

## La Energía, Elemento Central del Desarrollo Sustentable (Energy, Central Component of Sustainable Development)

Badii, M.H.; A. Guillen; D. Castillo-Martínez; M. García-Martínez y J.L. Abreu  
UANL, San Nicolás, N.L., México

**Resumen.** Se describe el papel fundamental de la energía como combustible de todas las actividades de la vida en todas sus manifestaciones y a lo largo de todas las escalas. Se menciona la necesidad del requerimiento energético y las fuentes generadoras de la misma a lo largo de tiempo evolutivo. Se enfatiza el papel de la “Revolución Industrial” como detonador del crecimiento socio-económico humano basado en la generación y el uso innovador de las fuentes energéticas. Se enfatiza la presencia nula del concepto de la energía en todas las escuelas económicas y en sus modelos asociados. Finalmente, se contrastan los sistemas cerrados y abiertos de la generación de la energía notando la siempre presencia de la entropía como marcador permanente de la desperdicia e ineficiencia energética en los sistemas cerrados.

**Palabras Clave:** Energía, crecimiento poblacional, la entropía, Revolución Industrial

**Abstract.** The fundamental role of energy as the fuel of life in all of its manifestations and scales are described. The necessity for energy requirements and its sources of generation over the evolutionary time are mentioned. The role of “Industrial revolution” as the source of socio-economic growth based on the generation and innovative utilization of the energy sources are emphasized. Finally, closed and open systems of energy generation are contrasted, noting the ever presence of the shadow of entropy as the factor of waste and inefficiency of the energy in closed systems.

**Keywords:** Energy, entropy, Industrial revolution, population growth

### Energía metabólica: Fuente de todas las actividades

Ningún aspecto de la vida se puede funcionar sin energía (Gilloly, 2001, 2002; Atanasov, 2006; Badii et al., 2016). Cada contracción de músculo o cualquier actividad requieren energía metabólica, cada pensamiento aleatorio en nuestro cerebro, cada parpadeo hasta cuando uno está dormido, hasta la replicación de nuestra ADN en las células, etc., no funcionan sin energía. A nivel más fundamental bioquímico, la energía dentro de cada célula se genera en unidades moleculares semiautónoma llamada “*complejos respiratorios*”. La molécula que juega un papel central en el metabolismo se llama “Adenosina Tri-Fosfato o ATP”. La energía se libera cuando ATP se convierte, por un proceso bioquímico a ADP (Adenosina Di-Fosfato). La energía producida de esta forma es la fuente de la energía metabólica de cuerpo y es lo que mantiene vivo a uno (Atanasov, 2006).

De forma similar, 500 mitocondrias en cada célula de cuerpo interactúan (similar a “complejos respiratorios”) de forma integrada y coherente para asegurar que 100 trillones ( $10^{14}$ ) de células que constituyen el cuerpo estén suministrados con suficiente energía para funcionar de

forma adecuada e eficiente. Además, estos 100 trillones células deben estar organizados en una multitud de sistemas y sub-sistemas como diferentes órganos del cuerpo cuya requerimiento energética varía significativamente, dependiendo en su demanda y función, para asegurar que uno puede realizar todas las actividades que constituyen la vida, desde pensar, bailar, hacer sexo y reparar la ADN. Además ésta estructura interconectada, dinámica y multinivel debe ser suficiente robusta y resiliente para que continúe funcionando por hasta 100 años de una vida humana.

Es natural generalizar esta jerarquía de la vida más allá de un organismo y extiéndale a la estructura comunitaria, como otros animales aparte de nosotros, tales como insectos, plantas, etc.

