

III. CONFERENCIAS

ASPECTOS DE LA SUSTENTABILIDAD RELACIONADOS CON LA ENERGÍA ELÉCTRICA (*)

HÉCTOR LEOPOLDO SOIBELZON

Nació en La Plata, Argentina, el 6 de marzo de 1941.

Recibió el título de grado de Ingeniero Electricista y el de posgrado de Docente Universitario Autorizado en la Universidad Nacional de La Plata en 1966 y 1995, respectivamente.

Antecedentes profesionales: 1992-1994 – Consultores Internacionales de Yacypretá. (CIDY). Supervisor de proyecto y construcción de la subestación SF₆ para la central hidroeléctrica, residiendo en zona de obra.

1979-1992 – ALTEN S.A. Ingeniero Consultores. Responsable del Depto. de Transmisión y Distribución. Líneas, subestaciones y centrales.

1976-1979 – TECHINT S.A. – Ingeniero Proyectista Senior. Líneas y Subestaciones. 1966-1976 – Dirección de Energía de la Pcia. de Buenos Aires (D.E.B.A). Jefe de Sección Líneas. Depto. de Transmisión, Jefe de Sección Proyecto de Subestaciones (Depto. Técnico). Antecedentes docentes: Es docente en la Universidad Buenos Aires desde 1986 y en la Universidad de la Plata desde 1966.

Antecedentes en investigación universitaria: Es responsable de una Línea de Investigación en el marco del Proyecto I096 de la UNLP y Director del Proyecto I001 en la UBA, Argentina. Su tema de investigación se vincula con aspectos de sustentabilidad y las interacciones de las descargas atmosféricas con líneas de transmisión.

Está catalogado en “The Contemporary Who’s Who”.

Es Miembro Regular del SC C3 de cigre. Es miembro del SAG de la S2 de CIRED.

Más de 20 publicaciones con árbitros internacionales.

Más de 50 publicaciones sin arbitraje.

Resumen

En este trabajo se analiza el método de la Contabilidad eMergética para evaluar específicamente el comportamiento de centrales eléctricas, como un caso particular de aplicación de este método, que se aplica a numerosas actividades, cuando se desea realizar evaluaciones que incluyan aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales.

Los métodos de análisis técnico y económico son bien conocidos y se aplican habitualmente. En cambio, la metodología para incluir en fórmulas y poder comparar los aspectos sociales y ambientales es menos difundida. Sin embargo, cada vez resulta más necesario evaluar los cuatro aspectos en un

(*) Conferencia pronunciada en la Sesión Plenaria del 22 de junio de 2007.

proyecto de Ingeniería Básica. Hasta hace unos años, si un proyecto era “técnicamente correcto” y “económicamente viable” se consideraba “aceptable”. Actualmente, también debe ser “social y ambientalmente aceptable”. La particularidad del método de contabilidad eMergética –que se expone en este trabajo– implica la aplicación de fórmulas para cuantificar los factores ambientales, y en algunos estudios consultados, también aspectos sociales. Se trata de un método muy reciente, se diría incipiente. Hace muy pocos años que se está aplicando, la bibliografía es escasa. Se muestra cómo –con esta metodología– la ventana de espacio en la que se evalúa el proyecto se puede ampliar a la biosfera y el tiempo puede llegar hasta el desarme posterior al fin de la vida útil. Se transcribe textualmente un ejemplo, tomado de la bibliografía, pues el autor aún no ha realizado –ni es de su conocimiento que otros hayan realizado– este tipo de evaluaciones para centrales eléctricas a instalar en la República Argentina.

Palabras claves: eMergía, generación, energía eléctrica, aspectos ambientales, economía.

1. Introducción

La civilización, actualmente, depende de manera significativa de la energía eléctrica. Es muy difícil concebir que, al menos en el futuro inmediato, se pueda reemplazar esta forma de llevar energía a cada rincón de los hogares, oficinas, fábricas, consultorios o comercios que no sea en forma de energía eléctrica. Es limpia, segura y económica. Su carencia, aun durante períodos muy breves, implica trastornos significativos. La simple operación de pasar un producto con código de barras en un supermercado, la atención médica u odontológica, el uso de un cajero automático –por citar unos pocos ejemplos sumamente sencillos– se complica significativamente si se carece de energía eléctrica. En la medida en que el proceso o actividad se hacen más complejos, el problema de carecer de energía eléctrica se agrava significativamente.

