

Barriles de Papel No. 108
¿Cuáles energías producir y utilizar?
Diego J. González Cruz

Introducción:

La energía es lo que mueve al mundo y a la economía. Hay una perfecta correlación entre el consumo de energía y la prosperidad de un país. Una ilustración sencilla de cómo la energía es lo que produce prosperidad se encuentra en la presentación de ExxonMobil sobre sus perspectivas energéticas al año 2040 o en los Escenarios Shell a 2060 (ver referencias), entre otros pronosticadores.

Recordando siempre que la energía por sí sola no produce riqueza, es el uso de la energía lo que la produce (*Robert Bryce*, 2010). Bryce también señala que la decisión de producir o usar una u otra energía, va a depender de cuatro variables: 1) *Densidad energética*, que es la cantidad de energía que puede estar contenida en una unidad de volumen, área o masa; 2) *Densidad de potencia*, que es la potencia (por ejemplo caballos de vapor) que puede ser aprovechada en una unidad de volumen, área o masa; 3) *Costo* de producción y uso; y 4) *Escala*, o cantidad de la que se puede disponer a “precios razonables”. El análisis y la interpretación de estas cuatro variables es lo que va a ayudar a definir el desarrollo futuro de las energías alternativas a las fósiles, porque hasta ahora son las segundas las que cubren con creces estas cuatro condiciones de Bryce.

Hay otros dos conceptos sobre la energía relacionados con lo anterior que aparecen en la literatura: 1) La EMERGY, que se refiere a la calidad de la energía que se produce, y 2) La EXERGY, que se refiere a la alícuota de la energía que realmente realiza el trabajo.

Estos estudios indican que la prosperidad de los hoy países industrializados se ha basado mayormente en el uso de una energía barata. Ante la realidad de una energía cada vez más cara, hay dos variables a seguir para estimar el desarrollo futuro de los países: 1) El ritmo de suministro de la energía y 2) El rendimiento neto del recurso energético a utilizarse, esto último es lo que se conoce como EROI (“*Energy Return on Investment*”), el cual se define en forma general como el cociente o la relación entre la cantidad de energía que se obtiene a partir de un proceso de producción de esa energía en comparación con la cantidad de energía (o su equivalente en algún otro origen) que es necesaria utilizar para extraer la energía en cuestión, que se explicará en detalle más adelante.

Energías disponibles:

Las energías disponibles se dividen en dos grandes grupos: 1) En primer lugar las *Energías Primarias*, que son las que existen sin la participación del hombre. Son aquellas suministradas por la naturaleza de forma directa; y 2) *Las Energías Secundarias*, que son las primarias transformadas por la intervención del hombre con la tecnología, principalmente para la generación de electricidad y la producción de combustibles, mediante procesos de manufactura.

Las energías primarias a su vez se dividen en: 1) Las Energías no Renovables, en especial las fósiles como el carbón, el petróleo, el gas natural y la energía nuclear (por ser su fuente de origen mineral); y 2) Las Energías Renovables, como la hidroeléctrica, la solar, la eólica, la biomásica, la geotérmica, la mareomotriz (por el movimiento de las olas), la del gradiente maremotérmica (corrientes de los océanos); y más recientemente la “energía azul” (ocurre por osmosis entre el agua salada y la dulce).

En la Figura 1 se muestran esquemáticamente los usos típicos de la energía.

Del uso o no de estas energías para que un país pueda hablar de seguridad energética y de desarrollo sustentable, va a depender de su capacidad para producirla o comprarla, y/o cuanto pueda invertir para generar cada una económicamente.

En Venezuela se dispone ampliamente de las fósiles petróleo y gas natural, que se podrían considerar para su pleno desarrollo y garantizar la seguridad energética en el país. También se dispone de las renovables, en especial la hidráulica, que aunque su crecimiento es limitado, también va a contribuir a garantizar la seguridad energética. Todo va a depender de las economías energéticas para la producción y el uso de las mismas, de allí que la metodología EROI será importante para hacer las respectivas evaluaciones, y decidir sobre las posibles políticas en materias de energía.