La versión más extrema y maravillosa de esta situación es nosotros. En un periodo relativamente corto hemos evolucionado de vivir en grupos pequeños y primitivos de unos pocos individuos a dominar el Planeta con nuestras ciudades gigantescas y estructuras sociales con millones de personas. De la misma manera que los organismos están regidos por la integración de las leyes operando a nivel celular, mitocondrial y complejos respiratorios, también las ciudades han emergido y a la vez están regidos por reglas de interacción social. Estas leyes no son accidentes, sino resultado de procesos evolutivos actuando sobre estructuras a múltiples niveles (Atanasove, 2006).

Éste enorme multidimensional y multifacético proceso que constituye la vida esta manifestada y replicada en miles de formas a lo largo de una escala enorme con un rango de más de 20 órdenes de magnitud en masa desde las bacterias hasta las ballenas. El hecho que esta situación ha persistido y se ha mantenido tan robusto, resiliente y sustentable por más de un billón de años sugiere la existencia de *leyes efectivas que gobiernan sus jerarquías y deben haber emergidos en todas las escalas*. Ésta escalamiento de los sistemas vivos (que relaciona todas las estructuras) define sus extraordinaria resiliencia y sustentabilidad tanto a nivel individual como la propia vida (Badii et al., 2015a; Badii et al., 2018).

### **Requerimiento energético**

Globalmente, utilizamos cada año, cerca de 150 trillones kilowatt-hora. Para entender el significado del consumo anual de energía y ponerlo en perspectiva veamos lo siguiente. Cada persona diaria necesita cerca de 2000 calorías para mantenerse vivo lo cual es equivalente a 100 watts, el poder de un foco normal. Cada persona es extraordinariamente eficiente en el uso de

energía en comparación con cualquier aparato, material o instrumento hecho por el hombre. Por ejemplo, la máquina de lavar ropa requiere más de 10 veces mayor energía por segundo que una persona., mientras que el automóvil, comparativamente es 1000 veces menos eficiente versus el hombre. Cuando sumamos toda la energía que un ser humano promedio sobre la Tierra utiliza para echar andar toda la maquinaria, artefactos, y la infraestructural integral a la vida moderna, llegaríamos a la cantidad de 30 veces la tasa natural de nuestro consumo promedio (Gilloly, 2001).

A decirlo de otra manera, La tasa al cual requerimos para procesar energía para sostener nuestra estándar de vida se mantuvo cerca de unos pocos cientos watts durante cientos de miles de años hasta hace aproximadamente, 10,000 – 12,000 años cuando formamos comunidades colectiva (inicio de era agrícola). Éste marcó el comienzo de “Antropoceno”, donde nuestra tasa metabólica efectiva empezó a incrementar de forma sostenida y estable hasta la fecha actual de 3,000 watts. Pero hay que ser consiente que este valor es una valor promedio a lo largo de toda planeta. La tasa del uso de la energía en los países industriales avanzadas es mucho mayor. En USA, esta tasa es alrededor de 11,000 watts (cuatro veces más que la tasa promedio mundial), lo cual es más de 110 veces mayor que el nivel biológico. Este gran valor es muy cercano a la tasa metabólica del ser más grande (la ballena azul), el cual es más de 1000 veces mayor en masa en comparación con cada ser humano. Pensando de nosotros y ponerlo en perspectiva un animal del tamaño del ser humano, utilizando 30 veces más energía que “*debería*” utilizar, dado nuestro tamaño físico, la “*población efectiva*” humana en el planeta “*operaría*” correspondientemente, si fuera mucho más grande que 7.3 billones (tamaño actual de la población humana). En un sentido “*real*” nosotros estamos operando si nuestra población “*fuera*”, 30 veces mayor de lo actualmente es, equivalente a un tamaño global de más de 200 billones. Si las proyecciones demográficas de los demógrafos son correctas y la población global alcanza 10 billones para el final del siglo XXI, todos viviendo a un nivel de estándar de vida similar a USA, entonces, la “*población efectiva*” mundial serían superior a un trillón, es decir, mil billones (Gilloly, 2002).