La sociedad actual se basa en un consumo energético continuo y creciente. La expresión de consumo energético se vincula con su uso o utilización. La energía no se crea ni se gasta, se transforma.

Durante miles de años el ser humano satisfizo sus necesidades a partir del trabajo de los humanos y de los animales, porque eran las fuentes de energía conocidas, disponibles y al alcance de la mano. Las primeras fuentes de energía inanimadas, como los molinos de viento y las ruedas hidráulicas, significaron un incremento del régimen de trabajo y de la potencia erogada, pero el salto importante, cualitativo y cuantitativo se produjo cuando comenzaron a utilizarse máquinas que obtenían la energía mecánica a partir de los combustibles fósiles. Éstos poseen muchas ventajas, la principal es su bajo costo y la facilidad de transporte, pero también grandes desventajas en términos de contaminación y efectos ambientales. El Dióxido de Carbono, que inevitablemente se genera

al quemar combustibles fósiles, es una de las fuentes que contribuyen mayoritariamente al calentamiento global del planeta.

Es quizás tentador pensar que la energía solar es gratuita, y está disponible en todos lados, y que puede ser una fuente ilimitada de energía libre de Dióxido de Carbono. Esta fuente tiene varias desventajas inherentes que afectan su utilidad y eficiencia económica. La radiación solar que llega a la tierra es intermitente, y por consiguiente, hasta tanto no se desarrollen formas efectivas y económicas de almacenamiento, esta fuente no podrá proveer energía eléctrica masiva (técnicamente llamada energía de base). Otra desventaja inherente a este tipo de energía es la escasa potencia obtenida por unidad de superficie. Si se desean transformar cantidades significativas de energía solar en energía eléctrica, debe “recogerse” la energía proveniente del sol en grandes extensiones del suelo. Esto aumenta considerablemente su costo, especialmente en zonas densamente pobladas. Sin embargo, corresponde recordar que la energía solar ha sido la fuente básica de la que provienen los combustibles que se queman en las centrales térmicas, es la que permite la evaporación y el ciclo del agua, que, de una forma u otra, se vincula con el funcionamiento de las centrales hidroeléctricas y la que produce el viento, que acciona las centrales eólicas. En el método de contabilidad eMergética se rinde tributo a ello, se transforman las energías y aportes a eMJoules solares, mediante la transformidad, como se verá más adelante.

En el sector energético se están realizando actualmente, y se harán cada vez más en el futuro, análisis que incorporan evaluaciones de sustentabilidad porque éste es un tema de preocupación global, debido, fundamentalmente, a dos factores concurrentes, según Brown M.T. y Ulgiati S. (2002):

1. La creciente concientización de las limitaciones en los recursos no renovables.
2. La creciente concientización de los límites de la biosfera para recibir y absorber residuos.

El autor de la presente contribución ha estado estudiando desde hace más de un año una modalidad de evaluación, relativamente reciente, la llamada contabilidad eMergética, que permite evaluar aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales para calificar –en una tarea de ingeniería básica– diferentes obras. Se trata de un método –entre otros– que permite incorporar en la evaluación los aspectos citados y seguramente será depurado con el paso del tiempo. Subsisten algunas dificultades en su aplicación, en particular la contabilización de las transformidades para poder evaluar, sumar y restar índices tan distintos como, por ejemplo, los precios de los materiales, la producción energética, los honorarios profesionales, los salarios del personal de obra, las emisiones y los residuos.

2. La importancia de la calidad, el conocimiento y la inteligencia en los proyectos de energía

El Profesor Osman Sevaioglu (1993 y otras publicaciones) ha realizado un análisis muy crítico de la problemática vinculada a los proyectos de energía, del que se reproducen a continuación algunas frases que están vinculadas al tema de este trabajo. Dice Sevaioglu:

“Los proyectos de energía se asemejan generalmente a un prisma polifacético con cada cara representando un aspecto particular de los proyectos, tales como ingeniería, economía, legislación, aspectos políticos, sociales y ambiente. Este aspecto polifacético anima a la gente a creer que ha entendido completamente el proyecto, analizando solamente una de estas facetas; es decir solamente del punto de vista ingeniería, economía, política o ambiental”.