Antes de entrar en el tema del EROI hay que tratar el concepto de la “*Economía Biofísica*”, que a diferencia de la “*Economía Convencional*” que enfatiza el dinero, ésta enfatiza la energía propiamente dicha, la demografía, el ambiente y otros recursos, sin ponerle solo precios a las mismas como tal.

La *Economía Biofísica* enfatiza en dos aspectos: 1) El análisis de la huella ecológica, o la cantidad de tierra requerida y su deterioro para soportar las actividades económicas y 2) El análisis de la energía requerida para las diferentes actividades económicas. Es decir, que debe manejarse un enfoque más amplio que considere lo económico, la energía como tal y el ambiente, integrando las ciencias biofísicas y las sociales. Con esto se quiere decir que todo no es solamente precio o mercado, porque se puede tener el dinero para adquirir una energía, pero la realidad dice que no se puede obtener. Este concepto es muy bien tratado en el libro de Hall y Klitgaard (2012): *Energy & the wealth of nations*.

El EROI

El término EROI (“*Energy Return on Investment*”), se conoce desde 1970 (Howard Odum), aunque la primera publicación donde aparece la palabra EROI data de 1982. Su fórmula general es:

$$\text{EROI} = \text{Energía producida} / \text{Energía requerida para obtener esa energía}$$

Tanto el numerador como el denominador de la ecuación deben estar en las mismas unidades, ya sean joules (J), kilocalorías (kcal) o barriles (b). El numerador es fácil de establecer, la dificultad está en el denominador, que va a estar influido por el lugar a donde se va a utilizar la energía finalmente, ya que el cálculo más sencillo ocurre cuando se calcula el EROI a “boca de pozo” o “boca de mina” o en la fuente originaria si se trata de una energía no fósil. En la Figura 2 se muestra un caso para un proceso de explotación.

Charles E.S. Hall, uno de los autores más prolíficos sobre el tema, tiene el argumento que mucho de los cambios contemporáneos en la economía americana y de otros países industrializados están directamente relacionados con el cambio en el EROI, a medida que los combustibles más utilizados se agotan aceleradamente, léase los hidrocarburos baratos. Está a favor del EROI el hecho que es el más elemental y útil elemento de análisis para examinar y quizás para determinar el futuro de la energía de cualquier país. Sin embargo, Hall aclara que no debe ser el único criterio a utilizar para usar uno u otro combustible, y en cualquier caso se necesitan combustibles con EROI muy positivos, no simplemente positivos. Estimar el EROI de la energía que se importa es importante para saber cuán vulnerable es un país importador.

Hall y Klitgaard proponen inclusive un “EROI *societal*” (EROI_{soc}), es decir un EROI para producir la energía necesaria para toda una nación o sociedad, cálculo que por lo demás nunca se ha efectuado, cuya fórmula sería:

$$\text{EROI}_{\text{soc}} = \frac{\sum \text{de la energía contenida en el energético producido}}{\sum \text{de todos los costos de la energía para producir esos combustibles}}$$

También existe un EROI para determinar la energía necesaria por la sociedad para utilizar una unidad de energía, Hall y Klitgaard la denominan EROI *extendido* o EROI_{ext} y se calcula como:

$$\text{EROI}_{\text{ext}} = \frac{\sum \text{de la energía devuelta a la sociedad}}{\sum \text{Energía necesaria para obtenerla, entregarla y usarla}}$$

Vaclav Smil, para el cálculo del denominador del EROI petrolero, en su libro "Oil (2008)" presenta buenos indicadores para las fases de transporte y refinación del petróleo para producir los combustibles, que al final es de lo que se trata al producir petróleo. Smil señala que la energía que se consume en el transporte de petróleo por un tanquero, el medio más usado, que viaje 3.800 km desde Valdez (Alaska) hasta Long Beach (California) es apenas el 0,5% del petróleo que transporta; y el caso más crítico un tanquero gigantesco de 300.000 toneladas muertas (dwt) que viaje más de 15.000 km desde Ras Tanura (Arabia Saudita-Golfo Pérsico) hasta la costa este de los Estados Unidos consume cerca del 1% de su carga. En el caso del gas natural se estima que 25% de su energía se pierde en moverlo a través de los gasoductos.