Este ejemplo demuestra no solamente una escala de la cantidad de la energía que utilizamos, sino también ilustra que tan lejos hemos desviado del nivel de “*equilibrio ecológico*” en comparación con el resto del mundo natural. De igual importancia es el punto de que éste incremento enorme de la consumo de la energía ha ocurrido durante un periodo infinitesimal cuando se pone en la escala estándar de la evolución, por tanto, cualquier ajuste o adaptación a su impacto sería casi imposible de realizar. Hay estimaciones que por ejemplo, demuestran que

cuando estábamos todavía como un componente integral del mundo natural operando y consumiendo la energía a una tasa de unos cientos de watts, y todavía no habíamos descubierto la agricultura, nuestra población global era cerca de 10 millones de personas. Ahora hemos llegado a una población 20,000 veces mayor sobre un tiempo corto, y hemos ocasionado un disturbio enorme de la dinámica evolutiva del balance natural y por ende con consecuencias ecológicas potencialmente catastróficas.

Éste por sí es un choque mental, pero su significado tiene más impacto cuando uno se toma en cuenta de las inevitables ineficiencias en nuestro consumo de energía y la consecuente producción de la entropía, resultando en la contaminación, calor de bajo nivel (inútil) y la degradación y daño ambiental. Del consumo global de energía que se incrementó por un factor de 2 desde 1980, un tercio se va a desperdicio. Por ejemplo, solo 20% de la energía en la gasolina se utiliza de forma efectiva para mover el automóvil. Un papel principal en la innovación ha sido disminuir esta ineficiencia. No hay duda que ha ocurrido progreso significativo en éste rubro. Es cuestión de la “*fe*” que el sistema de libre mercado está asociado al crecimiento infinito, a pesar de la intervención, estimulación, y regulación temporal por el gobierno, sin embargo, pueda encontrar un “meta-balance” entre hacer ganancias significantes y solucionar problemas de sustentabilidad. La función primaria de los negocios, después de todos, *no es incrementar las eficiencias, sino aumentar las ganancias* (Meadows y Forrester, 1972).

La vida sobre el Planeta ha evolucionado y ha sido sostenido por medio de transformar la energía directa del sol en la energía metabólica que energiza a los organismos. Este proceso maravilloso ha sido funcionando exitosamente por más de 3 billones de años y como tal se puede referirse como “sustentable” a pesar de cambios continuos y dramáticos representando innovaciones en formas nuevas como resultado de la selección natural. La razón fundamental de cómo la vida ha sido sostenida es que la fuente de la energía (el sol) es “externo”, “confiable” y relativamente “constante”.

Este estado siempre evolucionando y casi estable, lentamente comenzó a cambiar por nuestro descubrimiento del “fuego”, el cual es un proceso químico que libera la energía almacenada en el sol en madera muerta. Cuando el fuego de la leña se juntó con el descubrimiento de la agricultura, éste ocasionó la transición a la era de “Antropoceno” y es cuando cambiamos de un organismo puramente biológico a nuestra presente criatura socioeconómicamente urbanizado el cual ya no está en el equilibrio con el mundo natural. El cambio dramático y la salida

revolucionaria de casi 3 billones de años de una situación sustentable ocurrió en solamente los últimos 200 años cuando nuestro descubrimiento y la explotación de la energía solar almacenado en petróleo, gas y carbón dio marcha al comienzo de “Urbanoceno”. Los combustibles de origen fósil fueron y todavía son percibidos como el propio sol y como una fuente ilimitada de la energía cuya liberación subsecuente dio comienzo a la era de “Revolución Industrial” (Ehrilch, 1968).