Se han reproducido a modo de introducción las frases de Sevaioglu, dado que el núcleo de este trabajo es el análisis sistémico y polifacético de la sustentabilidad de los proyectos energéticos, para lo que se transformarán en fórmulas los aspectos técnicos y los económicos –esto es práctica corriente y generalmente conocida– y los aspectos sociales y ambientales (esta es la parte significativa del presente aporte, ya que generalmente no son tan fáciles de evaluar y cuantificar matemáticamente). A veces, considerando una o dos de las facetas, la decisión difiere del resultado cuando se consideran todas. En un ejemplo que se muestra más adelante en esta contribución, se concluye que, realizando el análisis sistémico, y evaluando todos los indicadores posibles, la generación hidroeléctrica es una de las que obtienen las mejores calificaciones. Sin embargo, el largo plazo, del orden de los decenios, desde la maduración hasta la puesta en marcha de una central hidroeléctrica, comparado con tiempos del orden de los años para construir una central turbogás de ciclo combinado, hace que, si en la evaluación, se prioriza el retorno de la inversión y el corto tiempo para la puesta en marcha en operación comercial, la decisión difiere de lo que surge como conclusión en un análisis sistémico en el que se hayan evaluado mayor cantidad de índices.

3. ¿Un descenso suave a nuevas condiciones?

El trabajo “The prosperous way down”, de Odum. H y Odum E.C. (2006) presenta un análisis sumamente crítico de la actualidad mundial, en temas varios, que están vinculados, según sus autores, a la sustentabilidad del planeta

tierra, al hecho de que, aparentemente, las condiciones actuales no serán las del futuro, que –según ellos– será más pobre en recursos y más contaminado que el presente, por lo que plantean la posibilidad de un suave descenso a nuevas condiciones... o a una caída difícil de controlar si no se tiene cautela en las decisiones generales, de las cuales las políticas son una más de las variables a contemplar. Por ello, comienzan su análisis evidenciando que los recursos naturales no renovables se irán agotando o serán cada vez más de mayor costo. Continúan su análisis con otra hipótesis difícil de contradecir, “El ecosistema recibe excesivos efluentes”.

Algunos de los cambios que deberían producirse para “descender suavemente”, según Odum y Odum son:

- Reducción en la tasa de natalidad.
- Disminución de la población de las mega-ciudades, cuyas redes de energía eléctrica, de gas, de agua, cloacales, autopistas y transportes están colapsando.
- Reducción de consumos altamente suntuarios.
- Aumento del uso de los transportes masivos, limpios, confiables y eficientes.
- Cuidado en la emisión de gases a la atmósfera.
- Eficiencia en el uso de la energía.
- Prioridad de la generación hidroeléctrica.

4. Metodología de evaluación eMergética

El análisis eMergético –la palabra eMergético se acostumbra a escribir por ahora con M mayúscula después de la e minúscula para diferenciar de energético, pues “M” y “n” suenan parecido al hablar– utiliza una metodología específica, similar en algunos aspectos al análisis exergetico extendido y bastante diferente en otros. Por ello, para el presente trabajo, y en este capítulo, se seguirán algunas de las frases de E.Sciuba y S. Ulgiati (2005). Estos autores comienzan su trabajo recordando que los requisitos para seleccionar las fuentes energéticas más adecuadas han exigido encontrar, compilar e implementar procedimientos de análisis cada vez más refinados. Dado que los métodos “clásicos”, que analizan los factores de a uno por vez, sean económicos, técnicos, sociales o ambientales no pueden resolver el problema globalmente, se desarrollaron otros, que permiten tomar las decisiones habiendo unificado la evaluación. Por ello se utiliza, entre otros, el método de la contabilidad eMergética.

Hay otros métodos para realizar evaluaciones. Se trata de representar la mayor cantidad posible de variables que hacen al sistema en estudio y contemplar la mayor cantidad posible de insumos, flujos de materia prima y de salidas, subproductos y emisiones. Algunos métodos tratan de extender el análisis a amplios dominios del espacio y del tiempo. Para tomar en cuenta no sólo los temas técnicos y los económicos, sino también los sociales y los ambientales, algunos de los métodos desarrollados –que no necesariamente cubren la totalidad de las variables, sino que algunos abarcan sólo partes– son (se conservan sus nombres en inglés) “Embodied Energy”, “Emergy Accounting”, “Life - Cycle Análisis”, “Cumulative Exergetic Consumption”, “Exergy Analysis”, “Thermo - Economics” y “Extended Exergy Analysis”.

