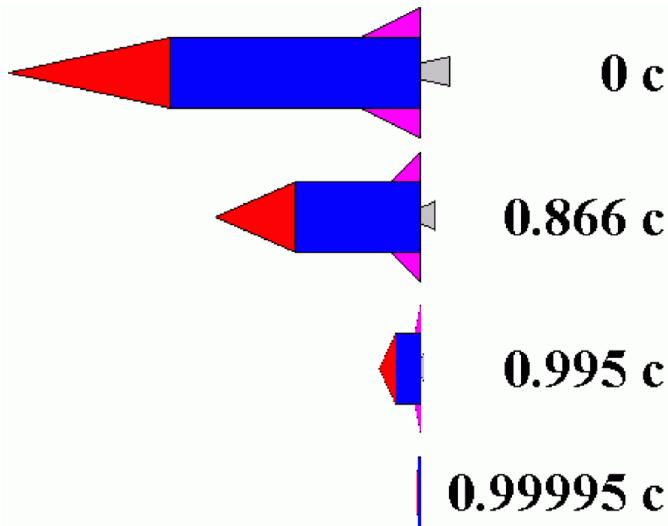


Figura 18: Cohetes a diferentes velocidades. Imagen recuperada de: <https://espanol.libretexts.org/>

Todo lo anterior se resume argumentando que tanto el espacio como el tiempo son relativos. Ahora bien, si lo que quieres es sentirte gordito y no quieres la ayuda del señor Higgs, puedes moverte también a velocidades cercanas a la velocidad de la luz, es decir la “masa” también es relativa. Newton con su famosa manzana estableció que la aceleración de un objeto es inversamente proporcional a la masa de la manzana. Es decir, cuanto mayor sea la masa de la manzana, menor será su aceleración si

se le aplica una misma fuerza. A esto se le conoce con el nombre de *masa inercial*, para enfatizar que mide la inercia o la resistencia al cambiar su estado de movimiento. Según la fórmula de Newton, no existe límite a la velocidad que puede alcanzar la manzana. Einstein se comió la manzana y reformuló la ley de Newton de la fuerza, estableciendo que la masa inercial de la manzana aumenta con la velocidad y que eso requiere cada vez más fuerza para alcanzar una misma aceleración, y finalmente haría falta una fuerza infinita para lograr la velocidad de la luz. Te daré otro ejemplo y traeré a colación un objeto que suelo utilizar en las mañanas para salir a ver los paisajes de la ciudad y del campo: la bicicleta. ¿Sabes cómo tú te mantienes encima de la bicicleta sin caerte?

L: Señor Julián, no sé montar en bicicleta, pero ¿qué tiene que ver la bicicleta aquí?



J: Einstein decía que la vida es como montar en bicicleta: para conservar el equilibrio hay que mantenerse en movimiento. Y aquí entra Newton con sus tres leyes: cuando nos desplazamos en una carretera plana, nosotros podemos avanzar sin necesidad de darle a los pedales y esa es la primera ley de Newton que la tomó de Galileo, y se llama la ley de la inercia. Ahora bien, la segunda ley de Newton que te mencioné anteriormente nos dice que, para una misma fuerza, la aceleración será mayor cuanto menor sea la masa del ciclista. De ahí que la mayoría de los ciclistas son flaquitos y tengan bicicletas de carbono. Y la tercera ley es la que se produce cuando el pavimento devuelve la fuerza que le imprimimos a la rueda trasera: de igual dirección, pero de sentido opuesto. Es decir, siempre hacia adelante. Ahora que nos dice Einstein que, si tú quieres aumentar tu velocidad cerca a la de la luz, ya no tendrás que pedalear para mover una bicicleta sino para mover un bus, y si logras mover el bus y quisieras moverte más rápido, sentirás que tendrás que mover ahora un transbordador espacial; la masa inercial se incrementa y se opone a que alcances mucha más velocidad.

L: Vaya, señor Julián, y en la película de *Star Wars* -cuando Han Solo y Chewbacca iban en el Halcón milenario-, era tan fácil pasar a velocidad luz y siempre se veían jóvenes y no viejos ni gordos ni flacos. George Lucas acaba de perder mi credibilidad.

J: No digas eso, George Lucas logró lo que nadie: hablar de la fuerza, del *chi*, de los viajes galácticos, de física, era todo un visionario. Por cierto, llegamos tarde al colegio y a mi charla, debimos movernos a velocidad *c* para que el tiempo nos hubiese alcanzado. Ten éxitos en tu clase y nos vemos en el atardecer, cuando caiga el sol. Si quieres te llevo a tu casa, y pasamos por la pizzería del señor Higgs. Total, las calorías que gano las quemaré en la bicicleta; por cierto, ¿sabías cuánto debo pedalear para quemar la grasa de una porción de pizza?

L: Señor Julián, adiós, me cuentas más tarde, están cerrando la puerta y no alcanzaré a llegar...

RELATO 4

La curiosidad de Schrödinger mató al gato

Eran las 8:00 a. m. del sábado, vibró mi teléfono y al entrar al *chat* me di cuenta de que tenía 8 mensajes de Luke. Mi pequeño amigo había madrugado a jugar *superMetroid*⁴, un juego de aventura y acción lanzado por *Nintendo*, en donde el protagonista se podía convertir en una esfera de poder y volver a su estado natural de astronauta.

L: Hola.

Señor Julián, despierte.

Hola, señor Julián.

Señor Julián.

¿Aló?

Despierte.

Señor científico.

Buenos días.

J: Hola, pequeño Luke, ¿qué haces despierto un sábado tan temprano, si hoy no es día de escuela?, ¿en qué te puedo ayudar?

L: Señor Julián, estaba jugando superMetroid, y me surgió una pregunta: ¿Acaso una persona puede ser dos cosas a la vez?, ¿puede ser algo y nada a la vez?

J: Creo que estas adentrándote en las bases teóricas de la física moderna, que dieron origen a la *mecánica cuántica* y la dualidad onda - partícula. En días anteriores te mencionaba la estructura del átomo como un núcleo formado por protones y neutrones, y una nube de electrones que rodea esta configuración, que está atrapada por el campo eléctrico. Pues resulta que tergiversé un poco esta información. Los electrones pueden existir en muchos lugares al mismo tiempo; de hecho, existe una nube de probabilidad, pues ellos cuentan con una propiedad de comportarse como el protagonista de tu juego de vídeo, es decir, pueden comportarse como onda o como partícula y su comportamiento este guiado por la probabilidad.

Años atrás Einstein se dio cuenta de que la luz se comporta como un fluido de partículas, y Maxwell -padre del electromagnetismo-, se percató de que la luz también se comporta como una onda. Esta dualidad nos plantea un desafío porque si reducimos la luz a ondas, estas son dispersas y continuas, mientras que si las consideramos como partículas, estas son discretas o puntuales. Esta dicotomía empezó con Newton, quien poseía un don especial de ver cómo funcionaba el universo. Prefería ver la luz como corpúsculo en lugar de una onda. ¿Por qué? No sabría decirte, ya que en sus tiempos la evidencia experimental no era muy diciente, pero debería haberse inclinado más hacia considerar la luz como una onda. Lo afirmo por razón de los experimentos de óptica que él realizaba, según los cuales se descomponía la luz blanca en un prisma. Sin embargo, Newton era terco y fue el primero en hablar de los cuantos de luz con propiedades corpusculares y ondulatorias. Newton tenía 'superpoderes' y predijo el futuro y las propiedades cuánticas de la luz, todo un 'Iroman' de su época.

L: Pero, si los electrones pueden tener esta dualidad -y yo estoy hecho de electrones-, ¿yo podría tener asociada una onda, una longitud, una frecuencia o un color?

J: Claro que sí, aunque sólo ocurre a nivel cuántico; podríamos asociarte de acuerdo con tu masa y a partir de la ayuda de Planck y de Broglie, una onda, un 'color'. De hecho, la conexión entre el 'color' y la masa, la aporta la constante de Planck, el padre de la mecánica cuántica. Luke, siempre que veas esta constante, le estás atribuyendo características cuánticas a tu fenómeno de estudio o a tu teoría. Por ejemplo, ¿sabías que Max Planck saltó a la fama al estudiar la radiación del cuerpo negro? Esta radiación es la presente en cuerpos oscuros que han alcanzado un equilibrio térmico con su entorno. El cuerpo negro absorbe toda la radiación que cae sobre él y también la emite. Planck -junto a Einstein- introdujeron el término de *cuanto de luz* como pequeños paquetes de partícula mediante los cuales se irradia la energía, superando las ideas de Newton y fortaleciendo las ideas de la mecánica cuántica formuladas por el Físico alemán Planck.

L: Señor Julián, se me acaba de ocurrir otra pregunta: ¿Podemos atravesar las paredes al ser ondas, ya que el átomo es casi vacío?

J: A nivel cuántico, todas tus ideas que parecen descabelladas toman forma de una manera que no te imaginas, y esa pregunta adquiere sentido cuando hablamos del *efecto túnel*. El misterioso poder que asume *Ant-man* en la película de *Los vengadores*, cuando es capaz de atravesar las paredes; ¿pero es esto posible?

Imagina que lanzamos una pelota contra una pared devolviéndose siempre; pero en uno de los muchos rebotes, la pelota simplemente desaparece y sigue su trayectoria, pero al otro lado de la pared. El efecto cuántico del que estoy hablando es el *efecto túnel*, probabilístico; podrías pasar años arrojando la pelota contra una pared y nunca verla aparecer al otro lado. A pesar de que nuestros ojos no son sensibles para ver este

fenómeno, hoy en día contamos con aparatos, tecnologías y procesos que funcionan gracias a él, dentro de los cuales se encuentran los siguientes dos ejemplos: 1) El microscopio de efecto túnel⁵, según el cual los electrones pueden “tunelar” ciertas estructuras moleculares. 2) El decaimiento *beta*⁶ radiactivo donde se emiten partículas desde el núcleo, que antes se creía improbable y que está presente en el proceso de fusión del sol.

L: Entonces, ¿podríamos o no atravesar las paredes?

J: Te tengo una mala noticia. A pesar de que nuestros cuerpos estén constituidos por átomos y los átomos sean un gran espacio vacío con el 99.9% de su masa en el núcleo y unos electrones rodeándolo a unas distancias enormes, en esencia no podríamos lograrlo. La clave se encuentra en lo pesado y sólido que es el núcleo, evitando que los elementos en nuestros átomos puedan atravesar los espacios vacíos de otros átomos. Por otra parte, los electrones del átomo que estarían pasando al otro átomo, tendrían que existir, así sea en un tiempo demasiado pequeño, en el mismo espacio, en la misma región que los electrones del segundo átomo, ya que son nubes de probabilidad y podrían chocar. Y esto es imposible, ya que como formuló Wolfgang Pauli: “No puede haber dos partículas materiales en el mismo estado cuántico dentro del mismo sistema cuántico “. En efecto, no pueden existir en el universo dos Luke en el mismo espacio y en la misma región realizando las mismas funciones; sólo puede existir uno y a eso le llamamos el *principio de exclusión* de Pauli. Si tu tuvieras un Luke impostor, tú harías todo lo posible por que no ocupe tu espacio, y porque no se traslapen unos con otros, algo muy similar a lo ocurrido en *Back to the Future Part II*, cuando Jenifer Parker del pasado de encuentra con la Jenifer Parker del futuro y se desmayan, vaya el lío que se hubiese armado si se hubiesen tocado...