### **Rasgos de la “Revolución Industrial”**

Desde el punto de vista científica, el verdadero rasgo revolucionario de la “Revolución Industrial” fue el cambio dramático de un “sistema abierta” donde la energía esta suministrada externamente por el sol a un “sistema cerrada” donde la energía esta suministrada por los combustibles de origen fósil. Este es un cambio sistemático fundamental con implicaciones enormes termodinámicas, ya que en un sistema cerrado se rige de manera estricta *la segunda ley de termodinámica* y su requerimiento que la entropía siempre se incrementa. Nosotros avanzamos de una fuente externa, confiable y constante de energía a una que es interna, no confiable y variable. Además, debido a que nuestra fuente de la energía es ahora un componente integral del propio sistema que lo soporta, su suministro esta dictado por fuerzas internas siempre cambiando (Badii et al., 2015b; 2015c).

Empoderado por combustibles de origen fósil, nuestros logros socio-económicos en solo 200 años rebasaron cualquiera que la selección natural empoderado por el sol ha logrado biológicamente, sobre un periodo de tiempo tan corto. Sin embargo, hay que pagar un gran precio por permitir ésto y debemos aprender a vivir con esta situación o cambiarla a la situación anterior.

Un ejemplo de la consecuencia de *la segunda ley termodinámica* es el calentamiento global de la atmósfera debido a la liberación de la energía almacenada en los combustibles de origen fósil en la superficie del Planeta. Ésta se incrementa enormemente por la producción de gases como CO<sub>2</sub> y metano como productos secundarios de la entropía al quemar estos combustibles, propiciando el bien conocido efecto de invernadero. Lo único que vamos a enfatizar sobre éstos gases es que su incremento es exponencial, por tanto, los proceso que gobiernan el clima y la historia de vida de los organismos son “*exponencialmente sensibles a cambios pequeños en la temperatura*” al cual operan. Por ejemplo, un incremento de 2°C en la temperatura promedio termina con 20% del incremento en éstas tasas. Por tanto, cambios muy pequeños en la temperatura

durante tiempos cortos que no son suficientemente largos para que los procesos adaptativos desarrollen, ocasionarían enormes efectos ecológicos y climatológicos. Algunos de estos cambios pueden ser positivos pero la mayoría son catastróficos. Sin embargo, independiente del signo del cambio, están ocurriendo cambios significativos, y nosotros necesitamos comprender sus orígenes y consecuencias e implementar estrategias adecuadas para la adaptación y mitigación de ellos.

La pregunta crucial no es si estos efectos son del origen antropocéntricos (ya que definitivamente son), sino, hasta qué punto se puede minimizarlos sin que lleguen a ocasionar cambios rápidos en nuestro ambiente económico y últimamente, el colapso de la fábrica socio-económica mundial. Es cierto que debemos estar felices con los éxitos y frutos del sistema del libre mercado y el papel del ingenio e innovación del hombre, pero también debemos reconocer el papel crítico de la energía y la entropía y por ende, actuar de una forma estratégica para encontrar soluciones globales a sus consecuencias letales (Badii et al., 2017a; b; c; d;)

### **La energía, modelos económicos y sustentabilidad**

A pesar del papel central de la energía en conducir a nosotros a este momento en la historia del Planeta, en particular, en el desarrollo socio-económico moderno de la sociedad humana, es verdaderamente triste notar la ausencia de hasta una frase sobre la relevancia de la energía en los libros clásicos de economía. Notablemente, conceptos como la energía, la entropía, el metabolismo, y la capacidad de soporte ambiental no han encontrado su lugar en la literatura económica. El crecimiento económico, el mercado, y la población durante los últimos 200 años, junto con un incremento paralelo en los estándares de vida, han sido tomados como indicaciones del éxito del pensamiento de la economía clásica y como un rechazo al concepto Neo-Malthusiano. No ha existido la necesidad de pensar seriamente en término de la energía como el motor del éxito económico o el crecimiento poblacional, sin hablar de la entropía como su inevitable consecuencia. Tampoco ha existido la necesidad de considerar la posibilidad de la limitación de los recursos, ni la noción sobre las limitaciones físicas fundamentales que cuestionen el crecimiento abierto, todo esto “hasta ahora”.