Continúan Sciuba y Ulgiati recordando que las sociedades humanas tratan de maximizar la eficiencia, obtener un retorno de las inversiones lo más rápido posible, lograr beneficios y generar empleos. En cambio, los procesos naturales son aleatorios, orientados a maximizar el sistema globalmente y parecen buscar la utilidad del flujo total de los recursos procesados para optimizar el proceso sistémicamente; aprenden con las realimentaciones, en un proceso de aprendizaje por prueba y error. El soporte del concepto de eMergía está vinculado al valor que tiene “algo” conforme a cuánto se ha invertido en producirlo luego de un proceso de “prueba y error”. Cuanto más se ha invertido en la “potencia de la salida”, mayor calidad se asigna a lo producido. El postulado es que el sistema “aprende” a ser exitoso y a maximizar su “salida” a partir de un proceso similar al de la selección natural. Si no gana esta competencia, resulta desplazado.

La introducción del concepto de eMergía permite focalizar la interfase entre la sociedad, los recursos fósiles y el medio ambiente. Se identifica al “trabajo ambiental” como el “donante” de los recursos que soporta las actividades humanas.

La **eMergía solar** es la suma de todas las “entradas” de exergía solar directa o indirecta. Las **entradas que no provienen del sol** –por ejemplo las geotérmicas o las gravitacionales– se pueden expresar en términos de **exergía solar equivalente**, mediante coeficientes de transformación. La intención es tratar de poder sumar y restar los índices evaluados, para lo cual deben estar expresados en unidades que permitan sumarlos o restarlos.

La eMergía (recursos ya usados e incorporados) se utiliza para realizar procesos y producir bienes. La Contabilidad eMergética también se aplica a procesos que están alejados de las actividades de la termodinámica, como la generación de empleos, el Producto Bruto Interno, procesos de producción de biocombustibles a partir de productos agrícolas, cultura e información.

La eMergía no es energía, por ello no se conserva de la misma manera que la energía. La eMergía ya usada no está más disponible para nuevas transformaciones. Se ha incorporado (*embodied*) el producto, en general bajo la forma de la forma de “calidad aumentada”. Los análisis de contabilidad eMergética evalúan el “contenido eMergético” de un producto.

Otro concepto utilizado en el análisis eMergético es **la transformidad**. El monto de eMergía disipada (disponibilidad usada) por unidad de exergía de salida se denomina **Transformidad solar**. Bien que la transformidad solar se mide en “eMJoules solares por Joule” (seJ/J), hay dificultades para expresar algunos flujos de esta manera. Se requieren otros factores para medir su intensidad eMergética. Por ejemplo, los materiales de construcción o el agua se expresan en seJ/g, las adquisiciones en seJ/\$, las horas trabajadas en seJ/h, etc. De este modo, luego los seJ pueden convertirse en la misma unidad. Posiblemente éste sea uno de los aspectos en que el método continuará depurándose y recibiendo aportes. Se hace notar que las publicaciones son recientes, la mayoría tiene menos de cinco años a la fecha de redacción de la presente contribución (julio de 2007).

5. La evaluación de los sistemas de generación de energía eléctrica mediante la contabilidad eMergética

La contabilidad eMergética ha comenzado a utilizarse también para evaluar sistemas eléctricos, en particular las centrales térmicas e hidráulicas. Hasta antes de eso, la mayoría de los trabajos se referían a procesos agrícolas e industriales (por ejemplo, pueden mencionarse varios trabajos sobre fabricación de etanol a partir del maíz). Entre otros ejemplos del tema generación de energía eléctrica, para el presente trabajo, y en virtud de la claridad con que sus autores plantean y resuelven el problema, para esta contribución se utiliza el trabajo de M. T. Brown y S. Ulgiati (2002). El análisis de la sustentabilidad del proceso permite contabilizar el uso de recursos (fuentes) para producir energía eléctrica, y evaluar la degradación ambiental causada por los residuos (sumideros) del proceso de generación de energía eléctrica. Para evaluar sistemas de generación de energía eléctrica, resulta importante realizar evaluaciones de energía neta. Ellas implican contabilizar el uso directo e indirecto de energía no renovable, materiales y trabajo.

Aunque se trabaje con generación térmica de origen fósil, siempre el ecosistema efectúa importantes aportes, que, a veces, no son contabilizados. Suministra oxígeno imprescindible para la combustión y agua para la refrigeración. Sin agua fría, el proceso térmico es ineficiente.

