

Ensayos

De la energía del universo a la energía metabólica de los seres vivos

Resumen

A partir de la ley de la conservación de la energía, que refiere a que ésta no se crea ni se destruye, sólo se transforma; y de los postulados de Einstein quien estableció que masa y energía son diferentes manifestaciones de la misma entidad, surge la idea del presente texto. Basados en estos dos principios básicos de la física, el ensayo aborda cómo la energía primigenia del Big Bang ha tenido un recorrido en el espacio-tiempo, transformándose de diferentes formas, hasta llegar a los niveles de energía bioquímica que utilizamos los seres vivos en nuestras funciones metabólicas.

Abstract

This text takes its starting point from the law of conservation of energy, which states that energy can be neither created nor destroyed, but only transformed; and from Einstein's postulates establishing that matter and energy are different manifestations of the same substance. Based on these two basic principles of physics, this essay addresses how the Big Bang's original energy journeyed in space-time, transforming into different forms, until it reached the levels of biochemical energy that we living beings use in our metabolic functions.

Résumé

À partir de la loi de la conservation de l'énergie, qui se réfère au fait que cette dernière ni ne se crée ni se détruit, mais se transforme seulement, et à partir des postulats d'Einstein qui a établi que la masse et l'énergie sont des manifestations différentes de la même entité, émerge l'idée du présent texte. Basés sur ces deux principes basiques de physique, l'essai montre comment l'énergie originelle du Big Bang a eu un parcours dans l'espace-temps qui s'est transformé sous différentes formes jusqu'à arriver aux niveaux d'une énergie biochimique utilisée par nous les hommes dans nos fonctions métaboliques.

Aldo Abraham Salazar Mendoza,
Marco Antonio Camacho Escobar

Palabras clave: Energía bioquímica, energía metabólica, flujo universal de la energía, metabolismo de energía, transformación de la energía.

Introducción

La incógnita de la creación del universo, con toda la energía en sus diferentes manifestaciones, ha llevado a la creación de múltiples teorías sobre su origen, todas ellas enfocadas a la postulación de una teoría única que explique en su totalidad todos los fenómenos universales desde su origen (Vilaroig 2006). El actual concepto de energía es relativamente moderno, en un principio se le denominaba fuerza. Aristóteles en su libro "Sobre los cielos", escrito en el siglo IV A.C., se centró en relacionar las fuerzas terrestres y celestes que interactuaban con los cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego. El astrónomo armenio Abu Ar-Rayan Muhammad ibn Ahmad al-Biruni sostuvo que los fenómenos físicos en el sol, la tierra y la luna obedecen a las mismas leyes de la naturaleza. Más tarde, en 1602, Galileo Galilei afirmó que las leyes que rigen las fuerzas terrestres y celestes son universales (Steinberger 1993). Sin embargo, la percepción cotidiana está condicionada por la física clásica de Newton quien formalizó, inicialmente, ese deseo de unificación mediante su célebre ley de gravitación universal, presentada en el tercer libro de su famoso tratado *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* publicado en 1687. Empero, los postulados de esta ley pierden validez en los dominios de las galaxias y en el universo de las partículas subatómicas.

A principios del siglo XX la Teoría de la Relatividad de Einstein cambiaría radicalmente la física, la cual propone que es la "geometría del espacio"

Maestría en Producción y Sanidad Animal.
Universidad del Mar, Campus Puerto
Escondido, Oaxaca, México.

lo que provoca la fuerza de la gravedad: la presencia de la masa curva en el espacio (Pérez y Rodríguez 2005). Los planetas no describen órbitas alrededor del sol porque existe una fuerza gravitatoria entre ambos, sino que siguen caminos de mínima resistencia a través de un espacio curvo. El espacio cósmico sólo puede representarse de forma precisa usando cuatro dimensiones: tres espaciales y una temporal (Pérez y Rodríguez 2005), explicando de esta manera el comportamiento del macrocosmos.

Una teoría de igual impacto es la Teoría Cuántica propuesta por científicos como Bohr, Pauli, Heisenberg, Planck, Fermi y Dirac; teoría que explica los movimientos del microcosmos, de las partículas subatómicas. Bajo estos postulados, la energía de la radiación no se distribuye de forma continua, sino que lo hace en pequeños paquetes o “cuantos”, cuya energía es proporcional a su frecuencia, la cual está dada por el número de oscilaciones por segundo (Hansen y Kawaler 1994).