5 Disponible en: <https://www.uco.es/~iq2sagrl/TranspTema9.pdf>

6 Disponible en: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Nuclear/beta.html>



Figura 19: Jenifer del pasado de encuentra con Jennifer del futuro en la película *De regreso al futuro 2*. Imagen recuperada de: https://backtothefuture.fandom.com/wiki/Jennifer_Parker

L: Wow, señor Julián, quiero saber más, ser científico como usted: ¿Podría ir a su casa a sacar a Ginger y de paso a hablar un poco sobre el gato de *Schrödinger*, del que todos hablan en la clase de ciencia y del cual me contaste la vez pasada?

J: Luke, deja que regrese de montar en bicicleta y te espero con un café para explicarte bien el experimento del gato.

L: Señor Julián, cuenta usted con suerte; yo también iré a quemar unas calorías que me sobran por haber comido muchos panes en el desayuno; lo acompañaré.

J: Está bien, vamos a quemar un poco de calorías antes de un buen desayuno; pero antes de hablar de mecánica cuántica, quiero preguntarte: ¿Qué sabes de las calorías y por qué quieres quemarlas?

L: Las calorías son las grasas que tenemos en la barriga, en los brazos y en las piernas, las cuales deben desaparecer cuando hacemos ejercicio. Si tú haces ejercicio sube la temperatura corporal y, por ende, calienta la grasa y se quema. Así funciona la física del deporte, ¿verdad?

J: Me temo que estás un poco confundido. Te cuento que una caloría no es ni un nutriente que pueda comprar en la tienda y lo pueda absorber tu organismo. Hablando en el ámbito alimenticio o deportivo, una caloría es la cantidad de energía necesaria para elevar 1°C la temperatura de un litro de agua. Además, debes recordar que la caloría en los alimentos es un valor medio o una estimación; recuerda que en virtud de la Relatividad, nada es absoluto. Ahora bien, si lo que quieres es no estar gordito, tienes que cuidarte en la alimentación y hacer deporte. Te mencionaré un ejemplo, ya que estamos montando en bicicleta. Un hombre o una mujer en este aparato quema en promedio entre 2.000 a 3.000 calorías diarias. Parecen muchas, pero las ganamos fácil comiendo en el día. El tiempo mínimo de ejercicio en bicicleta para empezar a quemar grasa es de 30 minutos. Cuanto más rápido pedaleas o cuanta más montaña tenga tu ruta, consigues que tu cuerpo queme más grasa, la que ganamos gracias al señor Higgs. El pedalear hace que activemos muchos músculos y generemos que nuestro cuerpo queme la grasa saturada. Te preguntarás entonces: Pero, ¿qué es la grasa? Las grasas son los ladrillos que tu cuerpo utiliza para la construcción de los tejidos nerviosos. Cuando comemos grasas no sentimos cambios en nuestro apetito, no se sacia de manera rápida, mientras que con los hidratos sí y estos últimos cuentan con un espacio limitado para almacenarse, a diferencia de las grasas. Pero me estabas preguntando sobre la quema de calorías. Si hoy comes una hamburguesa y una gaseosa, acumularías aproximadamente 700–1000 calorías; entonces necesitarías cerca de 2–3 horas de actividad física fuerte para quemar ese gusto que te diste. Es por eso por lo que si quieres vencer al señor Higgs debes hacer mucho deporte.

L: Señor Julián, muy útil tu información nutricional, pero no se me ha quitado de la cabeza el experimento del gato vivo y muerto a la vez que utilizaste para explicarme cuando Susy se perdió. ¿Me podrías volver a explicar esto desde la mecánica cuántica? Aún no me queda claro.



J: El célebre gato de Schrödinger, ¿será que tiene siete vidas?, ¿está vivo o muerto?, o ¿es un zombi? Erwin Schrödinger creó este experimento mental según el cual encerraba un gato en una caja con un dispositivo peligroso. Este cuenta con un material radioactivo que puede emitir partículas cargadas de alta energía con una probabilidad del 50% de que se active y emita radiación. Esta radiación activará un detector que liberará un ácido que mata al gato instantáneamente, tal cual como te había comentado en días anteriores cuando se perdió mi gata. Si hiciéramos el experimento muchas veces y abriéramos la caja, encontraríamos que la mitad de las veces el gato estaría muerto y la mitad de las veces el gato estaría vivo.

De esta manera queda evidenciada la dificultad más grande de explicar qué contiene la mecánica cuántica: la superposición. Si quieres entender este fenómeno y sacar tus propias conclusiones, necesitas empezar a utilizar un concepto que utilizamos los Físicos llamados “estados cuánticos”, el cual es una función matemática, que conlleva toda la información física sobre objeto. Por ejemplo, si fueras un electrón, tendríamos que solicitarte información de tu energía, velocidad, masa y otras

magnitudes de interés. Entonces, mientras no abramos la caja, no sabremos el estado particular del gato. Podríamos afirmar que, en cualquier instante de tiempo anterior a abrir la caja, el gato es una superposición de dos posibles situaciones, es decir, implica un 50% de posibilidad de que esté vivo y el otro 50% de posibilidad de que esté muerto; por ende, su estado sería la composición de los dos estados puros, vivo y muerto. ¿Cómo saber en cuál de los dos se encuentra? Fácil, debes medir, colapsar su estado, es decir abrir la caja. Entonces te pongo un ejemplo: te gusta una chica en el colegio, y ¿cómo sabes si te puede corresponder o no? Pues invitándola a salir, medirás su estado cuántico y sabrás si le interesas, ¡puede ser un poco arriesgado pero así lograrás colapsar su función de onda!

L: Señor Julián, además del gato de Schrodinger, he escuchado que existe otro ente fantástico llamado: el *diablillo de Maxwell*. ¿A qué hace referencia este nuevo personaje fantástico?

J: Luke, tú te saltas las disciplinas del conocimiento como te saltas las clases aburridas. Cuando hablamos del demonio de Maxwell, ya no hablamos de mecánica cuántica, aunque esté relacionado con ella; ahora estamos hablando de termodinámica y de mecánica estadística, de energía e información. Detengámonos en esta panadería y al son de un café te comento cómo esta criatura aparece en mi bebida.



El *Demonio de Maxwell*⁷ se refiere a utilizar un ejercicio mental o experimento en tu cabeza donde se puedan violar las leyes estadísticas de los fenómenos termodinámicos, en particular la segunda ley de la Termodinámica. Maxwell imaginó una criatura pequeña que actuaría como policía de carreteras para ver las

moléculas, medir su velocidad y seguir sus trayectorias, pero ostentaría el poder de detener y dejar pasar a las moléculas, como si tuviera una puerta o un peaje. Cada vez que una molécula que se comporta como Lewis Hamilton, Juan Pablo Montoya o como la liebre del cuento de la tortuga, la deja pasar, pero si viene una molécula muy despacio, la detiene y la devuelve. De esta manera el demonio estaría dividiendo las moléculas en dos grupos, las superconductoras y las lentas, es decir, acumularía las moléculas con mucha energía o calientes en un lado y las moléculas frías del otro lado. Estaría creando una nevera al lado de una parrilla de hamburguesas sin utilizar energía. El resultado de la acción de este *diablillo* sería dividir un gas que tenía la misma temperatura en un gas dividido en una parte fría y en una parte caliente. Es decir, puedo crear orden del desorden mediante el tratamiento de la información, pero estaríamos violando la segunda ley de la termodinámica porque en principio no habría gasto energético.

L: Señor Julián, pero ¿cuál es la segunda ley de la termodinámica?; o mejor aún, ¿cuál es la primera? ¿Cuántas hay?

J: Luke, son 4 o quizás son 3, porque la primera se llama ley cero o principio cero de la termodinámica. La ley cero o ley del equilibrio termodinámico se cumple a cabalidad todos los días, sin que nos demos cuenta y es la responsable de que los científicos construyeran los termómetros. La ley describe que si dos cuerpos con diferentes masas y diferente sensación térmica de calor, al entrar en contacto térmico, después de un cierto intervalo de tiempo, tendrían la misma sensación térmica si los tocamos. Pero, ¿por qué hablar de sensación térmica y no de temperatura? Sencillo, no contábamos con un instrumento para medir la velocidad de las moléculas, la energía cinética o -lo que es lo mismo- la temperatura. Después que existió la necesidad de crear los termómetros, se formuló la primera ley de la termodinámica: “*La energía ni se crea ni se destruye*”...

Esta primera ley es algo que nos recitan en el colegio sin darle la importancia que se merece, pero es tan increíble que es la razón

fundamental para entender cualquier interacción en el universo. Te contaré un tipo de energía que es increíble en el universo y que es responsable de que las galaxias se alejen unas de otras a pasos acelerados.

Según la cosmología, el espacio debería ser plano ya que la gravedad y la expansión se encuentran en equilibrio. Sin embargo, se ha demostrado que el universo se expande cada vez más rápidamente y no cada vez más despacio como lo explicaría la teoría del universo plano. A ver, te cuento: Einstein en su inmensa creatividad vislumbraba tres escenarios para la geometría del universo: el primero contempla un espacio curvo, esférico, cerrado y esto es debido a que, según él, existe demasiada materia y energía, haciendo que la densidad del universo sea muy grande, situación causante de que se curve hacia adentro y se forme una esfera. Este universo sería finito.

L: ¿Es posible que el universo sea finito?

J: Luke, esta concepción es peligrosa ya que toda la materia acabará convergiendo y colapsará en lo que se llama el *Big Crunch* debido a que la gravedad se hará muy intensa.

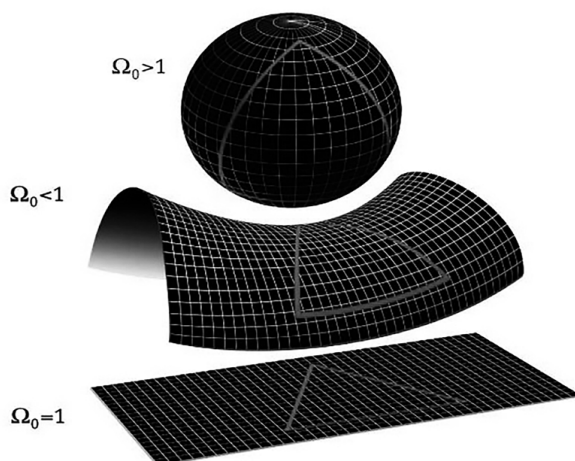


Figura 20: Las formas del universo. Imagen recuperada de: <https://www.josemanuelgilperez.com/ciencia/la-forma-del-universo/>

L: Suena catastrófico, mejor pasemos al segundo escenario.

J: El segundo -déjame decirte- que también es apocalíptico al considerar que el universo es abierto. Aquí la densidad de materia es muy baja, permitiendo que las estructuras como las galaxias se destruyan, se separen, pierdan su configuración y se desintegren hasta que queden partículas elementales dispersas, frías y el universo muera en algo conocido como el *Big Chill*. No obstante, queda la tercera opción, acaso la 'vencida': el universo euclidiano o plano. En esta concepción, el universo se expande, pero muy lento y cada vez más lento, pero hoy sabemos que existe una energía que actúa como levadura inflando el espacio y alejando las galaxias cada vez más, energía llamada *energía oscura*. El lado oscuro de la física es cómo *El lado oscuro de la Fuerza* es bien explicado en *Star Wars*: "*El lado oscuro de la Fuerza es el camino a muchas habilidades que varios consideran nada natural*" (Sheev Palpatine).