La “energía neta” es la diferencia entre la energía erogada menos la energía de origen fósil que ha sido consumida.

El uso de fuentes no renovables no garantiza, de por sí, que ellas sean las más sustentables. Debe realizarse un análisis sistémico. Por ejemplo, para producir energía eléctrica a partir de la biomasa es muy probable que se requiera más energía neta que si se emplearan derivados del petróleo.

Para aplicar el método se tiene en cuenta que la contabilidad eMergética es un procedimiento que emplea procedimientos similares a los de la termodinámica, pero convierte todos los recursos utilizados en equivalentes a una única forma de energía, usualmente la solar. La eMergía es una medida del proceso global requerido para producir algo, expresando todo en la misma unidad (entradas y salidas). La eMergía de los combustibles, materiales y servicios se expresa en eMJoules solares. En la literatura en inglés se la escribe como “solar eMJoule” (seJ). *La eMergía solar es la energía solar consumida, directa o indirectamente, para hacer un producto o realizar un servicio.* Pero también se contabiliza la contribución ambiental. Las alternativas posibles para obtener contribución ambiental a fin de generar energía eléctrica pueden ser:

- El uso directo de fuentes renovables (viento, agua, geotermia).
- El consumo de soporte ambiental (oxígeno para combustión y aire o agua para refrigeración). Una posibilidad de medir el uso del agua como refrigerante consiste, por ejemplo, en evaluar en qué medida el agua devuelta a un río ha incrementado su temperatura de manera que ya no puede emplearse como refrigerante en una segunda central aguas abajo. Podría estudiarse el problema del desove prematuro de los peces, pero es muy difícil de contabilizar este fenómeno, llamado “la pluma térmica”.

Las consideraciones sobre cómo trabajar con las unidades merecen aclaraciones adicionales. Dado que no todas las formas de energía tienen la misma calidad, las evaluaciones de los sistemas de producción de energía en general, sea energía eléctrica, uso de la energía, o residuos de la producción energética, deben siempre expresar la energía y los materiales en las mismas unidades. Es común expresar la energía de diferentes formas en toneladas de carbón equivalente o en unidades térmicas. Los servicios ambientales, los aportes de materiales, la labor humana y los servicios son muy difíciles de expresar en unidades térmicas equivalentes. Los evaluadores Brown y Ulgiati (2002), al tratar este tema, aclaran que cada uno de estos aportes tiene un valor energético y debe contabilizarse para determinar la energía neta de los aportes. Cuando los aportes y la producción pueden expresarse en la misma unidad se puede completar la contabilidad eMergética, realizando sumas, restas, multiplicaciones y divisiones. Sin embargo, es muy difícil sumar diferentes formas

de energía, materiales y labor humana, como, por ejemplo las toneladas de carbón, los metros cúbicos de agua o las horas hombre de trabajo. Por ello se incluye el paso previo de utilizar la transformidad.

Por definición de eMergía, la producción obtenida a partir de un proceso se asigna a la eMergía aportada al proceso. La eMergía total asignada a lo “producido” se llama “Producción eMergética”. Se indica con “Y”, del inglés Yield. Para realizar la contabilidad eMergética, “Y” se calcula como la suma de los aportes renovables “R”, los no renovables “N” y los flujos de bienes y servicios de la economía “F”.

La **eMergía neta** de un proceso es la diferencia entre la producción eMergética y las inversiones “F” realizadas para obtener ese producto. Estas inversiones incluyen todos los aportes desde la economía, o sea materiales, maquinaria, estudios, proyectos, mano de obra y servicios. Para determinar la eMergía neta se contabilizan todos los requerimientos, contribuciones (incluyendo las ambientales) y la energía utilizados directamente o indirectamente, evaluados en todas las etapas de una instalación, sea construcción, operación, mantenimiento o desarme al fin de su vida útil.

6. Los diagramas que se utilizan en la contabilidad eMergética

Las evaluaciones eMergéticas se realizan con la ayuda de diagramas que permiten visualizar globalmente el problema. Se hace especial hincapié en destacar que las evaluaciones eMergéticas permiten realizar análisis globales, pero no estudios técnicos detallados ni minuciosos. Son una herramienta de Ingeniería Básica para decidir y discriminar un tipo de central y sus características globales. Por ejemplo, un diagrama que acompaña al trabajo de Brown y Ulgiati (2002) se reproduce como Figura 1. Se muestran las entradas al proceso, sean ambientales, renovables y no renovables y los insumos adquiridos al sistema económico. También se muestra el ingreso de aire al sistema, que suministra oxígeno para la combustión, diluye productos químicos y recibe calor del proceso. En el caso de la Figura 1, un sistema local de agua de mar sirve como intercambiador de calor. Se evidencia que el sol, el viento y las corrientes marinas contribuyen al proceso. Dado el carácter académico de esta contribución, se prefiere comenzar con un ejemplo concreto y en una figura posterior mostrar la simbología.