Sin embargo, surge la necesidad de una teoría de unificación universal, que conjugue todas las teorías antes mencionadas en una sola teoría, que sea capaz de explicar todos los fenómenos del universo cósmico, del mundo perceptible y del universo subatómico. Actualmente se considera que la teoría más indicada para este fin, es la teoría M, en la que se identifican 11 dimensiones, donde la supergravedad interactúa entre membranas de 2 a 5 dimensiones (Ramos, 2013). De ser cierta, se evidenciaría la existencia de infinitos Universos paralelos, algunos de los cuales serían como el nuestro con mayores o menores diferencias, y otros que serían impensables con 4 ó 5 dimensiones: Sin embargo, aún falta por resolver cómo el gran número (aunque no infinito) de espacios sobre los que se puede compactar la teoría de cuerdas y de arreglos de branas (Ramos, 2013), la cual básicamente asume que todas las propiedades de las partículas, tales como masa, carga y espín, resultan determinadas por las vibraciones de un objeto extendido más básico llamado “cuerda” o “filamento” (Ramos, 2013). De igual manera la llamada “partícula de Dios”, ofrece una explicación de cómo las partículas cuánticas ganan masa y a partir de ellas la formación de nuestro universo, por lo cual se han realizado estudios para demostrar su existencia (ATLAS, 2012; ATLAS, 2013; CMS, 2012). La Organización Europea para la Inves-

tigación Nuclear (CERN por sus siglas en francés) presentó evidencia de sus principales experimentos, con el acelerador de partículas, de haber detectado la presencia de una nueva partícula “similar al bosón de Higgs”, con una masa de alrededor de 2.5 millones de veces la masa del electrón (ATLAS, 2013). Cabe remarcar que los resultados no demuestran que sea el bosón de Higgs (ATLAS, 2012; ATLAS, 2013); por lo que aún se deben llevar a cabo más estudios para determinar las propiedades de esta partícula y confirmar si se trata efectivamente de la tan anhelada partícula teórica (Filardo, 2014).

La formación del universo

Para entender la formación del universo, es necesario partir de un punto infinitesimal, en donde no existía espacio o tiempo; en donde todas las partículas y la radiación se mantenían en perfecto equilibrio a una temperatura de 10¹³ K (Font, 2005).

En esta fase, la irrupción de energía se produce en unas dimensiones de burbuja cercanas al radio de Planck y lo hace en forma de partículas ultrarrelativistas de altísima energía (Font 2005). En donde las únicas partículas existentes son quarks, y debido a que la temperatura es tan alta, que es imposible que cualquier otra partícula se formara a partir de ellos, porque sería inmediatamente disociada; encontrándose en un estado de orden máximo. Sin embargo, algún evento de irreversibilidad, provocó un estado de entropía, y con ello la explosión de este punto, dicha explosión es conocida como el Big Bang (Miranda y Soria 2013).

Después de aproximadamente 0.11 segundos, el universo en formación, se enfría hasta 3x10¹² K, se cree que el universo vivió una etapa de expansión o inflación, dominado por la radiación, y compuesto por partículas subatómicas de masa despreciable como quarks, leptones, bosones de Gauge, partículas de Higgs, así como electrones, positrones, neutrinos, antineutrinos y fotones en equilibrio (Miranda y Soria. 2013).

La temperatura no permite la formación de núcleos atómicos; sin embargo, los neutrones se convierten en protones y viceversa. Pasados 1.09 segundos, la temperatura llega a 1x10¹² K. Los decrementos en la densidad y temperatura permiten que los neutrinos se comporten como partículas libres, dejando de in-

tervenir en el equilibrio térmico con otras partículas (Tyler et al. 2000).

Han transcurrido 13.82 segundos de la explosión inicial, y la temperatura del universo es 10^{10} K, aparece entonces un fenómeno que se conoce como desacoplamiento, en el cual el universo se extiende tan rápidamente que algunas partículas no pueden seguir interaccionando entre sí, ocasionando que los electrones y los positrones comiencen a desaparecer y la energía liberada disminuya el enfriamiento del universo (Montoya 1994). Los neutrinos que absorben esta energía tienen 8% menor temperatura que los electrones, positrones y fotones (Tyler et al. 2000).

Desde ese momento la temperatura del universo será referida a la temperatura de los fotones. Con esas condiciones, se pueden formar los núcleos atómicos más ligeros (H, He, Li). Lo cual ocurre debido a que la energía está fuera del equilibrio, y se produce un proceso llamado nucleosíntesis (Font 2005).