Supongamos que estás en tu habitación y sacas absolutamente todo, la vacías. Ahora coges una aspiradora atómica y absorbes hasta las partículas fundamentales, todas las estructuras moleculares, incluso los neutrinos que andan vagando por ahí y los fotones de la radiación de fondo. ¿Qué queda? El vacío. Einstein asume y nos da señales en su Teoría de la Relatividad: este vacío tiene una densidad de energía que, aunque no entendamos cómo es su dinámica, sabemos que es la responsable de desinflar el espacio mediante partículas virtuales y de que las galaxias se expandan. La *energía del vacío*, increíble, ¿verdad? Por eso te decía que la energía es la razón más importante para entender todas las interacciones que se presentan en el universo. Si no se conservara la energía y existiera algún sumidero, entonces el destino del universo sería decaer a un estado de energía cero. Es como si hicieras todos los días ejercicios sin reponer las calorías perdidas; llegaría un día en que no podrás moverte. El segundo principio se refiere a un concepto más formal: La *Entropía* nos permite saber hacia qué estado evolucionará nuestro universo o nuestro sistema de estudio. Explica por qué los procesos espontáneos o irreversibles son aquellos que aumentan la entropía de

nuestro universo. Asimismo, nos define una línea de tiempo de un proceso, y nos aporta un sentido al flujo temporal. Si no se cumple este principio, por ejemplo, el pocillo que rompiste hace días en tu casa, se recompondría espontáneamente.

L: Señor Julián, pero no terminaste de hablarme del *diablillo* de Maxwell. ¿Es posible crearlo?

J: Hoy en día, Luke, se pueden observar y manipular moléculas individuales, como lo haría el demonio. El Físico húngaro Leó Szilárd ha explicado que este diablillo no viola las leyes de la física, porque él habría tenido que gastar algo de energía para determinar qué moléculas son frías y calientes, para organizar la información, razón por la cual se recalientan nuestras computadoras, y se da un gasto energético considerable al poner en acción a este *demonio*.

L: Vaya si los Físicos se imaginan cosas muy locas... Por lo pronto, seguiré en busca de los vampirillos de la física. Hablamos en otra ocasión...

RELATO 5

Sith y El lado oscuro de la Fuerza

Llegaba la noche del viernes y el insomnio estaba de nuevo de visita en mi casa, lo que agradecí porque la mayoría de las preguntas trascendentales que me formulé en mi vida fue mientras no podía caer en los brazos de Morfeo. Encendí el televisor y me di cuenta de que se aproximaba la medianoche, faltaba un cuarto de hora para las doce y de nuevo llegaba mi cumpleaños. Dedique unos minutos a contemplar desde mi ventana el cielo estrellado, el pasado del universo, cuando de repente sonó mi celular varias veces; supuse que sería algún familiar y me llevé la sorpresa de que mi vecino Luke esperó que fuera las 12:00 p. m. para felicitar me.

L: Feliz cumpleaños, señor Julián, Happy birthday to you. ¿Los Físicos cumplen años o vueltas al sol? ¿Cuántos años cumple?

J: Amigo Luke, gracias por tu saludo tan sincero. No te diré cuántos años cumplo, pero te diré cuántos tiempos de Planck cumplo, por cierto, es un número muy grande, aproximadamente 1.9×10^{52} *tiempos de Planck*. ¿No te parece curioso qué es el tiempo? De hecho, toda gira en torno a él. ¿Sabías que el origen de los conceptos y escalas del tiempo –tales como el día, mes y año–, fueron definidos por civilizaciones como la egipcia, la sumeria y la china? Por ejemplo, la definición del día. Tenemos la noción de que el día dura 24 horas y que este lapso se define como una vuelta de la tierra alrededor de su eje de rotación. Sin embargo, la unidad de tiempo ‘día’ está basada en la posición del sol y su trayectoria a través de la bóveda celeste. Quiero

decir con esto que el día dura aproximadamente 23 horas con 56 minutos y que, siendo el mediodía, el sol se encontrará encima de nosotros en la misma posición siempre.

L: Señor Julián, es irónico que creamos que podemos explicar todo lo que existe en el universo; sin embargo, es poco lo que en verdad sabemos, ¿sí?

J: Tienes toda la razón, Luke. El universo está pleno de cosas, de múltiples estructuras ordenadas de manera especial, pero algunas de estas estructuras se resisten a ser vistas, al menos con un telescopio sencillo algo parecido a los neutrinos. El universo emite de todos los rincones del universo luz visible, rayos infrarrojos, ultravioletas, gamma, todo tipo de radiación electromagnética. Si sabes captarla, puedes ver lo que hay oculto.

L: ¿Pero, ¿cómo sabes que existe algo si se resiste a ser visto?

J: Porque por muy invisibles que sean la gravedad les delata. Basta con ver cómo rotan el gas y las estrellas de las partes más externas de las galaxias. La ley de gravitación de Newton nos aclara que su velocidad de giro debería disminuir cuando más lejos estén de su núcleo galáctico, pero esto no es lo que observamos. Algunos científicos pensaban que la manera en que entendemos la gravedad estaba mal concebida, y que había que ajustarla; otros aseguraban que las galaxias no eran tan pequeñas como nosotros creemos, sino que están rodeadas de un halo inmenso, nueve veces más masivo que no podemos ver, una prolongación invisible cuya enorme masa cambiaría la manera como los objetos se mueven en la galaxia.

L: ¿Y tú crees que hay algo allí también?

J: Inexplicables fenómenos como las lentes gravitacionales, donde no hay materia visible, apunta a la existencia de algo que colma el universo, y ejerce una influencia gravitacional a su alrededor, pero que no somos capaces de ver. A esto se le llamó la *materia oscura*, y obvio que, si existe, la física lo dice.

L: ¿Acaso la materia oscura es la misma antimateria? ¿O es la misma *energía oscura*?; por cierto, qué es un *lente gravitacional*?

J: Newton y Einstein proponían que la luz se viese afectada por la atracción gravitatoria. Es decir que si una onda de luz pasa cerca de un objeto masivo tendría que desviarse. Algo muy similar a lo que pasa cuando metes una cuchara en un vaso con agua y ves cómo la cuchara se ‘dobla’, todo debido al fenómeno de refracción que nos hace tener esta percepción. Efectivamente, la luz de estructuras extragalácticas tiene que recorrer largas distancias y se ha desviado de la ‘nada’ en el camino a nuestros telescopios, provocando que las estructuras de donde se emite la luz parezcan dobladas. Cabe pensar, por tanto, que si se dispone una cierta cantidad de masa (así sea oscura) del modo adecuado, puede desviar la luz de un modo parecido al efecto producido por una lente de vidrio cuando la luz pasa por ella y se dispersa. Este fenómeno recibe el nombre de *lente gravitatoria*. Ahora no puedes confundir la materia oscura con la antimateria. La materia oscura es oscura porque no interactúa con las ondas electromagnéticas, es decir no las absorbe ni las emite, no interactúa con la luz, o sea es neutra, aunque sí es pesada. Es estable por lo que perdura en el tiempo y es fría por lo que no se mueve a velocidades cercanas a la velocidad de la luz. Entonces, ¿quiénes son los candidatos a materia oscura?

L: Los *vampirillos* de la física, los neutrinos, a ellos nadie los controla.

J: Lastimosamente, los neutrinos convencionales no pueden ayudarnos esta vez, quizás sus primos los neutrinos estériles supermasivos, los axiones, las partículas supersimétricas, partículas que viven en dimensiones extra, podrían ser los principales sospechosos, pero antes de hablar de ellos tengo que explicarte bien la materia oscura. El reto se encuentra principalmente en la detección experimental, ya que esta no irradia y no interactúa con la materia. Recuerdas el halo inmenso del que te estaba hablando anteriormente. Pues ya que nosotros estamos dentro de ese halo, estamos constantemente atravesados por

partículas de materia oscura y nuestros detectores no los han capturado, ni siquiera los ha visto.

L: Pero, entonces, ¿por qué afirmas que no es lo mismo la antimateria?

J: Así es, la materia oscura denominamos a aquello que no podemos ver ni detectar en forma directa, pero que se hace evidente a través de su atracción gravitatoria. La materia ordinaria es sólo el 5% del total de los componentes de los cuales está compuesto el universo (que se encuentra en forma de estrellas, planetas, etc.), 25% corresponde a la materia oscura y 70% de energía oscura. No sabemos de qué está hecho el 95% del universo. La materia oscura no es la única incógnita para la física hoy en día, sino existe otro fenómeno relacionado con la expansión del universo, conocido como *Energía Oscura*. Así las cosas, la *energía* y *materia oscura* son dos conceptos totalmente diferentes, que tienen en común las evidencias gravitacionales y harían las veces de los *Sith* en *Star Wars*.

En este orden de ideas, la materia oscura es como un pesado grumo transparente o pegamento que mantiene unidas las galaxias, generando más gravedad y ejerciendo una fuerza notable sobre ellas. La energía oscura es todo lo contrario y forma parte del espacio o del tejido espacio-temporal, es decir su ADN, que actúa como una fuerza repulsiva que acelera la expansión del universo, de modo que la materia y la energía oscura no tienen nada en común, o bueno sí, comparten el mismo apellido: *oscura*. Existen científicos locos que afirman que esta energía es una filtración de otra dimensión extra del espacio, o una nueva fuerza que aún desconocemos.

L: Pero aún no me has resuelto la pregunta de la antimateria, señor Julián. En la serie *Star Wars*, hablan de *El lado oscuro de la Fuerza*, los *Palpatine*, los *Sith*, *Darth Vader*... ¿Acaso esta *anti-materia* es mala?

J: Además de todas las partículas que te he mencionado anteriormente: *quarks*, protones, electrones, neutrinos. Por cada una de estas partículas existen sus propias *antipartículas* con carga opuesta que componen la *antimateria*. La antimateria no se encuentra de forma natural entre nosotros, aunque sí ha protagonizado muchas películas como la de Ángeles y demonios de Ron Howard del 2009. La antimateria se produce en procesos naturales, como los choques de los rayos cósmicos con la superficie terrestre, que producen neutrinos y a su vez también produce antimateria.

Es más, nosotros hemos sido capaces de crear antimateria en los laboratorios (aunque es muy complicado y costoso). La antimateria del electrón es el *positrón*, con la misma masa, pero con carga contraria y con interacciones opuestas; además de *quarks* y neutrinos habría *antiquarks* y *antineutrinos*. La característica principal de esta antimateria es que si se llegara a encontrarse con la materia colapsaría y se desintegraría produciendo energía. Por lo tanto, para el caso de los *quarks*, si se llegaran a encontrar con los *antiquarks* producirían *gluones*, y si un electrón llegara a encontrarse con un positrón produciría *fotones*.

Las partículas y antipartículas se aniquilan cuando chocan

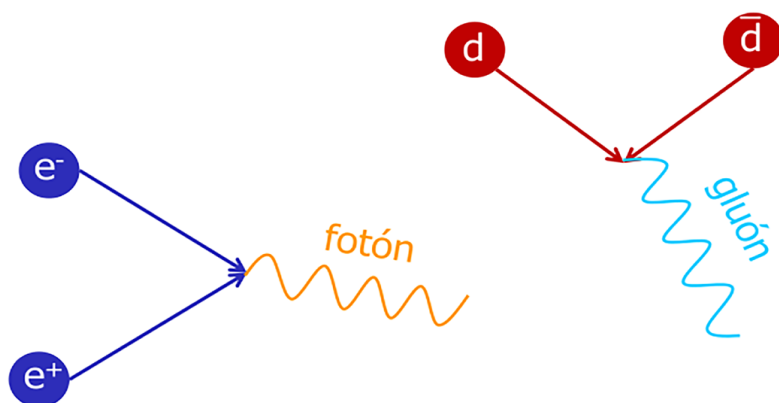


Figura 21: Representación de la Aniquilación de pares (materia y antimateria).