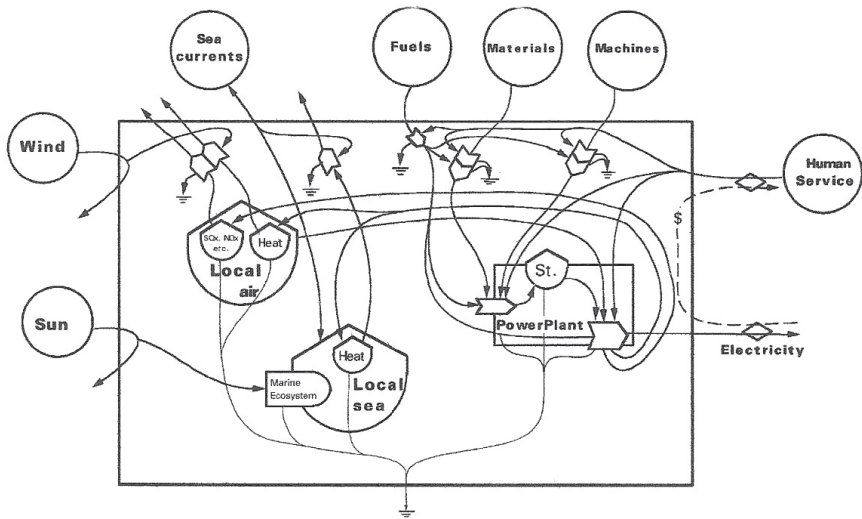


FIGURA 1. Diagrama eMergético de una central termoeléctrica.

Las evaluaciones eMergéticas se distinguen muy especialmente de otros métodos pues permiten contabilizar “a nivel macro”, en adecuadas ventanas de espacio–tiempo, el proceso globalmente. Pueden realizarse a nivel local o abarcar niveles mucho más alejados. Para ilustrar esta posibilidad, en la Figura 2 se reproduce un ejemplo que ha sido tomado del trabajo de S. Tonón et. al (2006). Interesa destacar que las evaluaciones eMergéticas, al incluir dimensiones temporales y espaciales bastante extendidas, permiten realizar análisis bastante completos y, de esa forma, ayudan a tomar decisiones políticas al largo plazo.

En la Figura 2 se muestra que el nivel de evaluación pueden ser los límites físicos de la obra, el nivel regional o llegar a la biosfera, y que, con relación al tiempo, la evaluación puede realizarse para las condiciones actuales, durante la vida útil o extenderse desde la fabricación hasta el desarme posterior al final de la vida útil.

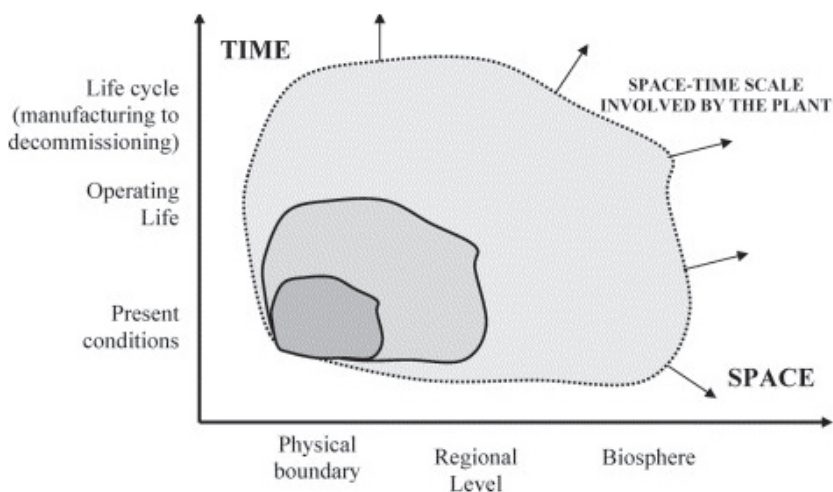


FIGURA 2. Definiciones de tiempo y espacio.