Un protón y un neutrón forman un núcleo de hidrógeno pesado o deuterio, con momento y energía llevados por un fotón. El deuterio colisiona con un neutrón para formar un isótopo más pesado del hidrógeno, el tritio. El deuterio puede chocar con un protón para formar un isótopo más liviano de helio. Pasados tres minutos y dos segundos de la explosión inicial, la temperatura es de 10^9 K, esta temperatura es 70 veces menor que la existente en el centro del sol. Los electrones y positrones han desaparecido casi por completo y el universo está conformado principalmente por fotones, neutrinos y antineutrinos (Urrutia 2005). Después de 34 minutos, la temperatura es de 3×10^8 , la mayoría de las partículas nucleares están conformadas por 22 a 28% de helio o son protones libres. Hay un electrón por cada protón libre o ligado, pero la temperatura elevada aún impide la formación de otro tipo de átomos. Setecientos mil años después, la temperatura bajó lo suficiente para permitir la formación de átomos estables. La presencia de electrones atrapados en los núcleos no significó obstáculo para la formación de radiación (Montoya 1994, Urrutia 2005). El desacoplamiento entre materia y radiación, cuando el universo se encontraba dominado por materia, da lugar a la formación de galaxias y estrellas. La acumulación de grandes masas de gases de H y He se fueron colapsando hasta formar núcleos, en los cuales se inició una reacción termonuclear de fusión.

Al alcanzar los límites de la masa de Jeans, se permitió la formación de estrellas, que en un inicio debieron contener mayor masa o materia, muy distintas a como son actualmente, debido a que se formaron de aquella nube primaria formando diferentes centros de compresión, una estrella cualquiera posee un mecanismo autoregulator en el cual la temperatura se ajusta de tal forma que la energía emitida por la estrella está balanceada por la generación de energía por procesos nucleares (Hansen y Kawaler 1994), dando como resultado un cúmulo globular o agrupación de varias estrellas. El Hidrógeno contenido en las estrellas requiere menor temperatura para fusionarse en otro elemento; sin embargo, debido a las altas temperaturas en el interior de las estrellas, pierden hidrógeno que se fusiona nuclearmente y forma compuestos notablemente pesados, los cuales tienen escasa probabilidad de escapar del campo gravitatorio de la estrella. Esta situación dificulta notablemente el balance de masa de una estrella (Vera 1974).

Por lo tanto, cualesquiera que sean las pérdidas normales de hidrógeno al interior de una estrella, su masa de elementos pesados debe aumentar con el tiempo. Aun considerando al hidrógeno como una masa transitoria, se puede predecir que la masa de elementos pesados de una estrella crece con el tiempo (Hansen y Kawaler 1994). Por lo tanto, al fin de la vida de una estrella, justo cuando se realiza una explosión no proyecta átomos de una sola especie, sino que existe todo un espectro de composición química, de muchos átomos de diferentes elementos químicos (Vera 1974). De esta manera, al paso de miles de millones de años, se formaron estrellas que dieron lugar a galaxias, y todos los cuerpos celestes que existen en el universo, tal cual como los conocemos (Tyler et al. 2000).

El sol

El Sol es una estrella cuya temperatura exterior ha sido estimada en 5,800 K, con una edad aproximada de 4.6×10^9 años. Posee un sistema planetario, el Sistema Solar, y en la clasificación estelar es la fusión termonuclear fuente primaria de energía en nuestro Sol (hacia 1 Mton s^{-1} de materia aniquilada -10^{26} W), siendo el H el responsable de la mayoría de la producción de energía. Como resultado de su fusión crea helio y éste da origen al carbono, nitrógeno, oxígeno, flúor, neón y sodio (Vanniel 1941, Greene 2001).

El sol, el cuerpo estelar más cercano, es quien procura la energía que calienta los planetas que lo rodean. La distancia que existe entre el sol y la Tierra, permitió que se dieran las condiciones necesarias de temperatura, para que con el paso de millones de años, surgiera en ella seres vivos (Greene 2001).

Origen de la vida

En 1924, el bioquímico ruso Alexander Oparin, propuso que células vivas surgieron gradualmente de materia no-viva mediante una sucesión de reacciones químicas. Según Oparin, los gases presentes en la atmósfera de la Tierra primitiva, dieron lugar a los océanos, que se formaron por decantación en las zonas bajas donde el agua escurría, en relativamente poco tiempo adquirieron su carácter salino, debido a la gran cantidad de minerales disueltos. Estos mares cálidos y ricos en compuestos químicos, que al ser inducidos por rayos eléctricos y otras fuentes de energía, como desintegración radiactiva y calor solar; pudieron reaccionar para formar compuestos orgánicos simples (Oparin 1989).