Es decir, cuando chocan partículas con antipartículas y se crea energía. En la serie de *Dragon Ball* se está recreando esta aniquilación, cuando el Kamehameha de Goku choca con el destello final de Vegeta, produciendo energía.



Figura 22: Recreación de aniquilación de pares en *Dragon Ball Z*. Imagen recuperada de: https://aminoapps.com/c/dragon_ball_amino_2016/page/item/vegeta/3WVw_11DiDIgRL4Jb2lDo47rVKe7zbpZNb8

Ahora bien, si el universo produjo la misma cantidad de materia y antimateria desde el momento primigenio, cuando estas dos se hubiesen encontrado en el transcurrir del tiempo, todo hubiese desaparecido y no se hubiesen creado las estructuras

como los planetas, y por consiguiente nosotros. Nada existiría, sólo existirían luz y energía. Podemos pensar entonces que en algún momento de la historia del universo se creó más materia que antimateria, de forma que, al unirse estas sustancias, quedó un remanente que originaría que nosotros existiéramos. Cuantitativamente hablando, puedo decirte que por cada 10 000 000 001 partículas hay 10 000 000 000 antipartículas. Esa pequeña partícula de más da origen a todas las cosas en el universo, pero no sabemos cuál es el proceso por el cual se desencadena esta asimetría, esta diferencia de cantidades es otro enigma más sobre el universo y sobre el cual tú podrías investigar desde ya y proponer unos posibles candidatos o soluciones.

L: ¿Será que los poderosos neutrinos podrían ayudarnos en este caso?

J: Fíjate que sí, Luke, ellos podrían tener la respuesta, o brindarnos una solución. Existe una delgada línea entre neutrino y antineutrinos, ya que los neutrinos al no tener carga podrían oscilar entre unos y otros, y comportarse como su *némesis* (polo opuesto), como su antipartícula, podrían transformarse de materia a antimateria... qué loco, ¿no? Por eso te decía que, si entendemos los neutrinos, podremos entender el universo al ser las partículas más abundantes que hay.

L: Los neutrinos son ahora mis partículas favoritas, no sabemos su masa, no sabemos su naturaleza, tienen primos superpesados que no interactúan con nosotros, pueden ser candidatos a materia oscura, pueden oscilar y cambiar de personalidad, se mueven a velocidad cercana a la velocidad de la luz, ya entiendo porque escogiste a estas partículas subatómicas como tu tema de investigación en el doctorado. Señor Físico, ¿cuántas clases de neutrinos hay?

J: Existen tres sabores de neutrinos, así los llamamos los Físicos. El sabor es un número cuántico que creamos los científicos para solucionar muchos problemas en la física. Te daré un ejemplo práctico: compro dos *cupcakes* con *chantillí*. ¿Qué diferenciaría

un *cupcake* de otro? ¿El sabor cierto? Sabemos que existen *quarks Up* y *quarks Down* con la misma carga, pero uno más pesado que el otro, ambos ‘giran’ de la misma manera, ambos presentan las mismas interacciones y, si los vemos con una lupa interdimensional, no podríamos distinguirlos uno del otro como pasa con los *cupcakes*. Es como tener un electrón y su primo el *tauon*, más pesado pero que se viste o parece igual al electrón a nuestros ojos. La diferencia entre estas partículas está asociada al sabor. El señor Higgs es un catador de sabores, diferencia que un *quark* es *top* y el otro un *quark Down*, él sabe qué es un electrón y un *tauon* e interactúa más con el *top* al saborearlo y con el *tauon*, por esta razón le daría más masa al *quark top* y al *tauon* que al *quark Down* y al electrón. El señor Higgs es el que me está organizando las partículas en familias o generaciones.

Ahora bien, respondiendo –a tu pregunta– hay tres clases de neutrinos de una masa pequeña. ¿El por qué? Básicamente por el siguiente hecho: Los Físicos supimos que en la fusión del sol se producían neutrinos de un sabor dado, ellos calcularon cuántos de esos neutrinos del sol deberían llegar a la tierra si viajaran en línea recta. Hicieron los cálculos y al detectarlos en la tierra se dieron cuenta de que no estaban llegando todos los neutrinos solares de ese sabor, había una descompensación. Entonces, la única manera de explicar este fenómeno fue con otro ejercicio mental. Supongamos que estás en una competencia en una pista atlética con un gemelo tuyo; si le dieras una vuelta a la pista ambos llegarían al mismo tiempo a la meta. Pero, ¿qué pasaría si tu gemelo hubiese comido una hamburguesa, unas papas fritas y una gaseosa antes de la competencia? El gemelo tendría más masa y le costaría más moverse a tu velocidad, y por ende, llegaría más tarde. Este mismo ejemplo se usó con los neutrinos del sol: si todos salen del mismo sabor con la misma masa, todos llegarían a la tierra porque tendrían la misma velocidad, pero al medirlos nos damos cuenta de que no, que hay otros que están llegando, es decir que los neutrinos cambian de sabor desde la fuente a la detección y tardarían más en llegar a la tierra y llegarían con una hamburguesa de más, es decir oscilan. Y, ¿cuántas

maneras tienen de oscilar? Pues tres maneras según los estudios y las detecciones que los científicos han hecho.

L: ¿Pero por qué pasa esto, señor Julián?

J: Pasa porque los neutrinos –como partículas subatómicas– se pueden ver como ondas y se pueden superponer, así que cada sabor de neutrino es una superposición de unos neutrinos masivos; es un problema similar a los colores. El color violeta es el resultado de superponer el color rojo y el color azul. Si sólo hubiese un color, no tendríamos el espectro de colores que conocemos porque al combinarlos no pasaría nada.

L: Qué interesante, señor Julián, pero sólo lo llamaba a felicitarlo y ya son las 6 a. m., me alistaré a clase. Que esté bien, hablaremos.

J: Yo también tengo que ir a la universidad, adiós y gracias por la felicitación.



RELATO 6

Pizza el Bosón de Higgs: El secreto está en la masa

Me encontraba en la panadería cerca de mi casa y me disponía a desayunar con dos *cupcakes* y un café. En ese preciso momento llegó Luke por el pan para su casa y se sentó en mi mesa.

L: Hola, señor Físico, ¿cómo amanece?

J: Bien, Luke, me disponía a desayunar, ya que es domingo y son más de las 9:00 a. m.

L: Señor Julián, ya que pidió dos *cupcakes*, ¿me podría regalar uno?

J. Claro que sí, amigo Luke, toma el que tú quieras.

L: Señor científico, he oído que la vez pasada hablaste del sabor y del color. ¿Acaso las partículas son de colores, y cómo se pueden saborear?

J: Excelente pregunta amigo. Pero para respondértela tengo que hablarte del citado *principio de exclusión de Pauli*. Recuerdas que existen 2 tipos de partículas en el universo: los *bosones* (los fotones de luz, gluones y otros más) y los *fermiones* (electrones, *quarks*), las cuales asumen un comportamiento estadístico diferente que te expliqué con las escaleras eléctricas. El que una partícula sea *bosón* o *fermión* depende de una propiedad cuántica llamada *spin* (una especie de rotación intrínseca como la revolución de la tierra alrededor de su eje para dar origen al día

de 24 horas), y la mejor forma de visualizar lo que es el *spin* de una partícula es exponiéndola en un campo magnético irregular, es decir, entre un polo norte y un polo sur de 2 imanes y lanzar un haz de partícula por medio de este campo magnético.

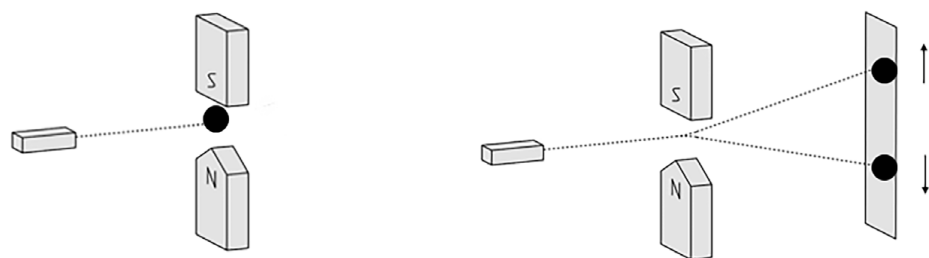


Figura 23: Experimento de Stern Gerlach.

Observemos que parte de las partículas que se lanzan se van hacia arriba y otras se desdoblan hacia abajo; eso quiere decir que estas partículas presentan un *spin* $\frac{1}{2}$, que puede estar dirigido hacia arriba o hacia abajo. Por consiguiente, el *spin* es una propiedad de las partículas que se manifiesta en determinados campos magnéticos.

L: Señor Julián, pero los *bosones* se desdoblan en direcciones opuestas a los *fermiones*. ¿Por qué hablas del *spin*?

J: Luke, tenemos dos tipos de partículas: los *fermiones* son los que tiene *spin* semientero (fraccionario) y los *bosones* de *spin* entero. El *spin* es como la manera en que ellos giran. Esta división u organización es importante, y no sólo desde el punto de vista académico. Debido a esta distribución y organización es que todos nosotros existimos cual ente que opera como un todo. Gracias a esta organización se crean las estructuras. Por ejemplo, volviendo al ejemplo de las escaleras eléctricas, tenemos la siguiente analogía: los *fermiones* son gentes ligeramente asociales, de forma que en cada estado físico sólo puede estar un fermión; son antipáticos y no quieren que estén más fermiones allí. En cambio, los *bosones* son gente muy cordial, sociales

y permiten que más de su especie y su naturaleza estén en su mismo nivel o estado físico.

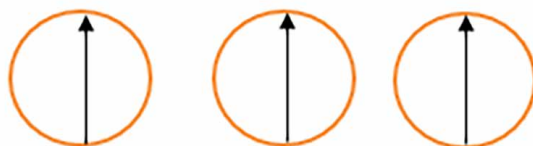


Cuando te hablo de formación de estructuras, me refiero a que para que un conjunto de elementos que interactúan mediante una fuerza se necesita de un principio de contradicción que los organice. Siguiendo esta idea, el *principio de exclusión* de Pauli es un postulado de contradicción que organiza la materia. Articula los electrones en los átomos, de forma que unos están en un estado o en una órbita y otros en otro estado, y según se van organizando en estos niveles van originando en las diferentes sustancias o elementos y estructuras químicas. Por consiguiente, si no existieran los *fermiones* que ya sabemos que son antipáticos, estaríamos todos tirados en el piso o en el primer escalón de más baja energía y no existiríamos como individuos.

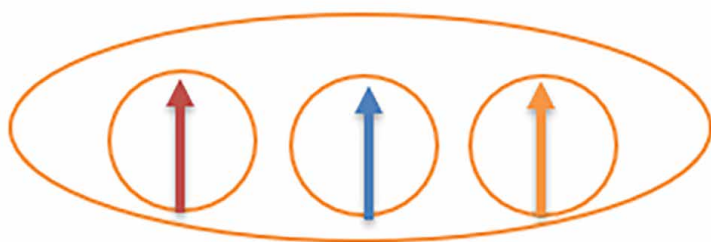
L: ¿Y eso qué tiene que ver con el color de las partículas de los *quarks* de los electrones?