Algunos estudios eMergéticos plantean comparar las instalaciones estudiadas con instalaciones de referencia. Se construye así una escala normalizada. En ella se asigna cero (0) como “la calidad de referencia” del índice evaluado para la obra tomada como “referente” empleada para las comparaciones. A las obras con las que se compara el patrón de referencia se les asignan desviaciones, en valores unitarios, de modo que el mejor valor, comparado con la referencia, será “más uno” (+1) y el peor será menos uno (−1). En la Figura 3 se reproduce un ejemplo de esta modalidad de evaluación, según S. Tonón et. al (2006).

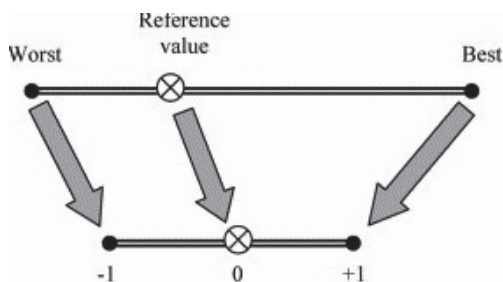


FIGURA 3. Construcción de una escala normalizada para comparar obras.

La elección de los valores de referencia se puede hacer según diversos criterios. Si se analiza una configuración de proceso específica, se puede tomar como referencia el comportamiento de una planta promedio. Así es posible identificar características positivas y negativas y deducir su influencia, incluso de una manera empírica. Otra opción es considerar como patrón de referencia a las obras energéticas reconocidas como “la mejor” para una categoría dada de los sistemas de conversión de la energía, y determinar el apartamiento global de las plantas investigadas relativas a la planta “referente”.

Para ayudar a interpretar los resultados, en la Figura 4 se transcribe la representación gráfica de las obras energéticas comparadas en el estudio de S. Tonón et. al (2006). Se utilizan diversos ejes radiales que se asocian a cada indicador estudiado. La posición de la línea que conecta todos los puntos que califican cada indicador cuantifica el comportamiento global del sistema y proporciona información expeditiva, aunque aproximada, en un gráfico integrado. Los indicadores se colocan en el diagrama en relación con los tres aspectos principales (energía, economía y ambiente). El sistema de la referencia (patrón) es indicado en el diagrama por una circunferencia que une puntos de valor cero. Cuando el sistema en estudio tiene un funcionamiento cercano al del sistema de referencia, los indicadores quedan cerca de la circunferencia de la obra de referencia. Las circunferencias exteriores (de radio +1) muestran un comportamiento mejor que el patrón de referencia. Las internas (de radio -1) indican peor funcionamiento que la referencia. La línea que une todos los puntos permite realizar un análisis sistémico de los indicadores.