Se han evitado estas preguntas debido al papel mágico de la innovación e ingenio del hombre y que aparentemente, va a funcionar en mantener toda situación viable, particularmente, cuando está estimulado por el sistema económico de libre mercado. Tal como se manejan el

concepto de la “energía oscura” para explicar la razón del expansión exponencial física del universo, también se invocan el suministro de las ideas innovativas para explicar por qué el universo socio-económico va a expandir continuamente rebasando todos los obstáculos en su camino de expansión (Oviedo et al., 2015, Riojas et al., 2018).

Además parece existir un supuesto que las ideas o semillas de innovación, no tienen costo, después de todo son solamente ideas en el cerebro del hombre, y colectivamente, podemos producir casi infinito número de ideas en nuestro cerebro. Pero como cualquier cosa, las ideas y las innovaciones que ellas inspiran requieren de energía y bastante de ella para soportar a los individuos inteligentes, aquellos que piensan, y proporcionar ambientes estimulantes y experiencias colectivas que institucionalizamos en lugares como las universidades, laboratorios, parlamentos, cafés, salones de foros y de conferencias.

La esencia de lo arriba dicho esta encarnada en el concepto de la ciudad y la vida moderna. Las ciudades han evolucionado como el motor que hemos inventado para incrementar y facilitar interacciones sociales, y por ende estimular creación de ideas e innovación, y este es el lugar donde las ideas se incuban y florecen, y el capital se genera. Soportar todo esto es extremadamente costos, por tanto “no se puede desasociarse de la energía”. De trillones de ideas, pensamientos, especulaciones y propuestas para nuevos productos, nuevas máquinas, y nuevas teorías, solamente una cantidad infinitesimal llega a lograr con éxito significativo. Todo esto requiere energía: “*ex nihilo nihil fit*” – nada viene de nada.

La ciencia de la sustentabilidad requiere el entender las dinámicas globales como un sistema complejo adaptativo evolucionando y compuesto de muchos sub-sistemas interactivas los cuales a su vez son también sistemas adaptativas complejas, todos evolucionando juntamente bajo limitaciones de energía, recursos e información. Debemos saber cómo las dinámicas de la innovación, los avances tecnológicas, la urbanización, los mercados financieros, las redes sociales, y la dinámica poblacional son interconectados y cómo sus interrelaciones evolutivas generan crecimiento y cambio social. A parte, como product de la manifestación del esfuerzo humano, cómo todos están integrados en un marco holístico interactivo y finalmente, si éste sistema interactivo dinámicamente evolutivo es sustentable (Torecillas et al., 2019).

Puede que los argumentos de Malthus, Paul Aldrich (“*The Population Bomb*”, Ehrlich, 1968) y de Club Roma (“*Limits to Growth*”, Meadows y Forrester, 1972) estén equivocados, sin embargo, sus conclusiones e implicaciones tienen validez. De todos modos sus ideas nos sirvieron

para lanzar algunos de los asuntos existenciales más relevantes que el hombre tiene que enfrentar a medida que movemos casi ciegamente en el siglo XXI. A pesar de que “*The Population Bomb*” ha sido puesto a un lado por el momento, las preguntas sobre el suministro de la energía sustentable y sus potenciales consecuencias letales han llegado a la consciencia humana y están continuamente y seriamente debatidos.

### **Sistemas cerradas y abierta: Fuentes de la energía**

El ausencia del progreso hasta hace relativamente poco es asombroso, dada que la tecnología básica para desarrollar la energía solar se conocía por más de 100 años. En 1897, el Ingeniero Frank Shuman, construyó el primero instrumento para utilizar la energía solar. Su sistema fue patentado en 1912, y en 1913 él construyó el primer planta de energía solar en Egipto lo cual generaba 50 kilowatts y era capaz de bombear 5,000 galones de agua por minuto desde el Rio Nilo a las parcelas adyacentes del algodón. Sin embargo, el descubrimiento del petróleo barato en los 1930s desanimó el desarrollo de la energía solar y por ende, las ideas y la visión de Shuman fueron olvidados hasta la crisis petrolera de 1970s. Tecnologías como las celdas fotovoltaicas han sido desarrolladas y gradualmente sus precios serán competitivos en relación a los de combustible de origen fósil (Atanasove, 2006).