J: Aquí es donde entran a jugar unas partículas exóticas. Existen los *rayos cósmicos* que vienen a la tierra y decaen, dando origen a nuevas partículas mediante la fuerza débil. Una de esas partículas exóticas es la llamada *Delta ++*. Estas partículas están formadas por 3 *quarks*, que pueden ser de dos tipos: *up* ↑ y *down* ↓. Según la mecánica cuántica, estos tres *quarks* no podrían estar

en el mismo estado físico, como el *principio de Pauli* lo evidencia. Pero, ¿por qué? Esto es debido a que los fermiones siguen unas reglas específicas que los limitan a tener los mismos números cuánticos y compartir el mismo estado simultáneamente. Es decir que no podrían tener la siguiente configuración:



Entonces los Físicos definimos un nuevo número cuántico que llamamos el *color*, al igual que inventamos el *sabor* en los neutrinos. Entonces existirían 3 colores diferentes: el rojo (r), el azul (b) y el verde (g) (*rgb* por sus siglas en inglés: *red, green, blue*). Estos colores representan la carga de color, pero no es que sean de ese color literalmente las partículas, sino que al agregar esta característica logramos que en un mismo estado cuántico podamos contar con estos tres quarks y formar estas partículas raras.



Delta ++

L: Pero, señor Físico, ¿qué son los *rayos cósmicos* y qué pasa con ellos?

J: ¿Has escuchado hablar del *espectro electromagnético*? Es decir, todos conforman una especie de sindicato de ondas electromagnéticas que existen. Déjame describírtelas: las ondas

con las cuales te comunicas son las *ondas de radio*, que son las menos energéticas y tienen un tamaño de hasta miles de kilómetros; después tenemos las *microondas*, las cuales contienen las energías más grandes de las radiofrecuencias y son utilizadas por la televisión, la telefonía móvil, conexiones inalámbricas y con ellas puedes calentar hasta un pollo...

L: ¿Es decir que sólo mediante esas ondas puedo calentar la comida?

J: No, déjame te explico un poco más el principio físico de calentar la comida mediante el uso de las ondas



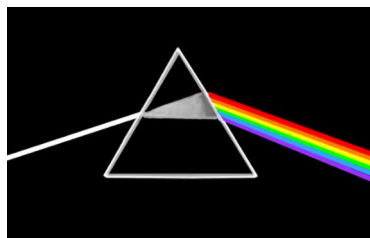
electromagnéticas. Te había dicho que la radiación, al entrar en contacto con cualquier alimento que pones dentro del horno, interactúa con sus moléculas, principalmente con la del agua. Las moléculas del agua presentan una particularidad y es que son polares y tienden a alinearse en la presencia de un campo electromagnético, como si fueran unas limaduras de hierro con la presencia de un imán. Este ordenamiento causado por la presencia de este campo, genera fricción entre las moléculas y la fricción -al ser una fuerza de carácter eléctrico-, por medio del *efecto joule* disipa calor. Pero no sólo el agua ayuda con el aumento de temperatura: hay iones o partículas cargadas que se

encuentran en los alimentos; estos iones también se orientarán y se friccionarán con otros iones de signo contrario, produciendo calor como es el caso de las sales.

L: ¿Entonces la radiación no es mala, y cómo podría saber si una onda es peligrosa?

J: La radiación puede ser ionizante o peligrosa y no ionizante. La radiación con la que calientas la comida no es ionizante, no dañaría la configuración del pollo y sería fácil calentarlo con su energía asociada. Es más, podrías poner 5 celulares alrededor de tu comida y hacer que entraran muchas llamadas para que por medio de las ondas de radio pudieses calentar la comida, con la sorpresa de tener que esperar mucho tiempo para poder calentarla. Por otro lado, si la calientas, por ejemplo, con los rayos cósmicos desintegrarías completamente el dicho pollo. Pero déjame seguirte contando sobre las demás ondas más energéticas. Las *ondas infrarrojas* le siguen a estas microondas, son utilizadas en dispositivos de visión nocturna hasta en la astronomía. Ahora, si seguimos subiendo en energía nos encontraremos el *espectro visible*, lo que pueden nuestros ojos ver y diferenciar, y aparece el *espectro de colores* que van desde el rojo, pasando por el amarillo, verde, azul y hasta el ultravioleta o morado.

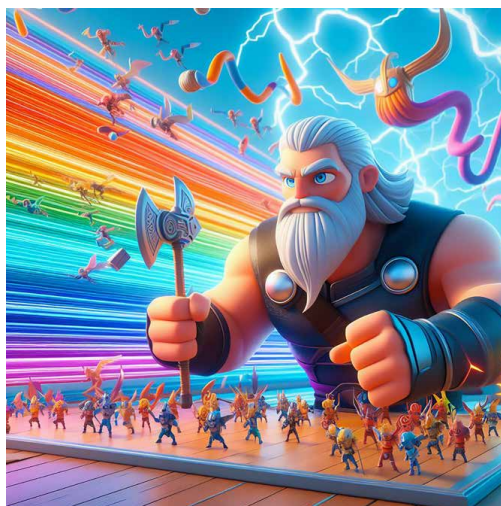
L: Señor Julián, mi papá tiene un LP de un grupo llamado *Pink Floyd* y allí hay un prisma que está siendo atravesado por una luz blanca, y al otro lado de él salen todos los colores del arcoíris. ¿Cómo puede ocurrir esto?



J: Primero que todo, la luz blanca es la superposición de todos los colores. Cuando un rayo de luz blanca proveniente del sol pasa a través de un vidrio, se observa que esta luz sufre una descomposición y se separa en diferentes colores, es decir se refracta. El prisma fue el primer dispositivo que utilizó el *Jedi Newton* para descomponer la luz; a pesar de que la separación de los colores

es muy pequeña, él puede lograr una mayor descomposición si la hace pasar por dos refracciones sucesivas, como pasa con este material geométrico cuando pasa de una cara a la otra.

L: Pero no entiendo, ¿qué es la refracción? ¿Es la misma que hace que veamos los colores del arcoíris cuando llueve?



J: Luke, durante miles y miles de años, los humanos hemos contemplado estos arcos de colores que a veces se originan en el cielo. ¿Sabías que el arco iris fue incorporado hasta en leyendas de culturas ancestrales? Unos antepasados creían que era el collar de piedras preciosas de una gran diosa llamada *Iris* en la mitología griega; otros lo veían como un puente que unía dos mundos: el cielo y la tierra. El arco iris ha aparecido hasta en las películas de *Marvel* y lo llaman el *Bifröst* en la mitología nórdica, que es por donde viaja Thor. La primera teoría sobre su formación fue desarrollada por Teodorico de Freiberg, utilizando un recipiente esférico lleno de agua, el cual simulaba una gran gota. René Descartes también mostró el efecto de esta refracción de la luz en el interior de gotas de agua que producían colores. La luz blanca entra en cada gota y rebotan en su interior como si estuviéramos jugando *breakout*, dando vueltas y regresando, refractados al entrar y al salir. Cada color se desvía de manera diferente, fenómeno que descompone la luz blanca en los

colores que la constituyen, el llamado espectro de la luz visible. Pero no te he respondido sobre qué es la refracción. Este es un fenómeno óptico que permite que las ondas electromagnéticas cambien de dirección al pasar de un medio a otro; por ejemplo, el ángulo de refracción de la luz amarilla en la atmósfera es de 138 grados y como consecuencia hace que el arcoiris pueda ser visto únicamente cuando nos encontramos de espaldas al sol.

L: ¿Este es el mismo fenómeno que explicaría por qué el cielo es azul, señor Físico?

J: La refracción también aparece allí junto a reflexión, fenómeno conocido como la “dispersión de Rayleigh” (Del Mazo Vivar, 2016). La luz blanca del sol en términos de colores presenta una onda con una longitud larga, la cual es roja y una onda cuya longitud es corta como lo es la violeta. Ahora, el aire que respiramos y se encuentra en el medio ambiente, está compuesto básicamente por moléculas de oxígeno, nitrógeno, gases y otras partículas diminutas. La luz del sol atraviesa el ‘vacío’, no tan vacío que hay entre el sol y la tierra sin que le pase nada.

Sin embargo, cuando llega la luz del sol a nuestra atmósfera muchos rayos de gran longitud siguen derecho, pero los rayos que tienen una longitud corta como el azul -la cual es comparable con el tamaño diminuto de estos átomos atmosféricos- chocan con estos, cambiando de dirección constantemente y provocando el brillo del cielo. Tal vez has notado que el color del cielo no es uniforme, se vuelve blanco especialmente cerca al horizonte, ya que allí hay más atmósfera y además esta onda azul se ha dispersado tantas veces que ha perdido su intensidad. Por otro lado, si las ondas de luz chocan con las partículas que son relativamente grandes, como las gotas de agua o los cristales de hielo que componen las nubes, la luz no se descompone, es decir que todos los colores rebotan por igual en todas las direcciones y, por consiguiente, la luz sigue siendo blanca al igual que las nubes.

L: ¿Qué pasa, entonces, en la luna, señor Julián?

J: El caso de la luna es el de muchos satélites, que carecen de atmósfera y, por ende, no tienen partículas que dispersen la luz; por lo tanto, sus cielos se ven de color negro y podemos ver las estrellas en pleno día si te llegaras a encontrar sobre ellos. Pero no me distraigas que quiero llegar a hablarte de los rayos cósmicos. Después de pasar por el espectro visible llegas a encontrarte las ondas ultravioletas, que son las que más te afectan cuando vas a la playa a broncearte. Los rayos *UV* como son conocidos dañan de manera directa el ADN de tus genes que controlan el crecimiento de tu piel, así que puedes envejecer rápidamente si te expones a estos rayos mucho tiempo y repetidamente... De aquí en adelante los rayos que menciono serán más energéticos y peligrosos como los rayos X. Wilhelm Conrad Röntgen descubrió estos rayos, pero no sabía de su origen y debido a esto los llamo X (Guerrero, 1995, pp. 150–152). Los rayos X cuando interactúan con la materia terminan chocando con los electrones de los átomos que los conforman, y al colisionar pueden estos rayos ser absorbidos transfiriendo su energía o pueden dispersarse. Este tipo de radiación es ionizante porque podría en principio ionizar la materia, es decir romper los enlaces atómicos y dejar partículas cargadas sueltas.

L: Señor Julián, ¿la radiación del teléfono móvil o celular es peligrosa?

J: Lo primero que debes saber es que nosotros estamos constituidos por moléculas y átomos, y estos átomos tienen un núcleo; si la radiación incide sobre ese núcleo podría excitarlo, cambiarle su estado energético, que luego de un tiempo vuelve a su estado inicial, perdiendo su energía y liberando una cantidad de energía grande. El exceso de energía es el que produce esta radiación ionizante. Existen varios tipos de radiación ionizante: los rayos o partículas *alfa*, los rayos *beta* y los rayos *gamma*, producidos mayormente en el núcleo del átomo. La intensidad de esta radiación depende, entonces de qué tanta energía en exceso tenga el núcleo, pero también depende del número, en este caso el exceso de neutrones que tenga el núcleo, causante de que la radiación sea más peligrosa.

La radiación del celular no es ionizante y no se produce por la des-excitación del núcleo, así que en principio sólo podría calentar tu oreja si gastas mucho tiempo hablando por celular, mas no cambiando tu ADN. Los rayos X, por el contrario, sí modifican los genes y esto puede producir malformaciones e incluso cáncer, e infertilidad para el caso de los de los varones. Esta radiación afecta a las células, que están en constante desarrollo y crecimiento, por lo cual ninguna mujer debiera tomarse una placa de rayos X cuando está embarazada, y los varones deberían cuidar sus células madre porque podría causarles infertilidad.