Con el paso del tiempo estos compuestos se autoensamblaron, a pesar de la infinitesimal probabilidad de que esto sucediera, en moléculas cada vez más complejas, como las proteínas y éstas a su vez, pudieron organizarse en estructuras más diferenciadas hasta comenzar a tener funciones similares a las de células vivas.

Sin embargo, cabe la duda de que a partir de sólo estos compuestos haya sido posible el origen de la vida, con su complejidad como la conocemos actualmente; por ello, se ha propuesto que el ARN (ácido ribonucleico) fue la pieza fundamental del origen de la vida, debido a su capacidad de auto replicarse (Ohnishi 1999).

La presencia de ARN supondría el primer paso hacia la vida, al convertirse en gen y catalizador al unísono. Esta idea desembocó en la teoría del Mundo de ARN, que sostiene que el primer proto organismo o también denominado protobionte, estuvo formado por un ARN auto replicativo que, con el tiempo, podría haber evolucionado para sintetizar proteínas (estando unidos los aminoácidos constituyentes a moléculas de ARN predecesoras del ARNt), que permitirían una reproducción más rápida, y lípidos para formar una membrana celular (Gilbert 2001).

Posteriormente el ARN sería sustituido por ADN (ácido desoxirribonucleico), que es más estable. Una vez adquirida la información genética, los protobiontes evolucionarían hacia una estructura celular. Igualmente, se han propuesto otros ácidos nucleicos exóticos, tales como el APN (ácido péptido nucleico) o el ATN (ácido treosa nucleico) como los primeros sustratos de genes (Gilbert 2001).

Aunque estas teorías explican de mejor manera el origen de la vida en el planeta, todavía queda por explicar el problema de la polimerización en un medio acuoso, al ser reacciones que producen agua, de modo que precisan una elevada concentración de sustrato, además de un mecanismo para eliminar el agua producida o acoplar la reacción con otra que libere energía (Losada 1986). Debido a esta problemática, se cree que la polimerización pudo tener lugar en zonas donde se verificara una fuerte evaporación que concentrara los monómeros, por ello se postula que los primeros microorganismos se desarrollaron bajo condiciones extremas de temperatura, y de anaerobiosis, caracterizándose por un potencial de óxido reducción bajo basado en gradientes iónicos a través de la membrana (Miranda-Astudillo 2012); de esta manera fue como obtuvieron la energía necesaria para su supervivencia mediante reacciones de óxido reducción, de forma similar a los actuales microorganismos del grupo arquea y cianobacterias (Losada 1986). Estos microorganismos, para la obtención de energía pueden utilizar: respiración aerobia que utiliza O_2 , respiración anaerobia que utilizan azufre/nitratos, fermentación, fotorrespiración anaerobia que utiliza bacteriorodospina como bomba de protones activada por luz, reacciones de transferencia de metilos para la generación de gradientes de sodio e hidrogenasas reductoras de protones (Schäfer et al. 1999).

La acumulación de los productos de desecho, principalmente O_2 , así como la disminución del sustrato inicial, propició la evolución de estos microorganismos, obligándolos a ser capaces de utilizar compuestos tóxicos como el O_2 para la obtención de energía. Poco a poco se llevó a cabo la evolución de los primeros microorganismos fotosintéticos mejor adaptados, los cuales, a través de las vibraciones causadas por los fotones en los electrones, promovían la formación de energía, y de moléculas necesarias para el crecimiento celular (Losada et al. 1983).

Fotosíntesis

Los primeros organismos fotosintéticos probablemente aparecieron hace $3.0 - 3.5 \times 10^9$ años. A medida que ellos proliferaron, fueron estableciendo interdependencias y relaciones que no sólo los transformaron sino que cambiaron el aspecto del planeta (Sáenz 2012).

La fotosíntesis es, ciertamente, el único mecanismo para atrapar, transducir y almacenar la energía luminosa del Sol en biomasa (3×10^{21} J año⁻¹) y oxígeno molecular (Losada 1986). Consiste esencialmente en la transducción de la energía luminosa en energía electrónica, y consecuentemente en energía Redox. Esta energía es posteriormente utilizada en la oxidación del agua (Vanniel, 1941, Hill 1965) y en la reducción y asimilación de los bioelementos primordiales, carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y fósforo (Losada y Guerrero 1979). Para coadyuvar más tarde en las reacciones reductivas y asimiladoras de los bioelementos y la acumulación de energía química en forma de adenosin trifosfato (ATP).