Otra diferencia fundamental entre la energía solar y de combustibles de origen fósil es en el mecanismo físico de cómo la energía se genera. En caso de los combustibles de origen fósil, el proceso de liberación de la energía está en lazos químicos que mantienen los átomos y las moléculas de carbón, petróleo o gas juntos. Todas las moléculas (que sean bloques constructivos del cuerpo, el cerebro, la casa, o la computadora) están mantenidos juntos por las fuerzas electromagnéticas y por tanto, están caracterizados por energías cuyas magnitudes tienen rangos de electro volts (eV) la cual es la unidad convencional utilizada para medirlas. Un electro volt es una cantidad infinitesimal en la escala de energías que acostumbramos: 1 eV es equivalente a 300 trillón trillonésima de 1 kilowatt-hora o KWh ( $1\text{eV} = 3 \times 10^{-26} \text{KWh}$ ). Por tanto, en término de estas unidades atómicas, la cantidad de energía que consumimos cada año es cerca de  $5 \times 10^{39}\text{eV}$ . Esto traduce que cada año, aproximadamente rompimos tantas moléculas para suministrar la cantidad de energía que necesitamos.

Por otro lado, el sol que consiste principalmente, de hidrógeno y helio, está suministrada por energía nuclear almacenada en los lazos que mantiene junto el núcleo. Se libera como radiación cuando los núcleos de hidrógeno se juntan entre sí para formar el núcleo de helio. A éste proceso se llaman la fusión nuclear y es el mecanismo físico fundamental por medio del cual el sol brilla y provee energía a nosotros en forma de luz y calor que da raíz a todas formas de vida en el Planeta. Esto se queda como la única forma de la fuente de energía para toda vida en la Tierra, excepto para nosotros sobre los últimos pocos miles de años desde que encontramos su poder almacenada en combustibles fósiles (Atanasove, 2006).

La escala de energía nuclear es casi un millón de veces mayor que la de energía química electromagnética liberada en la quema de combustibles de origen fósil: procesos nucleares involucran energías en el rango de millones de electrón-volt (MeV). Este factor de incremento enorme hace atractivo la explotación de energía nuclear: la misma cantidad de materia produce aproximadamente, 1 millón de veces más energía del núcleo de sus átomos que de sus moléculas. Por tanto, en lugar de usar 2000 litros de gasolina al año para echar andar el carro, se necesitaría usar solamente, equivalente a unos pocos gramos de materia nuclear, casi el tamaño de una píldora pequeña.

La idea de la cantidad ilimitada de energía desde las estaciones nucleares produciendo energía en base a la misma física que el sol es fantástica. Cuando fue descubierto después de la Segunda Guerra Mundial, generó un optimismo tremendo en que la energía nuclear desplazaría a la de combustibles de origen fósil como la fuente primaria de la energía. Desafortunadamente, usar fusión nuclear para generar energía de forma económica ha sido difícil tecnológicamente, a pesar de muchos intentos. En su lugar la producción de la energía nuclear ha sido más exitoso por medio de fisión nuclear en donde la energía se libera cuando núcleos muy pesados (de uranio) desasocian en productos más ligeros, un proceso análogo a producción convencional química de combustibles de origen fósil. Actualmente, cerca de 10% de la electricidad mundial se genera usando fisión, con Francia liderando en éste aspecto con más de 80% de su electricidad producida de reactores nucleares.