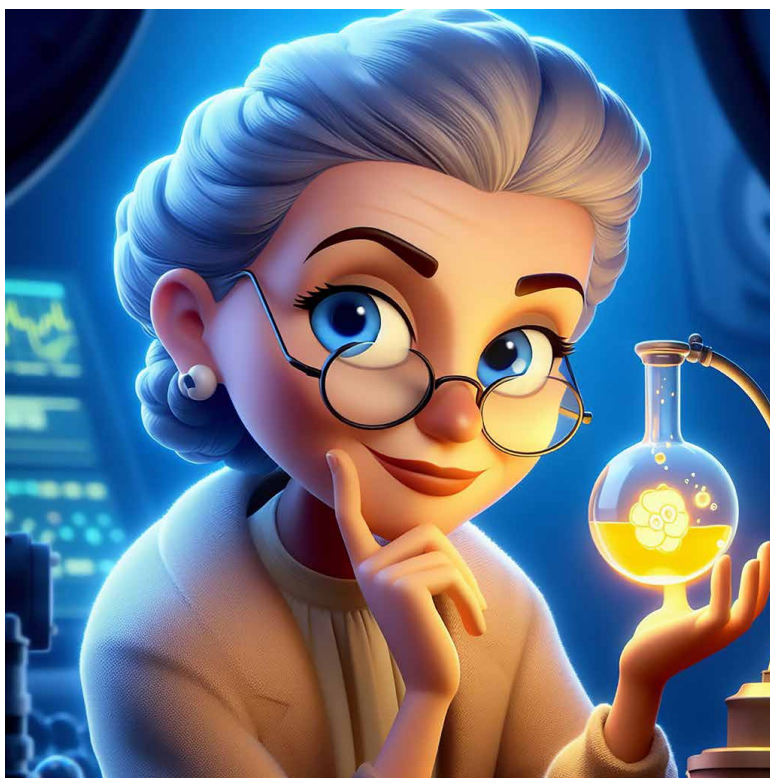


Figura 24: Madame Marie Curie, doble Premio Nobel (Física y Química).

L: Señor Físico, si volvemos al ejemplo del pollo en el horno, ¿por qué estos dispositivos tienen una malla negra dentro y podemos ver a través de ellos? ¿No es peligroso? ¿Podría la radiación microondas huir del horno microondas y llegar a nuestros cuerpos o a nuestros ojos?

J: Los hornos microondas contienen un sistema de seguridad que evita que las ondas atraviesen las paredes metálicas del aparato. Las paredes cuentan con una malla metálica con pequeños agujeros. Estos agujeros dejan salir la luz visible y por eso podemos ver la comida mientras se está calentando, pero el aparato evita que las ondas de microondas salgan debido a que los agujeros son de 1,5 mm aproximadamente y la longitud de onda de la microonda es de 12 cm, así que no tienes por qué preocuparte.

L: Señor Julián, me acabas de tranquilizar un poco, aunque me quedé pensando en los rayos X. ¿Qué tan cierto fue que Madame Curie los descubrió y que aún puede emitir radiación desde el más allá?

J: Te voy a contar unas curiosidades sobre ella, mientras trato de explicarte lo de los rayos X. ¿Sabías que Marie Curie fue la ganadora del Premio Nobel tanto en física como en química? ¿Y que se casó con Pierre Curie y que usó su vestido de novia como bata de laboratorio?



Figura 25: Recreación de Pierre Curie

L: No sabía que ella fuera tan destacada y que tenía esa particularidad en su vestimenta, pero ¿al fin descubrió o no los rayos X?

J: Ella conoció al amor de su vida buscando un laboratorio, pero también este amor la condenó. En la búsqueda de un laboratorio conoció a Pierre Curie, quien le ofreció un espacio de su laboratorio para su investigación. Ella falleció como consecuencia de una anemia originada, posiblemente, por la constante dosis de radiación absorbida por sus muchos años al lograr aislar y caracterizar elementos químicos como el radio y el polonio. A Madame le debemos el término 'radiactividad', mas no el descubrimiento de los rayos X. Con respecto a tu pregunta de si ella aún emite radiación desde el más allá, la respuesta es que no, pero su cuerpo sí. A ver, te explico: Madame Curie estuvo constantemente radiada con isótopos de radio por muchos años durante su investigación. Se ha calculado que aproximadamente por cerca de 1600 años va a seguir siendo radiactivo el cuerpo de Madame. Los científicos Curie -junto al francés Voltaire y a otros grandes pensadores- se encuentran actualmente en un mausoleo en Francia. Particularmente, los ataúdes de los Curies están en cofres bien blindados con una capa de plomo de 3 cm aproximadamente. Por cierto, los objetos con los que ellos investigaban también están emitiendo radiación, como además sus notas de laboratorio.

L: Señor Julián, ¿cómo puedo saber qué tan peligrosa es una radiación?

J: La peligrosidad de la radiación está relacionada con el tiempo de semivida o de desintegración de los isótopos. Si los átomos decaen rápidamente son más peligrosos y radiactivos que los que presentan una semivida de algunos cuantos meses hasta muchos años, como es el caso del *bismuto*, que se dice va a ser el último elemento en extinguirse.

L: Es decir que ¿cuánto es el tiempo de semivida del bismuto?

J: Apesar de que el bismuto es un elemento químico radiactivo, no representa un peligro como sí su hermano, el Polonio. El bismuto no es tan nocivo como otros elementos, podemos inclusive tenerlo en la casa sin ningún problema, lo podrías comprar por *internet*. La particularidad con este elemento es que es el que más tarda en extinguirse por lo siguiente: Supongamos tú tienes 10 gramos de un material radiactivo cualquiera -llamémoslo el átomo-, el tiempo que demora en decaer a 5 gramos se le denomina *semivida*. Supongamos que fueran 10 años, entonces en 20 años va a decaer completamente; para el bismuto se ha calculado que el tiempo de semivida es aproximadamente 20 trillones de años, tiempo más extenso que la misma edad del universo, por lo cual se considera el elemento casi estable más pesado que existe en el universo.

El bismuto, además, posee unas propiedades particulares: cuando se encuentra en estado sólido es menos denso que en su fase líquida, es decir que los cristales de bismuto flotarían en el líquido de bismuto. La propiedad de expandir su estructura química o molecular cuando se enfría, también la presenta el agua y esta es la razón principal por la cual no debes poner tu lengua en una superficie congelada, si no quieres que se te quede pegada. Los Físicos y los ingenieros comprimieron el bismuto y le aplicaron calorímetros o detectores a su alrededor para calcular el tiempo de semivida de este elemento, y se dieron cuenta que ese tiempo es demasiado grande; necesitamos dos veces la edad del universo, aproximadamente, para que decayera por completo. En la medicina es utilizado el bismuto en el *Pepto-Bismol*, y forma parte de estos remedios para tratar las úlceras.

L: ¿Qué tan peligrosa puede ser la radiación, y cómo puedo frenarla?

J: Luke, núcleos inestables -como te mencione antes-, emiten básicamente 3 tipos de radiación: *Alfa*, que es la primera de la que te voy a hablar. Este flujo de radiación ionizante presenta una carga positiva; básicamente del núcleo inestable se emite una partícula llamada partícula *Alfa*, que es un núcleo de helio;

es decir que contiene 2 protones y 2 neutrones, y esto ocurre también en elementos muy pesados.

¿Cómo podría ser nuestro blindaje? ¿Puedes creer que una hoja de papel puede proporcionarnos suficiente protección contra este tipo de radiación? Después de las partículas o radiación *alfa* tenemos las partículas *beta*. La *beta ray*, como se le conoce, son electrones ultra-relativistas; el adjetivo relativista hace referencia a que estos se están moviendo a velocidades muy cercanas a la velocidad de la luz. Estas partículas son emitidas del núcleo atómico, mas no de las órbitas del átomo, ¿increíble, no?

Resultan muy interesante las partículas que salen de allí (los electrones, los positrones -porque también del núcleo se pueden emitir partículas positivas-, y los vampirillos de la física que también están presentes en esta emisión *beta*). Esta radiación también se presenta en núcleos en donde la relación de neutrones y protones es demasiado grande; entonces ese núcleo inestable decae emitiendo partículas *beta*, en cuyo caso el blindaje que nosotros necesitaremos es una lámina de aluminio. Si algún día tienes que irte a explorar el universo, no olvides una hoja de papel y una lámina de aluminio.

L: Y, ¿cuál es la última partícula o radiación emitida del núcleo?

J: Faltaría la más importante y la más peligrosa: los rayos *gamma* (Wilke, 2016), los cuales son demasiado energéticos y peligrosos, los primos más energéticos de los rayos X. Esta radiación es demasiado penetrante, tanto que no lo podrías parar con una hojita de papel ni con aluminio, necesitarías de un muro de hormigón muy grueso para bloquear este tipo de radiación. Por cierto, si te encuentras una moneda o fuente de radiación como la de cobalto, no la tomes, te atravesaría tu mano de lado a lado.

L: Bueno, ¿y cuándo aparecen los rayos cósmicos?

J: ¿Qué pasa con estos rayos cósmicos? Pues una vez el científico Víctor Hess salió de viaje en un globo aerostático y al aumentar

altura se dio cuenta que el número de iones estaba aumentando en la atmósfera; comprobó que la ionización se multiplicaba por cuatro respecto del suelo y esto lo hizo acreedor al Premio Nobel de Física (1936). Asimismo, Hess descubrió que había un tipo de radiación que debería llegar al planeta Tierra, y que como consecuencia generaba este aumento de partículas cargadas. El origen de esta radiación se pensaba que era netamente solar; sin embargo, Víctor realizó el mismo experimento durante un eclipse solar, llegando a obtener el mismo resultado. Los rayos cósmicos están compuestos principalmente por núcleos de Helio, protones, pero también elementos estables, inclusive hasta el uranio. También pueden existir antipartículas como positrones y antimateria. Cuando los rayos cósmicos chocan con las moléculas del aire de nuestra atmósfera generan una cascada de partículas secundarias llamada *rayos cósmicos secundarios*. En este proceso se producen gran cantidad de hadrones, sobre todo piones, protones y neutrones. Los piones neutros, a su vez, se desintegran en electrones, positrones y muones.

L: Pero, señor Físico, ¿qué es un hadrón? Es que ya ni se dónde ubicar estas partículas en el modelo estándar.

J: Luke, las partículas incluyen otra clasificación relacionada con su masa. Existen los leptones y los hadrones. Los primeros son de masa reducida y los segundos poseen una masa relativamente grande. Por su parte, los electrones son leptones y los protones y neutrones son hadrones. Los hadrones que contiene un par *quark - antiquark* se conocen como mesones y los bariones son partículas formadas por tres *quarks*.

L: ¿Es decir que los protones y neutrones son a su vez *bariones*?

J: Correcto, amigo Luke. Además de ellos existen otros bariones como las partículas *sigma* y *lambda*, mientras que dentro de los mesones podemos tener los *kaones* y los *piones*.

L: Señor Julián, al parecer todas las radiaciones conllevan un efecto secundario. ¿Qué instrumento, aparato o mecanismo

podría usar para frenar la radiación del plátano que me comí en los días pasados? No quiero que me pase nada malo...

J: Tranquilo, Luke, te mencionaré un método muy sencillo que puedes prepararlo en tu casa y que tu mamá a veces te lo da en el desayuno: el café. El efecto que tiene este, o más precisamente la cafeína sobre la radiación, es atacar los radicales hidroxilos que se producen en este proceso. Te había mencionado en días pasados que un plátano emite constantemente radiación debido a su isótopo *potasio 40*. Si duermes con una persona con dosis de radiación equivale a exponerse a medio banano, entonces si tú quisieras compartir el dormitorio con alguien, te aconsejaría tomarte una taza de café para protegerte de la toxicidad de esta persona. Más aún, llamar a una persona 'tóxica' adquiere sentido estricto si lo vemos desde el punto de vista de la *radiación* que puede emitir, mas no de su personalidad.