Igualmente, Smil señala que la energía que se consume en la refinación de petróleo es la más alta de toda la cadena del petróleo. El promedio en los Estados Unidos, el país con más actividad de refinación, indica que energéticamente se consume aproximadamente 11% del petróleo a ser procesado. Si se descuentan los productos no combustibles producidos, como el asfalto y los lubricantes, la energía neta producida en las refinerías es cerca del 85-88% de la energía contenida en el crudo que se procesa, es decir que se consume entre 12 y 15% del petróleo que se refina.

Los autores arriba mencionados creen que es muy posible que la declinación del EROI domine el futuro de la economía y de la calidad de vida de los Estado Unidos y de los países hoy más industrializados, y ni hablar de los no industrializados.

El EROI tiene muchas ventajas:

1. Sus resultados produce soluciones numéricas que pueden ser comparadas fácilmente con cálculos similares
2. Es una medida útil de la calidad del recurso. Recursos con alto EROI se consideran más útiles que recursos con EROI menores
3. Las mediciones del EROI de un recurso en especial, cuando se presentan en conjunto con las referenciales de otros recursos energéticos, aportan información adicional sobre los diferentes recursos con los que se cuenta
4. La medición continua del EROI de un recurso produce información sobre cómo este está cambiando en el tiempo. En general declina en el tiempo. Por ejemplo en los Estados Unidos el EROI de la producción petrolera se redujo de aproximadamente 24:1 en 1954 a 11:1 en 2007. Con el tiempo más energía se utilizará para encontrar y producir la misma cantidad o menos de petróleo
5. En general un buen análisis EROI puede ahorrar de invertir grandes sumas en combustibles alternativos, que contribuyen poco o nada en materia de seguridad energética.

La literatura indica que el análisis utilizando el sistema EROI se maneja bajo cuatro aspectos:

1. El sistema de límites, tanto para el numerador como para el denominador de la ecuación
2. Correcciones en la calidad de la energía que se calcula
3. Las conversiones energía-economía que se utilicen
4. Estadísticas alternativas al EROI

El análisis del EROI consta de siete (7) pasos (<http://www.mdpi.com/2071-1050/3/10/1888>):

1. Formulación de objetivos para su cálculo
2. Crear un diagrama de flujo e identificar los límites del sistema
3. Identificar y describir todas las entradas y salidas dentro del sistema de límites
4. Unificar toda los datos necesarios para realizar los cálculos
5. Elegir el método de ajuste de la calidad de las energías a utilizarse
6. Identificar y convertir los flujos financieros a unidades de energía
7. Calcular el EROI

Conclusiones

1. Ante la realidad del fin de la energía barata, el presente y el futuro van a depender de las economías energéticas para la producción y el uso de las mismas, de allí que ya no es suficiente solo el análisis financiero o "*Economía Convencional*" que enfatiza solo el dinero, ahora hay que considerar la "*Economía Biofísica*", que a diferencia de la "*Convencional*", enfatiza la energía como recurso físico, la demografía, el ambiente y otros recursos, sin ponerle solo precios a las mismas como tal; por eso la metodología EROI será importante para hacer las respectivas evaluaciones, y decidir sobre las posibles políticas en materias de energía
2. Los valores referenciales de EROI que se presentan en la literatura van a depender de la fecha de la data, de la metodología y alcance del mismo (nivel de cálculo, sea extracción, manufactura, distribución final), de allí la recomendación de seguir cuidadosamente la literatura. Algunos valores de EROI por fuentes y regiones se muestran en el Cuadro 1.
3. Una primera conclusión sobre lo que muestran los EROI del petróleo convencional y las nuevas fuentes no convencionales (las shales) se muestran en la Figura 3. Se observa como el EROI en los petróleos convencionales se ha reducido con el tiempo, sin embargo sigue siendo mayor que el de los petróleos de las *shales* (*oil shales* o kerogeno. Tomar en cuenta que el EROI en el Cuadro 1 no corresponde a las *shale oil* o petróleo maduro en lutitas)
4. Un reciente ejercicio de EROI para la electricidad distribuida muestra que los mejores valores son para la generación nuclear (75:1), seguida de la generación hidroeléctrica (50:1), Carbón (30:1) y gas natural (28:1). Las menos favorecidas son la generación solar-fotovoltaica y la biomásica. Más detalles en la figura 4