Tal como en las plantas convencionales de la energía en base a los combustibles de origen fósil, la energía producida por los reactores nucleares es interno al sistema global (sistema cerrado) y consecuentemente, sufre de los asuntos similares en término de la producción de la entropía y sus productos detrimentales. A pesar de que la energía nuclear, como solar, no es una fuente

relevante de generación de gases de invernadero y por ende no es un factor que genera cambios climáticos, sin embargo, sus productos secundarios pueden ser extremadamente detrimentales debido a su tan grande escala energética (por un factor de un millón). Consecuentemente, la radiación resultante de procesos nucleares puede ser *extremadamente dañino a las moléculas* y a los tejidos orgánicos, provocando problemas serios de salud como por ejemplo el cáncer. Nuestra atmosfera nos protege de radiación solar, pero dentro de los reactores nucleares en la Tierra, éste es un desafío enorme. Además hay un asunto de almacenamiento y dispersión confiable de los productos y residuos de los reactores nucleares los que quedan radioactivo por miles de años (Zurrita et al., 2015).

Comparando el aspecto de la seguridad entre los reactores nucleares y los combustibles de origen fósil, la energía producida por los combustibles de origen fósil se perciben (versus los riesgos potenciales de las plantas nucleares) más seguros a pesar de miles sino millones de muertos y un enorme número de problemas de salud. Las preguntas de seguridad a largo plazo y la estimación cuantitativa de las consecuencias entrópicas de la generación y la utilización de la energía son muy complejos en términos social, político, psicológico y científico. ¿Cuántos muertos ocurren directamente por la producción de la energía, cuántos indirecto, qué aspectos de la salud están consideradas peligrosas, y cuáles son sus consecuencias a largo plazo? ¿Cómo comparar diferentes tecnologías? ¿Qué métricas se debe usar? y ¿Qué significa todo esto en término de la sustentabilidad?

Para tener una idea de tipos de comparaciones que debemos hacer, considere lo siguiente. Nosotros somos tremendamente tolerante de la muerte y la destrucción causadas por las “*causas no naturales y hecho por el hombre*” cuando ocurren de forma regular y continuo, pero extremadamente intolerante cuando ocurren de manera discreta y rápida a pesar de que los números en el segundo caso son mucho menor que el primer caso. Por ejemplo, cada año más de 1.25 millones de personas mueren por accidentes automovilísticos a nivel global, lo cual es igual al número de personas que fallecen por el cáncer de pulmón, la causa más común de la muerte por el cáncer. Sin embargo, el temor y la ansiedad acerca de morir por el cáncer es mucho mayor en comparación con el temor de morir por los accidentes de automóvil, y esto está reflejado en la diferencia enorme en recursos dedicados a cada uno de estos dos casos. Es interesante comparar ambos casos de arriba con el número de las personas muertas directamente por accidentes nucleares. De hecho si cuantificamos este número a lo largo de toda vida de la era nuclear,

llegamos con menor de 100 personas y la mayoría de ellos murieron en Chernóbil en la Unión Soviética en 1986, mientras nadie murió en Fukushima, Japón en 2011. Por otro lado varios miles de personas han caído con cáncer y murieron y van a morir debido a las radiaciones recibidos durante estos accidentes, particularmente de Chernóbil. Pero debemos balancear esto por una estimación de 50 millones de personas lesionadas, discapacitadas cada año por los accidentes automovilísticos.

Agregando a éstas comparaciones arriba mencionados, hay que considerar los imponderables aspectos psicológicos, como casi el amor universal por los automóviles y la casi temor universal con los desastres nucleares, lo cual no se puede desasociar del temor de las bombas nucleares. Nuestra idea no es presentar una revisión completa de las ventajas y desventajas de las opciones energéticas, sino mencionar unos pocos ejemplos sencillos de tipo cuantitativo e estadístico que requerimos para poder formar criterios críticos y serios en el momento de debatir estos asuntos. Necesitamos pensar cuantitativamente para poder desarrollar una ciencia requerida para entender estos desafíos y también para informar decisiones políticos racionales.