Formación y función del ATP

La síntesis de ATP en las células se lleva cabo en la mitocondria mediante la fosforilación oxidativa, en caso de células aerobias, y en caso de los organismos anaerobios, a través de procesos como óxido-reducción y fuerza motriz de protones. En el proceso de la fosforilación oxidativa, el paso de electrones desde el NADH y FADH₂ a través de la cadena de transporte de electrones produce un bombeo de protones o hidrogeniones (H₃O⁺) desde la matriz mitocondrial hacia el espacio intermembranal. Este proceso permite la acumulación de H₃O⁺ dando origen a una fuerza protón-motriz que es la combinación del gradiente de pH y del potencial eléctrico a través de la membrana interna mitocondrial (Losada 1986, Rosas, Vázquez, Peimbert y Pérez 2010).

El flujo de protones desde el espacio intermembranal hasta la matriz, proporciona parte de la fuerza necesaria para la síntesis del ATP a partir de ADP y Pi por acción de la enzima ATP-sintasa (Rosas et al. 2010). El ATP es requerido por todos los seres vivos, como fuente de energía bioquímica útil en sus funciones fisiológicas; juega un papel crítico y realiza diferentes funciones en el metabolismo celular como unidad de ácidos nucleicos (ADN y ARN), efector alostérico

de vías metabólicas, permite la producción de intermediarios activados de una variedad de reacciones, participa como componente de coenzimas, y también actúa como un mensajero intra y extracelular, donde actúa como un importante mediador fisiológico (Rosas et al. 2010).

De la energía vegetal a la energía animal

El proceso de transferencia de energía se logra a partir de los diversos procesos digestivos que existen en el reino animal. Básicamente se transfieren de un organismo vegetal o del reino monera, a un organismo del reino animal, la energía química que éstos fijaron, junto con otros compuestos que servirán para la formación y mantenimiento de su estructura general, o como fuente de energía disponible o almacenable (Madigan et al. 2004).

Mediante el uso de diferentes enzimas que ayudan a transformar moléculas complejas como las proteínas, carbohidratos, ácidos nucleicos y grasas; en fracciones más simples, las cuales pueden ser incorporadas a la estructura corporal del individuo, o bien ser utilizadas como fuente energética que es aprovechada inmediatamente o almacenada para su posterior disposición (Owens y Goetsch 1988, Madigan et al. 2004). En esencia, es la misma molécula de ATP, la encargada de aportar los electrones necesarios para la obtención de energía que utilizan los animales. Aunque para su obtención y disposición en los mecanismos fisiológicos es muy eficiente, siempre habrá pérdidas energéticas en forma de calor metabólico.

Como modelo de estudio, los animales que poseen un estómago complejo dividido en cuatro compartimentos, y que son capaces de alimentarse a partir de plantas y forraje, son interesantes desde el punto de vista de flujo energético. Estos animales conocidos como rumiantes, poseen una verdadera cámara de fermentación estomacal, lo cual hace que su alimento esté destinado casi íntegramente al mantenimiento de los microorganismos que habitan en el rumen y, de los cuales se alimenta (Owens y Goetsch 1988). Entre los rumiantes se encuentran los bovinos, caprinos, ovinos, camellos y cérvidos.

Metabolismo energético del rumen

Los rumiantes poseen un sistema digestivo

caracterizado por una amplia diversidad microbiana compuesta por bacterias, protozoarios, hongos anaerobios que se encuentran en el rumen, encargados de degradar la materia orgánica; al inicio, mediante procesos enzimáticos siguiendo distintas rutas metabólicas para la obtención de energía degradando diferentes tipos de sustratos, con ayuda de los microorganismos presentes en el rumen. Posteriormente, los compuestos solubles obtenidos son metabolizados por los microorganismos en ácidos grasos volátiles (AGV), principalmente acético, propiónico y butírico, alcoholes, NH_3 , H_2 , CO_2 y CH_4 (Figura 1) (Owens y Goetsch 1988).

Los AGV absorbidos en el rumen siguen diferentes vías, por una parte los propionatos se transforman en el hígado en oxalacetatos, y al condensarse con la acetil CoA, entran en el ciclo de Krebs, incrementando la formación de glucosa y favoreciendo el almacenamiento de glucógeno en el hígado. Sin el oxalacetato correspondiente, estas reacciones requieren de tres enlaces de alta energía e involucran a dos vitaminas, la biotina y la B12 (Yokoyama y Johnson 1988).