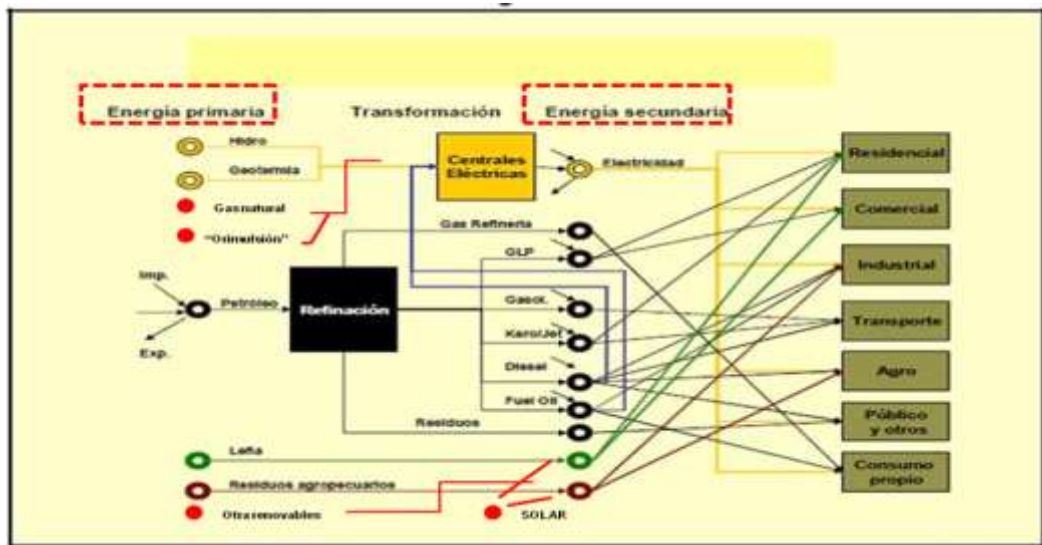
Recomendación

Será un importante ejercicio para Venezuela hacer el cálculo del EROI para:

- a. Las áreas tradicionales para producir el petróleo y el gas natural, en especial las reservas no desarrolladas
- b. Mejorar los factores de recobro en las áreas tradicionales
- c. Desarrollar los prospectos exploratorios en tierra
- d. Producir el petróleo y el gas natural de la Faja del Orinoco
- e. Producir y comercializar la Orimulsion®
- f. Desarrollar los recursos de gas natural costa afuera.