L: Señor Físico, me iré a poner un poco de protector solar y a poner una hoja de papel en mi maleta de primeros auxilios, por si algo extraordinario pasa... Adiós.

RELATO 7

‘¿Adivina quién?’ ...

Me encontraba cenando cerca a mi casa, recordando un problema sobre energías renovables que me preguntó Yenny, una estudiante de la universidad. Ella preocupada por el cambio climático, se cuestionaba sobre la energía nuclear y el nuevo experimento que están haciendo en Europa sobre la fusión. Ella decía que esos científicos querían obtener el poder del sol en la palma de la mano, tal cual lo mencionaba el *doctor Octopus* en la película de *Spiderman*. Inmersa en su curiosidad, se preguntaba sobre la eficiencia de las plantas de energía como las hidroeléctricas, termoeléctricas y las centrales nucleares, cuando de repente Luke entró a la panadería.



Figura 26: Doctor Octavius. Imagen recuperada de: <https://www.xataka.com/cine-y-tv/verdades-mentiras-tritio-que-doctor-octopus-utilizaba-spider-man-2>

L: Hola, señor cazador de neutrinos, ¿cómo está?, o mejor, el Físico de la barba.

J: Hola, amigo Luke, ¿qué haces?

L: Vine a comprar el pan para el desayuno, estoy que me duermo y necesito estudiar para una evaluación que tengo mañana.

J: Y, ¿por qué no aumentas la entropía de tu cerebro? Te serviría tomar una taza de café, estarías protegiéndote de la radiación y tendrías un mejor procesamiento de datos y una mayor concentración al desordenar tu cabeza.

L: Señor Físico, si ni siquiera he logrado entender la primera Ley de la Termodinámica y cuándo un proceso es reversible y cuándo no, mucho menos voy a entender el concepto de la Entropía (segunda Ley). He escuchado a mi mamá hablar del desorden de mi habitación y el aumento de la entropía, pero ¿cómo es posible esta relación?

J: Volveré a repasarte las leyes de la Termodinámica, pero esta vez desde otro punto de vista más sencillo. Los principios termodinámicos son como nuestras madres. Nos prohíben prácticamente todo. Si estás en un juego, la primera Ley de la termodinámica te dice que no puedes ganar; la segunda Ley te dice que no puedes empatar, y la tercera Ley que no puedes abandonar la partida, es decir que siempre irás perdiendo en el juego, ¡vaya lío! Te recuerdo que para entender la primera ley de la Termodinámica, tienes que saber que “la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma”, y se transforma en muchas más otras clases de energía. Sin embargo, después de muchas transformaciones esta terminará degradándose y convirtiéndose en calor... Así como los problemas en una relación de pareja, terminan degradando el amor.

La segunda ley de la Termodinámica, te dice que debes pagar un costo en forma de calor al pasar de un tipo de energía a otra. El calor no es más que el movimiento desordenado de las

partículas, y esta cantidad de calor disipada es mayor entre más considerables sean las diferencias entre las energías. Me hiciste recordar a mi estudiante Yenny y sus preguntas sobre la energía. Por ejemplo, las hidroeléctricas que funcionan cerca de nuestras casas tienen un aprovechamiento grande de la energía, es decir su eficiencia es alta. Cuando se pasa de una energía mecánica de traslación de la corriente de agua de un río, esta aprovecha su energía hidráulica y la convierte en energía mecánica rotacional de un sistema de engranajes que permite producir electricidad. Estos dos tipos de energía: traslacional y rotacional se parecen y el costo muy grande, si bien su eficiencia será del 85%, aproximadamente.

Sin embargo, si la comparamos con la central térmica convencional, cuando tú intentas aprovechar la energía térmica del carbón o del gas, al quemarlo y así producir vapor y mover una turbina, tienes que convertir dos energías completamente diferentes. El peaje o costo calorífico entre la energía térmica y la energía eléctrica es demasiado grande, ya que estas dos energías son muy diferentes. Por consiguiente, se pierde el 65% de la energía. Por así decirlo, talas un arbolito y sólo una pequeña fracción de él se utiliza efectivamente, atentando en gran medida contra la vida de nuestros ecosistemas.

L: Entonces, ¿dónde ubicamos la entropía?

J: Te voy a explicar la entropía con un juego llamado ‘¿Adivina quién?’ Este juego de mesa consta de dos tableros idénticos que reciben los dos participantes. En cada tablero hay muchas fichas con muchos personajes con profesiones distintas: abogados, científicos, personas con barba como yo, otros calvos, es decir personas con características físicas y con *outfits* diferentes.



Figura 27: Juego '¿Adivina quién?'

Tú debes escoger uno de ellos y adivinar cuál personaje escogió tu oponente. Entonces, por ejemplo, tú empiezas a preguntarme por detalles: si mi personaje es un hombre o una mujer, que si es moreno o morena, que si tiene el cabello largo o si tal vez usa algún accesorio... Alrededor de 20 preguntas puedes necesitar en promedio para delinear y adivinar el personaje. Al empezar a jugar, el personaje que yo escogí lo podemos llamar 'estado del sistema'; entonces la entropía estaría relacionada con el número de preguntas con respuesta de 'sí' y 'no', que puedes hacer para adivinar mi personaje. La entropía se basa en esas posibilidades o esos caminos para llegar a conocer el estado de un sistema y crece si aumenta el volumen, es decir el número de personajes. Si estuviéramos, por ejemplo, en tu cuarto y dejas tu celular en una parte específica, yo empezaría a hacerte muchas preguntas como, por ejemplo: ¿Está el celular a la derecha o a la izquierda de tu habitación?, ¿está en la parte de arriba o de abajo de los muebles? Y empiezas a dividir así muchas veces el volumen de tu cuarto, hasta que logro obtener la ubicación de tu teléfono o, lo que es lo mismo, el 'estado del sistema'.

L: Señor Físico, si la entropía está asociada al desorden, entonces, ¿los seres humanos vamos en contra de la entropía?

J: No, a pesar de que los seres humanos somos sistemas complejos altamente ordenados con ‘baja’ entropía, y hoy en día todos los procesos siempre van en aumento de entropía, luego no estamos violando el segundo principio termodinámico. Hagamos el siguiente ejercicio mental: imaginémonos que tenemos una hoja de papel con unas piedritas sobre ella y hojitas de árboles, en posiciones aleatorias, y nosotros agitamos el papel.



Figura 28: Foto para explicar la entropía y el grado de desorden. Imagen recuperada de: <https://wallhere.com/es/wallpaper/1240905>.

Después de un tiempo las piedritas han cambiado sus posiciones, evolucionando a otros lugares. Por más que tú sigas moviendo el papel y agitándolo, no podrás volver al estado inicial.



La entropía -desde otro punto de vista físico- está midiendo la improbabilidad de que este sistema vuelva al estado inicial, y todo ello porque las hojitas y las piedritas tienen muchos *microestados* en los cuales evolucionar. La entropía asume

una característica: aumenta en procesos irreversibles, como cuando quemamos una hoja de papel, y esto nos limita a que el sistema vuelva a su estado inicial. Respondiendo a tu pregunta, los seres vivos no vamos en contravía de la segunda ley de la Termodinámica, y esto debido a que para tener la organización que tenemos de nuestros átomos, moléculas y ADN, necesitamos extraer mediante los alimentos y la combustión orgánica que existe de material orgánico la energía necesaria para conservar nuestras estructuras. El extraer la energía del entorno, desordenaría *a posteriori* nuestro alrededor. La entropía local de nuestro cuerpo estaría aumentando a costa de la entropía global del universo, la cual estaría creciendo constantemente. Así que no iríamos en contra de este principio del aumento entrópico del universo.

L: Señor Julián, si nosotros extraemos energía del universo, ¿acaso estaríamos absorbiendo polvo de estrellas? ¿Nuestro cuerpo estaría formado por los átomos de muchas galaxias?

J: Nosotros estamos hechos de ‘polvo de estrellas’ básicamente porque nuestros átomos fueron creados en una caldera demasiado grande, muy energética. Se cocinaron nuestros átomos con los átomos de las galaxias hace miles de millones de años después del *Big-Bang*. Recordemos que los átomos de hidrógeno se estuvieron mezclando con sus isótopos y crearon átomos de helio en este proceso y liberaron mucha energía mediante la fusión. La constante fusión generó la formación de otros elementos más organizados, más complejos como el carbono, el potasio y el oxígeno. La vida la podemos interpretar como el resultado de muchos procesos de fusión entre átomos. Literalmente, nuestra edad es la edad del universo.

Si algún día te sientes triste, te recomiendo mirar las estrellas y darte cuenta de que nuestros átomos vienen de la complejidad del universo, somos un proceso de evolución del *Big-Bang*. Tu mano derecha puede tener los átomos de una *supernova* y tu mano izquierda de una enana blanca que debió también haber explotado. Nuestro cuerpo humano básicamente es una especie de Frankenstein. Puede que nosotros tengamos los átomos de

Michael Jackson, de Jesucristo o de cualquier personaje de la historia. ¿Sabes de quien no podríamos tener sus átomos?

L: ¿De Cristiano Ronaldo?

J: Sí, pero también no podríamos tener los átomos de Stephen Hawking debido a que los átomos de él se demorarán algunos años más en redistribuirse, ¡pero eh!, puedes tener los de Einstein, así que eres afortunado.

L: Señor Julián, entonces ¿qué les pasa a los átomos cuando morimos?

J: Los seres humanos y todo lo que existe en este momento, es el resultado de la evolución de los átomos. Cuando fallecemos, nuestros átomos trascienden y buscan hacer historia en otro lado, quieren formar nuevas estructuras, ser parte de nuevos seres vivos. Me hiciste recordar una película llamada *I Origins* dirigida por Mike Cahill. En esta película un doctor en biología le dice a su prometida que sus átomos estuvieron juntos desde el *Big-Bang*, que se habían conocido antes, que siempre se amaron y que estaban destinados a unirse para la eternidad.

L: Julián, entonces, ¿se podría en principio ubicar las relaciones amorosas sentimentales desde la Física?

J: Las historias de amor entre una pareja pueden verse como el ciclo de vida de una estrella. En efecto, la estrella para su funcionamiento y evolución necesita estar continuamente fusionando átomos e isótopos de hidrógeno, como el *deuterio* y el *tritio* y liberar así la energía suficiente para vivir. Las relaciones sentimentales empiezan cuando dos personas se juntan como el caso de los isótopos del hidrógeno, y se juntan muchas veces para producir energía y mantener así su relación. Ellos pueden interactuar con otras personas más y alcanzar una relación bonita y social.

Ahora bien, el problema es que si alguno de los hidrógenos o isótopos va con otro hidrógeno, estaría aumentando la presión interna gravitacional, es decir, la presión social. El hidrógeno estaría acabando con su pareja y cediendo a esta fuerza social, y ahora querrá fusionarse con el helio produciendo así nuevas relaciones y, por ende, nuevas estrellas. Si ahora, él está consumiendo más helio de lo normal para mantener así sus gustos y su manera de vida, consumirá muchos helios que produjo en la fusión, generando un problema: los átomos de helio dieron lugar a nuevos átomos, nuevos elementos como el litio, el boro y sobre todo el carbono que es importante para la vida. Después querrá consumir el carbón para durar mucho más activo y fusionarlo hasta lograr obtener magnesio, hierro; y allí es donde muere la estrella. Lastimosamente, esa estrella quiere seguir funcionando, pero necesita más energía para esto.