El acetato sólo pasa por el hígado para integrarse a la corriente sanguínea, siendo el único ácido graso volátil que se puede encontrar en cantidades apreciables en la circulación periférica. Éste es fosforilado a

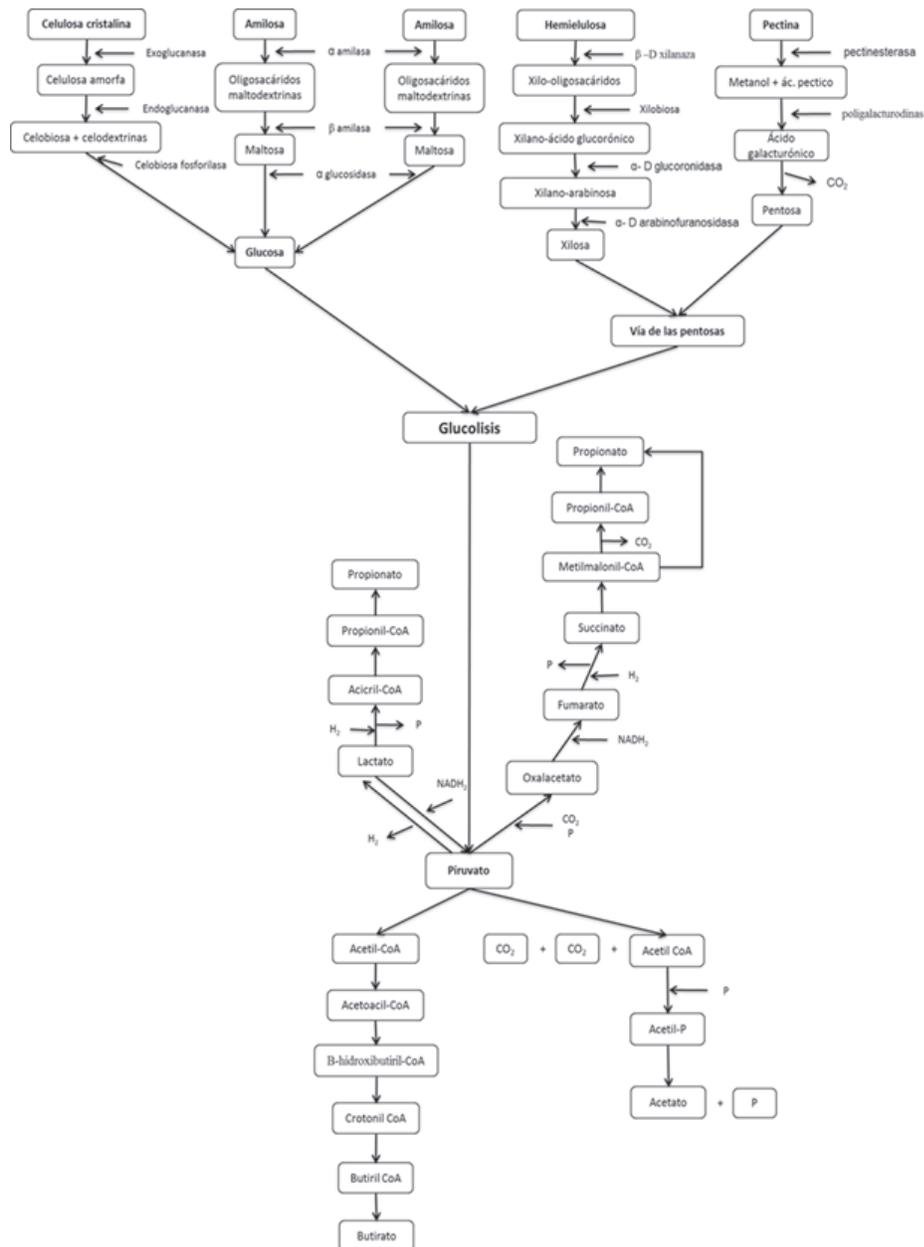


Figura 1. Rutas metabólicas de los microorganismos del rumen.

acetil CoA y entra al ciclo de Krebs o puede ser usado directamente para la síntesis de la grasa de la leche en especial para los ácidos grasos de cadena corta (Yokoyama y Johnson 1988).

Los AGV que se producen en la fermentación microbiana del rumen, aportan las fuentes energéticas que utiliza el rumiante, a pesar que puede obtenerlas por la vía digestiva convencional, utilizan esta estrategia alimenticia para acceder a alimentos de poco valor nutritivo, dándoles con ello una ventaja evolutiva sobre otras especies animales.