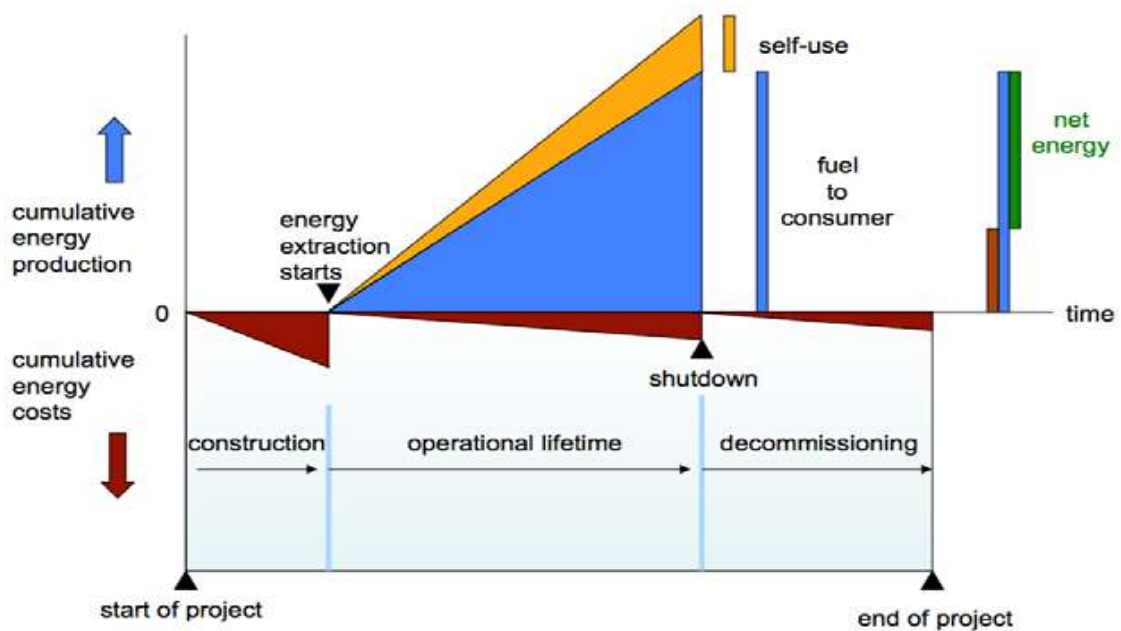
ANEXOS

Figura 1 Fuentes de energía Primaria y Secundaria



Fuente: DJGC (BID, 2010)

Figura 2 Modelo Conceptual del EROI para un proyecto de explotación



Fuente: Cleveland & O'Connor (2010)

Figura 3 EROI de las Oil Shale vs. Petróleo Convencional

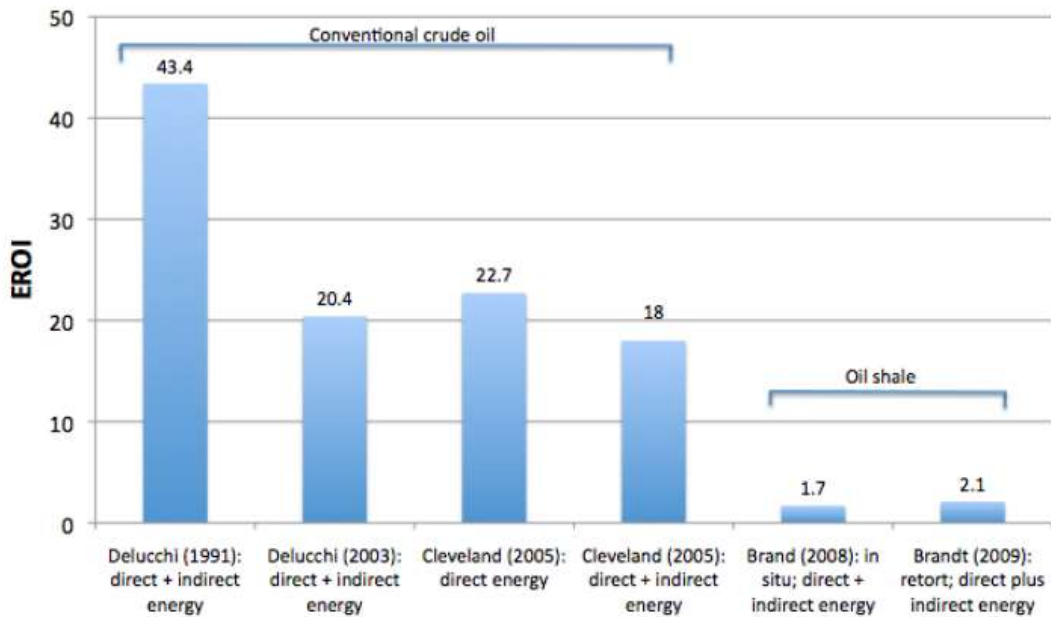


Figure 4. A comparison of estimates of the energy return on investment (EROI) at the wellhead for conventional crude oil, or for crude product prior to refining for oil shale.