Resulta paradójica e irónica esta situación, porque la estrella necesita energía para vivir, pero necesita aún más energía para poder fusionar los átomos, y entonces muere. Asimismo, las relaciones deben evitar el consumo excesivo de muchos hidrógenos, y de otras relaciones y otras personas si quieren vivir y no apagar el combustible del amor.



L: Señor Julián, entonces, ¿así funcionan las plantas nucleares de las que hablaba Yenny?

J: No, en las plantas nucleares los científicos estamos rompiendo el uranio, y produciendo elementos muy pesados, algunos de ellos no estables y que se van lentamente desintegrando, emitiendo radiactividad o incluso desechos radiactivos de muy larga duración de hasta 20.000 años. Mediante la fusión, por otra parte, estamos uniendo elementos y produciendo helio estable, y mucha energía debido a la deficiencia de masa y la ecuación de Einstein $E = mc^2$.

L: Y, ¿es posible que podamos partir o unir átomos, o chocar átomos sin crear *agujeros negros* en la tierra?

J: Lukeee, ¿de dónde sacas esas cosas? Te voy a comentar algunas curiosidades de los temibles *agujeros negros*. Estas singularidades del espacio - tiempo no se ven como portales interdimensionales, usualmente vistos en las películas. Si nosotros tuviésemos un *agujero negro* en frente de nosotros, no lo veríamos...

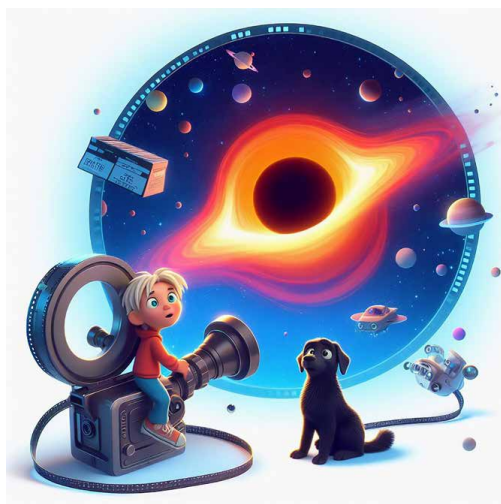
L: ¿Cómo es posible esto?

J: Esto es posible porque tendríamos algo negro dentro de un espacio oscuro, entonces es difícil para nosotros observarlo, ópticamente hablando. La manera que tenemos de ver un *agujero negro* es con su *salpicadura*, pero no de la que habla Shakira en su canción... Y, ¿cómo salpican los *agujeros negros*? Ellos salpican de la siguiente manera: Imagina el remolino que se crea cuando nosotros pasamos el agua de una botella a otra botella, el agua quiere entrar rápidamente en la otra botella acelerándose, y cuando la masa de agua -en este caso materia- se acelera, emite radiación y esta radiación básicamente es la que nosotros detectamos.

Otra manera de observarlos es mediante el choque de ellos. Dos agujeros pueden chocar o devorarse uno con otro, emitiendo

unas ondas llamadas *gravitacionales* (Valdés, 1988). ¿Sabes que resulta ser curioso? Que por más peligroso que sea el *agujero negro*, nosotros podríamos vivir cerca a uno y no pasarnos absolutamente nada. Podríamos no ser succionados por uno de ellos, y esto es básicamente porque a una distancia considerable –como lo es la distancia del sol a la tierra–, serían indefensos. Podríamos intercambiar el sol con un *agujero negro* y podríamos existir, aunque puede que la vida –hablando desde el punto de vista biológico– no se origine. No obstante, las estrellas y los planetas podrían seguir orbitando alrededor de ese *agujero negro* sin ser succionados, y entonces a una distancia muy grande, pues él es muy inofensivo como cualquier estrella.

L: Y, más aún, ¿qué pasaría si yo cayera en un *agujero negro*?



J: Si tú llegases a caer en un *agujero negro*, tú nunca sabrías que estás cayendo en uno. Porque cuando tú empiezas a caer a través de él, la gravedad se haría tan intensa y tan grande que, eventualmente, ralentizaría el flujo del tiempo, y entonces las ondas que salen de tu cuerpo para que nosotros podamos verte, no van a vibrar tan rápido sino muy lento, haciendo parecer que tú estuvieras quieto y nunca terminarás de entrar al agujero. Es como una especie de espagueti que se alarga y nunca termina de caer en el agujero.

L: ¿Cómo un espagueti? Wow ¿así se llama este fenómeno?

J: Como te comentaba, al caer en un *agujero negro*, existe la posibilidad de que atravesemos el horizonte de sucesos; al ser así, el tiempo se detendrá, por así decirlo. No vamos a sentir el paso del tiempo, nuestras mañanas van a ser eternas, no pasarán los días. La única manera de saber que estamos cayendo en un agujero es por la *espaguetización*, y sí, así le denominamos. Básicamente, veremos que existirá una diferencia de gravedad entre nuestra cabeza y nuestros pies. Tendríamos una gravedad tan inmensa en nuestras extremidades inferiores, que terminaríamos por alargarnos, convirtiéndonos en *espaguetis*.

L: ¿Qué otra manera tendríamos para identificar y saber que vamos cayendo en un *agujero negro*?

J: Otra manera de saber si estamos cayendo en un agujero negro, sería intentar bostezar...

L: Pero, ¿por qué no podríamos hacerlo?

J: No podríamos bostezar por muchas razones, pero te voy a plantear dos curiosas. La primera: la falta de átomos de oxígeno en esa región del espacio, y la segunda que no contaríamos con una presión adecuada para este proceso. Es como si nosotros nos fuéramos de viaje y estuviéramos bajo la superficie del mar o, por ejemplo, en Venus o el Marte. A pesar de que estos dos planetas se parezcan al planeta tierra, la presión sería inferior a la nuestra, así que nos tendríamos que olvidar, básicamente, de poder bostezar en lugares que no sean en la superficie de la Tierra y menos en un agujero...

L: Si existiera un *agujero negro* en el centro del sistema solar, mejor me iría a lo más recóndito del universo donde exista el vacío...

J: Si te escuchara el Físico Casimir, te estaría sacando la lengua. Ayer en la clase de laboratorio de electricidad y magnetismo,

un estudiante me formuló una pregunta relacionada con tu afirmación cuando estaba midiendo las cargas generadas por inducción por medio de una jaula de Faraday: ¿Está vacío el vacío? Esta pregunta se puede afrontar de muchas maneras, y una de ellas es la mecánica clásica con la noción de densidad como la cantidad de materia que se encuentra en un volumen. Otra manera es desde el punto de vista filosófico de la existencia como tal. La manera más adecuada de afrontarla es teniendo en cuenta todas las formas de radiación y materia que existen.

El vacío –clásicamente hablando– se concibe como la ausencia de materia; de hecho, si quisiera crear un vacío clásico en un salón de tu colegio, tendría que sacar todos los pupitres, cuadernos, libros, cartulinas, personas, televisores, mesas, el oxígeno, es decir las moléculas y átomos de todo. En principio, pensaríamos que hemos creado ‘vacío’, pero no es así. Aparte de sacar toda la materia, también deberíamos opacar el cuarto, aislarlo térmicamente porque puede que nos llegue la radiación del sol que, si nos llega, lo que va a pasar es que empezará a calentar las paredes. La energía también se propaga por radiación y va a crear una energía térmica adentro del recinto. Recordemos que existe la ecuación de equivalencia de masa y energía de Einstein, que nos dice que de la energía podemos crear masa.

Tendríamos, por tanto, que aislar el cuarto también para tener vacío. Sin embargo, además es preciso hacer una última cosa: revestirlo de metal, de un blindaje específico para esas radiaciones especiales, como los rayos cósmicos y los neutrinos no lleguen y atraviesen las paredes e interactúen en el cuarto. Así que crear vacío no es tan fácil del todo; sin embargo, sí podemos crear materia del vacío. Un Físico llamado Hendrik Casimir estudió el vacío en unas cavidades y encontró lo siguiente: Si nosotros sacamos toda la materia y radiación de un cuarto, lo aislamos térmicamente y lo revestimos de un blindaje, pero no lograríamos obtener un vacío completo. Casimir puso dos láminas metálicas descargadas muy cerca, a distancias muy pequeñas del orden de las micras, dentro de este supuesto vacío que se creaba en el cuarto, y se dio cuenta de que las dos

placas se atraían y que esta fuerza de atracción era proporcional al inverso de la cuarta potencia, la distancia. En este punto, la fuerza de Casimir inclusive es más grande que la electroestática; entonces llegó a la conclusión de que el vacío no era tan vacío, que había como una presión de radiación, que había como una densidad de energía. Hendrik explicaba que en ese vacío deben existir los campos eléctricos y magnéticos que fluctúan tanto en el espacio como en el tiempo y no son simultáneamente cero. Por tanto, descubrió que el vacío no era tan vacío y que podría ser una de las razones por la cual el universo se esté expandiendo al considerar la fluctuación de un campo que se creó en el *Big-Bang*...

L: Una vez mencionaste que el vacío estaba lleno de partículas virtuales... ¿Acaso es verdad eso?

J: Para contestarte, te contaré una hipótesis de Alan Guth: el universo es el resultado de fluctuaciones mecánico - cuánticas del vacío; incluso podría ser a altas temperaturas resultado de una fluctuación, el pasivo que tiene una densidad y que pueden pasar cosas como esta que también puede explicar el principio de ser hoy del espacio - tiempo.



TO BE CONTINUED



ACLARACIÓN IMPORTANTE:

La mayoría de imágenes fueron diseñadas mediante la *Inteligencia Artificial (IA)* y de autoría propia, con *links* principalmente donde se abordan algunos conceptos de manera más divulgativa.

REFERENCIAS

Del Mazo Vivar, A. (2016). Esparcimiento de Rayleigh. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 13 (2), 505–510

Entrevista a Yoji Totsuka. Recuperado de: <https://www.uv.es/pou/docencia/Piloto0304/Neutrinos.pdf>

Esquivel Sirvent, R. (2011). La fuerza del vacío. El efecto Casimir. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nano-ciencias y nanotecnología*, 4(1), 23–32.

Guerrero, L. H. U. (1995). Röentgen y el descubrimiento de los rayos X. *Revista de la Facultad de Medicina*, 43(3), 150–152.

Stuckenrath, R. (1978). Dataciones de carbono 14. In *Vida y muerte en Cueva Morín* (pp. 215–215). Institución Cultural de Cantabria.

Moreira, M. A. (2009). El modelo estándar de la física de partículas. *Revista Brasileña de Enseñanza de Física*, 31(1), 1306.

<https://www.museocienciavalladolid.es/la-historia-de-newton-y-la-manzana/>

<https://www.fisicalab.com/apartado/efecto-doppler>

https://metroid.fandom.com/es/wiki/Super_Metroid

<https://www.uco.es/~iq2sagrl/TranspTema9.pdf>

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Nuclear/beta.html>

<https://culturacientifica.com/2017/10/24/el-demonio-de-maxwell/>

Valdés, J. F. (1988). *La gran ilusión: las ondas gravitacionales* (Vol. 3). Editorial Kier.

Vaquero López, J. J. (2002). Aspectos técnicos de la tomografía por emisión de positrones. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 2002, vol. 96, nº 1-2, pp. 3-11.

Wilke, N. (2016). Pinzas ópticas: la luz como una herramienta. *Asociación Argentina de Luminotecnia, Luminotecnia*; 131; 3-2016; 24-27



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
T U N J A



Res. MEN No. 03456 del 29 de enero de 2010
Vigencia por seis años