Conclusiones

Como lo estableció Albert Einstein, la masa es una de las formas en que se manifiesta la energía, o al contrario; cualquier energía no es otra cosa que masa en diferente presentación física. Para entender esta aparente paradoja, es necesario adentrarse en la física teórica y comprender los procesos que van desde la física cuántica hasta la física estelar.

Cuando se habla del flujo de la energía en el universo, es necesaria la cabal comprensión de la forma en que ésta se manifiesta. Para ello, es inevitable remontar hasta el origen mismo del universo, donde masa-energía eran uno solo. A partir de la singularidad del momento inicial en que todo estaba concentrado en un punto, hasta llegar a las cadenas metabólicas en

donde se aprovecha el diferencial de electrones que libera energía para los seres vivos, todo lo que conforma el universo conocido está formado por la misma esencia, que actualmente se denomina energía. Ya sea en forma de masa, o en cualquiera de sus otras manifestaciones: radiación, luz, calor, sonido, ondas, etc.; todo lo que formamos parte de este universo, estamos hechos de lo mismo, energía, la cual fluye de manera constante desde el origen mismo del universo. (Figura 2) 

Bibliografía

- ATLAS Collaboration. (2012). Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC, Phys. Lett. B Vol. 716. 1-29.
- ATLAS Collaboration. (2013). Measurements of Higgs boson production and couplings in diboson final states with the ATLAS detector at the LHC. Phys. Lett. B Vol. 729. 88-119.
- CMS Collaboration. (2012). Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC. Physics Letters B Vol. 716. 30-61.
- Filardo J. M. (2014). El boson de Higgs la partícula divina y la partícula Z. Contactos 91. 13-29.

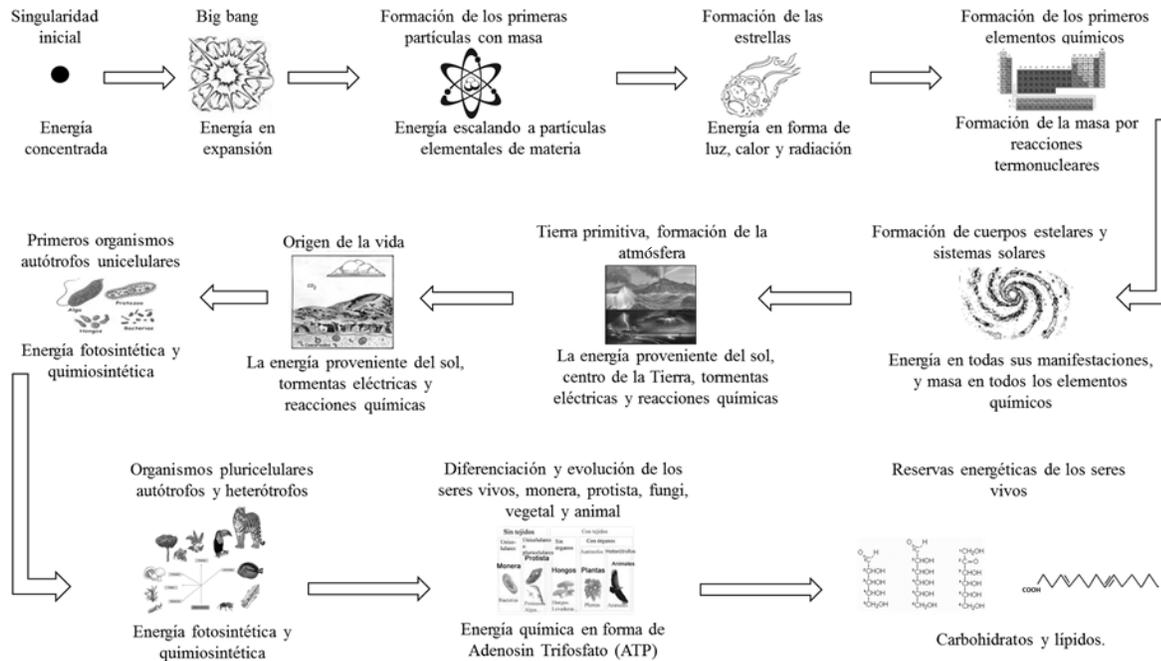


Figura 2. Flujo de energía desde el origen del universo hasta el metabolismo de los animales.