Fuente: Cleveland & O'Conor (2010)

Figura 4 EROI para la electricidad distribuida para varias fuentes de generación

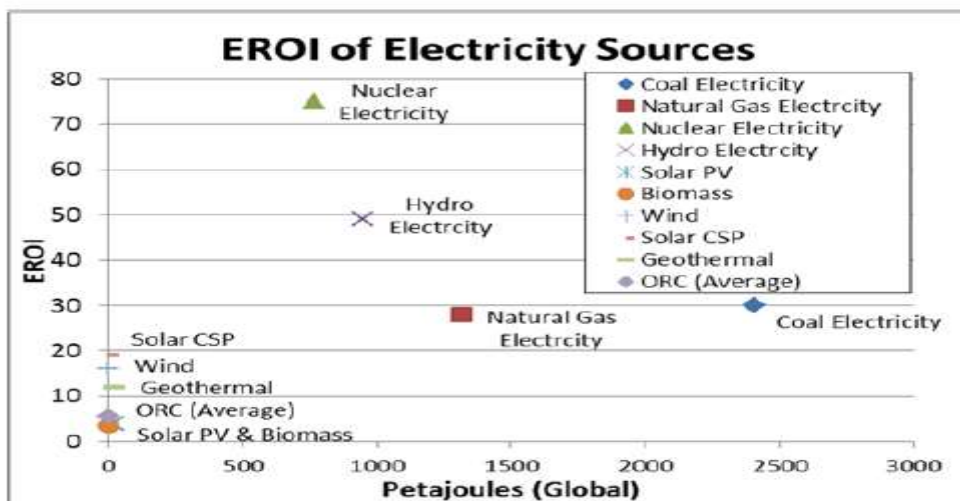


Figure 5) EROI of various electricity sources over global usage. Energy usage data from (IEA, 2012). EROI values from (Weißbach et al., 2013)

Fuente: Southon And Krumdieck (2013)

Cuadro 1 Valores de EROI por fuentes y regiones*

<u>RECURSO</u>	<u>AÑO</u>	<u>PAIS</u>	<u>EROI</u>
<u>"Convencionales"</u>			
Petróleo y Gas Natural producido en USA	2007	US	11,0
Petróleo y Gas Natural importado por USA	2007	US	12,0
Petróleo y Gas Natural en el Golfo de México profundo	2011	US	7,1 a 22,1
Petróleo y Gas Natural en el Golfo de México BP-Macondo)	2011	US	4,0 a 7,1
Petróleo y Gas Natural producido en Canadá	2010	Canadá	15,0
Producción de Petróleo en Noruega	2008	Noruega	21,0
Producción de Petróleo y Gas Natural en México	2009	México	45,0
Producción de Petróleo y Gas Natural en China	2010	China	10,0
Gas Natural producido en USA	2005	US	67,0
Gas natural producido en Canadá	2009	Canadá	20,0
Carbón a boca de mina en USA	2007	US	60,0
Carbón a boca de mina en China	2010	China	27,0
Nuclear	n/a	US	5,0 a 15,0
<u>"No Convencionales"</u>			
Petróleo de Arenas bituminosas someras solo extracción	2011	Canadá	12,4
Petróleo de Arenas bituminosas extracción y mejoramiento	2011	Canadá	5,0
Petróleo de Arenas bituminosas profundas con SAGD	2011	Canadá	5,0
Petróleo de Arenas bituminosas profundas con SAGD y tratamiento	2011	Canadá	2,9
Petróleo de Arenas bituminosas profundas	2010	Canadá	3,0
Petróleo en lutitas (Oil Shales o Kerogeno)	2010	US	1,7 a 2,1
Gas Natural en lutitas (Shale gas)		US	5,0
<u>Renovables</u>			
Hidroeléctrica	n/a	n/	> 100
Eólica	n/a	n/a	18,0
Solar (platos planos)	n/a	n/a	1,9
Solar (colectores concentrados)	n/a	n/a	
Fotovoltaica	n/a	n/a	6 a 12
Etanol de caña de azúcar	n/a	n/a	0,8 a 10,0
Etanol de maíz	n/a	US	0,8 a 1,6
Biodiesel	n/a	US	1,3
<u>Generación eléctrica distribuida con:</u>			
Hidro	2013		50,0
Carbón	2013		30,0
Gas natural	2013		28,0