Independientemente, si uno cree en la capacidad innovadora del hombre para solucionar problemas de la energía nuclear, escoger entre fusión y fisión, o los desafíos de la tecnología viable de la energía solar requerida por casi 8 billones de personas, o revertir la cantidad de carbono que emitimos a la atmósfera, aun quedamos con el problema de la producción de la entropía a largo plazo. Aparte de todos sus problemas, la opción de generar la energía vía nuclear o vía los combustibles tradicionales de origen fósil, nos mantiene atrapados en el paradigma del “sistema cerrado”, donde la opción “solar” tiene la capacidad crítica para potencialmente regresarnos a un “paradigma verdadera sustentable” en un “sistema abierta”.

## Referencias

- Atanasove, A.T. 2006. The linear allometric relationship between total metabolic energy per life span and body mass of mammals. *Bulagarian Journal of Vetrinary Medicine*. 9(3): 159-174.
- Badii, M.H., A. Guillen, C.E. Rodríguez, O. Lugo, J. Aguilar & M. Acuña. 2015a. Pérdida de Biodiversidad: Causas y Efectos. *Daena* 10(2): 156-174.
- Badii, M.H., A. Guillen O. Lugo & H.J. Sánchez. 2015b. Aspectos del Calentamiento Global. *Daena* 10(2): 175-195.
- Badii, M.H., A. Guillen, O. Lugo Serrato & M. Acuña Zepeda. 2015c. Reciente dinámica global de petróleo. *Daena* 10(3): 10-17.
- Badii, M.H., A. Guillen, & J.L. Abreu. 2016. Energías renovables y conservación de energía. *Daena* 11(1): 141-155.
- Badii, M.H., A. Guillen, L.G. Fernández & J.L. Abreu. 2017a. La urbanización en relación con el desarrollo sustentable. *Daena*. 12(1)69-94.
- Badii, M.H., A. Guillen & J.L. Abreu. 2017b. LA industria y el desarrollo sostenible *Daena*. 12(1)105-126.

- Badii, M.H., A. Guille, F.R. Lozano & J. L. Abreu. 2017c. Componente social del desarrollo sustentable. Daena. 12(1)135-152.
- Badii, M.H., A. Guillén, J.L. Abreu. 2017d. Sustentabilidad y petróleo Daena. 12(3): 42-64.
- Badii, M.H., A. Guillen, O.L. Serrato y J.L. Abreu. 2017d. Tecnología y el capital social en relación a sustentabilidad Daena. 12(3)65-77.
- Badii, M.H., A. Guillén, J.L. Abreu, Y. Toribio & E. Fernández. 2018. Indicadores de desarrollo sustentable y su aplicación Daena. 13(1)178-236.
- Ehrlich, P. 1968. The Population Bomb. Ballantine Books, N. Y.
- Gilloly, J.F. 2001. Effects of size and temperature on metabolic rate. Science 293: 2248-2251.
- Gilloly, J.F. 2002. Effects of size and temperature on developmental time. Nature 417: 70-73.
- Meadows, D. y J. Forrester. 1972. The Limit to Growth. Universe Books, N. Y.
- Oviedo-Salazar, J.L., M.H. Badii, A. Guillen & O. Lugo Serrato. 2015. Historia y uso de energías renovables. Daena 10(1): 1-18.
- Riojas, I., M.H. Badii, A. Guillen, M. García y J.L. Abreu. 2018. La ganadería y el desarrollo sustentable Daena. 13(2)77-102.
- Torecillas, B.; M.H. Badii; O.P. Lugo Cerrato; A. Guillen & J.L. Abreu. 2019. Iniciativa de Biosfera Sustentable: IBS. Daena. 14(2): 326-335.
- Zurrita, A.A., M.H. Badii, A. Guillen, O. Lugo Serrato & J.J. Aguilar Garnicas. 2015. Factores causantes de degradación ambiental. Daena 10(3): 1-9.