- Font F. R. (2005). Extensiones del modelo estándar del universo primitivo: nucleosíntesis primordial, axiones y materia oscura. Tesis de doctorado en Ciencias Físicas. Universidad autónoma de Barcelona. 1-215.
- Greene B. (2001). El universo elegante. Barcelona, España: ED. Critica sl. 308.
- Hansen C.J., S.D. Kawaler y V. trimble. (1994). *Stellar Interiors: Physical Principles and Structure and Evolution*. New York, United States of America: Ed. Springer. 209.
- Hill R. (1965). The biochemists' green mansions: The photosynthetic electron-transport chain in plants. En: *Essays in Biochemistry* (P.N. Campbell, G.D. Greville, Eds.) Academic Press. 1. 121-151.
- Losada M. (1986). Un concepto unificado de transducción de energía por los sistemas bioquímicos. *Arch. Biol. Med. Exp.* 19. 29-56.
- Losada M., M. Hervas, M.A. De la rosa y F.F. De la rosa, (1983). Energy transduction by bioelectrochemical systems. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 6. 205-225.
- Losada M., M.G. Guerrero. (1979). The photo-synthetic reduction of nitrate and its regulation. En: J. Barber (Ed.) *Photosynthesis in relation to model systems*. Elsevier/North Holland Biomedical Press, Amsterdam. 365-408.
- Gilbert D. M. (2001). Making Sense of Eukaryotic DNA Replication Origins. *Science* 294. 96-100.
- Madigan M.T., J.M. Martiniko y J. Parker. 2004. *Brock, biología de los microorganismos*. Madrid, España. Editorial Pearson-Prentice Hall, 10a ed. 986.
- Miranda-Astudillo HV. (2012). Estructura y función de la ATP sintasa de las arqueas aeróbicas. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 15. 104-115.
- Miranda M. y B. Soria. (2013). Para explicar el boson de Higgs con manzanas. *Intercom.* 36(2). 175-196.
- Montoya M. 1994. *Origen del universo y altas energías*. Lima, Perú. Ed. Ceprecyt. 68.
- Ohnishi K. (1999). Possible evolutionary origin of primitive protein-encoding mRNAs as a virusoid-like ribo-organism. *Nucleic Acids Symp Ser.* 22. 39-40.
- Oparin, A. (1989). *El origen de la vida*. España. Ed. Brontes.
- Owens F.N. y A.L. Goetsch. (1988). Fermentación ruminal. Pp. 159-189 En: C.D. Church (Ed.), *El Rumiante: Fisiología Digestiva y Nutrición*. Zaragoza, España. Editorial Acribia, S.A.
- Pérez H. y Rodríguez E. (2005). Einstein y las teorías de unificación de campos. *Revista cubana de física.* 22(2). 119-124.
- Ramos S. (2013). Universo de las supercuerdas. En: Miramontes O. y Volke K. (Ed.). *Fronteras de la física en el siglo XXI*, CopIt-arXives México, DF., 19. pp. Disponible en <http://scifunam.fisica.unam.mx/mir/copit/TS0011ES/ramos.pdf>
- Rosas S., M. E. Vázquez, C. M. Peimbert y G. Pérez. (2010) De la energética a la bioquímica del ATP. *Contactos* 77. 39-45.
- Sáenz J.E. (2012). *La fotosíntesis, concepciones, ideas alternativas y analogías*. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Bogotá, Colombia. 2012
- Schäfer G., M. Engelhard, and V. Müller. (1999). Bioenergetics of the Archaea. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 63. 570-620.
- Steinberger J. (1993). *Estructuras del Universo*. Ed Univ de Santiago, Santiago de Compostela.
- Tyler D., J. M O'Meara, N. Suzuki y D. Lubin. (2000). Review of Big Bang Nucleosynthesis and Primordial Abundances. *Physica Scripta.* 2000 (85). 12.
- Urrutia C.A. (2005). Reseña de big bang. La historia del universo de H. Couper y N. Hensbest. *Contribuciones desde Coatepec.* 5 (9). 167-172.
- Vanniel C.B. (1941). The bacterial photosyntheses and their importance for the general problem of photosynthesis. *Adv. Enzymol.* 1. 263-328.
- Vera R. (1974). Teoría sobre evolución isentrópica del universo. *Revista Atenea.* 429. 195-212.
- Vilarroig P. (2006). El origen de la materia y la energía en el universo. *MACLA* (5/5):18. Disponible en línea en: http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla4_5/Macla4_5p15.pdf
- Yokoyama, M.T. & K.A. Johnson. (1988). Microbiología del rumen e intestino. Pp. 137-157 En: C.D. Church (Ed.), *El Rumiante: Fisiología Digestiva y Nutrición*. Zaragoza, España. Editorial Acribia, S.A.