* Preparado por DJGC, elaborado de las varias referencias presentadas al final, las cuales es importante consultarlas para los detalles, en especial las fechas, condiciones y los rangos.

Referencias:

1. Cleveland, C.J. & O'Connor, P. (2010), An Assessment of the Energy Return on Investment (EROI) of Oil Shale
 - <http://www.westernresourceadvocates.org/land/pdf/oseroireport.pdf>
2. David J. LePoire (2014), Review of Potential Characterization Techniques in Approaching Energy and Sustainability:
 - <http://www.mdpi.com/2071-1050/6/3/1489>
3. ExxonMobil Outlook @ 2040:
 - <http://corporate.exxonmobil.com/en/energy/energy-outlook>
 - <http://corporate.exxonmobil.com/en/energy/energy-outlook/why-energy/overview>
4. Guilford, Hall, O'Connor and Cleveland, A New Long Term Assessment of Energy Return on Investment (EROI) for U.S. Oil and Gas Discovery and Production
 - [file:///C:/Users/Diego/Downloads/sustainability-03-01866-v2%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/Diego/Downloads/sustainability-03-01866-v2%20(4).pdf)
5. Hall, C.A.S. & Klitgaard, K. (2012), Energy & the wealth of nations:
 - http://www.jsedimensions.org/wordpress/content/review-of-energy-and-the-wealth-of-nations-understanding-the-biophysical-economy-by-charles-a-s-hall-and-kent-a-klitgaard-2012-springer-407-pp-isbn-978-1-4419-9397-7_2012_03/
6. Hall, C.A.S. (Oct. 7, 2011), Introduction to Special Issue on New Studies in EROI
 - <http://www.mdpi.com/2071-1050/3/10/1773>
7. Hall & Klitgaard (2006), The need for a new, biophysical-based paradigm in economics for the second half of the age of oil:
 - http://www.esf.edu/efb/hall/pdfs/Hall_IJTR_Article_Vol1_No1.pdf
8. Murphy, Hall, Dale & Cleveland (Oct. 17, 2011), Order from Chaos: A Preliminary Protocol for Determining the EROI of Fuels
 - <http://www.mdpi.com/2071-1050/3/10/1888>
9. Robert Bryce (2010), Power Hungry (“tiene detractores”):
 - <http://melissalott.wordpress.com/2010/06/26/power-hungry-by-robert-bryce/>
 - <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2010/04/23/AR2010042302220.html>
10. Shell Scenarios @ 2060:
 - <http://www.shell.com/global/future-energy/scenarios.html>
11. Southon, M. And Krumdieck, S. (2013), EROI de la energía eléctrica distribuida:
 - http://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/NZGW/2013/Southon_Final.pdf

*Diego J. González Cruz, PE.
Senior Associate E&P and Natural Gas*

*GBC Global Business Consultants (www.gbc-iaa.com)
gonzalezdw@gmail.com
<http://coener2010.blogspot.com/>
<http://www.petroleum.com.ve/barrilesdepapel/>
Telf. Cel. +58 416 605 8299, Telf. Ofic. +58 212 267 1687*