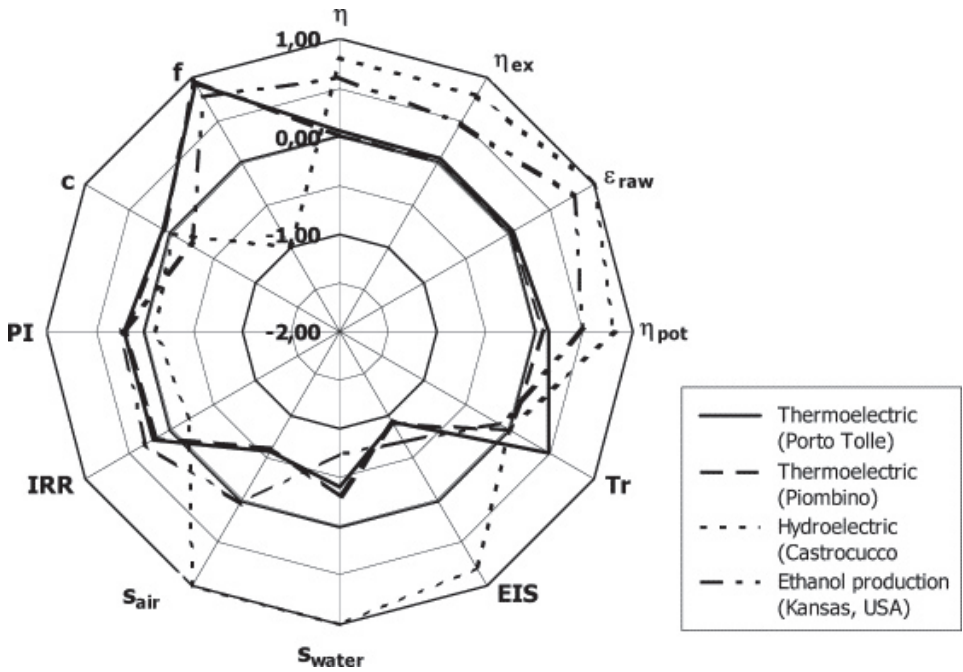


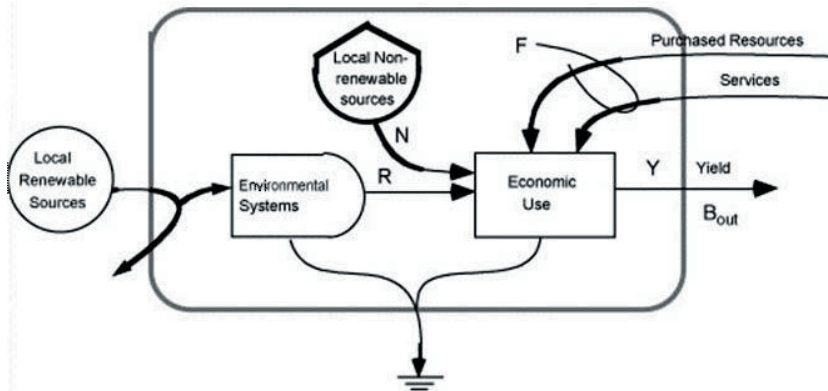
FIGURA 4. Evaluación entre -1 y +1 de los indicadores de centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, una planta de producción de etanol y su comparación con el caso de referencia.

En la Figura 5 de la presente contribución –que reproduce la Figura 1 del trabajo de Sciuba y Ulgiati (2005)– se muestra un diagrama para el cálculo de las transformidades.

Las fórmulas bajo la figura 5 permiten calcular:

1. La Producción eMergética (Y) como la suma de los aportes renovables (R), no renovables (N) y recursos adquiridos más servicios (F).
2. La fracción renovable $R/(R+N+F)$.
3. La fracción de producción eMergética (EYR) como cociente de la producción eMergética total (Y) dividida por los recursos adquiridos más los servicios (F).
4. La relación de carga ambiental (ELR) como el cociente de la suma de los recursos adquiridos más los servicios (F) a los que se suman los no renovables (N), divida por los renovables (R).
5. El índice de sustentabilidad eMergético ESI, como cociente de la fracción de producción eMergética (EYR) dividida por la relación de carga ambiental

(ELR). Se hace notar que, en algunos trabajos, el índice de sustentabilidad eMergético se indica como EIS.



$$\text{Yield (Y)} = R + N + F$$

$$\%_R = \text{Fraction Renewable} = R / (R + N + F)$$

$$\text{Energy Yield Ratio} = \text{EYR} = Y / F$$

$$\text{Environmental Loading Ratio} = \text{ELR} = (F + N) / R$$

$$\text{Energy Sustainability Index} = \text{ESI} = \text{EYR} / \text{ELR}$$

FIGURA 5. Ejemplo de diagrama para calcular las transformidades.

También se emplea una simbología similar en la mayoría de los trabajos.

i Tasa de interés,
 cF Costo de combustible por unidad de exergía (V/J)
 B Exergía (J)
 BF Exergía del combustible (J)
 DCF Flujo de caja (V)
 E Energía (J)
 Em EMergía (seJ)
 Inv Inversiones de capital (V)
 L Límite de emisión del contaminante jth
 NOx Óxidos de Nitrógeno
 NPW Valor neto presente
 s Factor ambiental
 S Nivel de emisión del contaminante jth

SO2 Dióxido de azufre
 i jth Sustancia contaminante jth
 in Ingreso
 n Vida útil (años)
 out Salida
 raw Energía no renovable en bruto (exergía)
 t Productos suministrados
 w Salidas no utilizadas
 F Realimentaciones
 N No renovables
 R Renovables
 Y Producción eMergética

Algunos de los símbolos empleados en las fórmulas son:

La mayoría de los trabajos sobre contabilidad eMergética utilizan símbolos similares. En la Figura 6 de este trabajo se transcribe una simbología, tomada del trabajo de Sciuba y Ulgiati (2005).

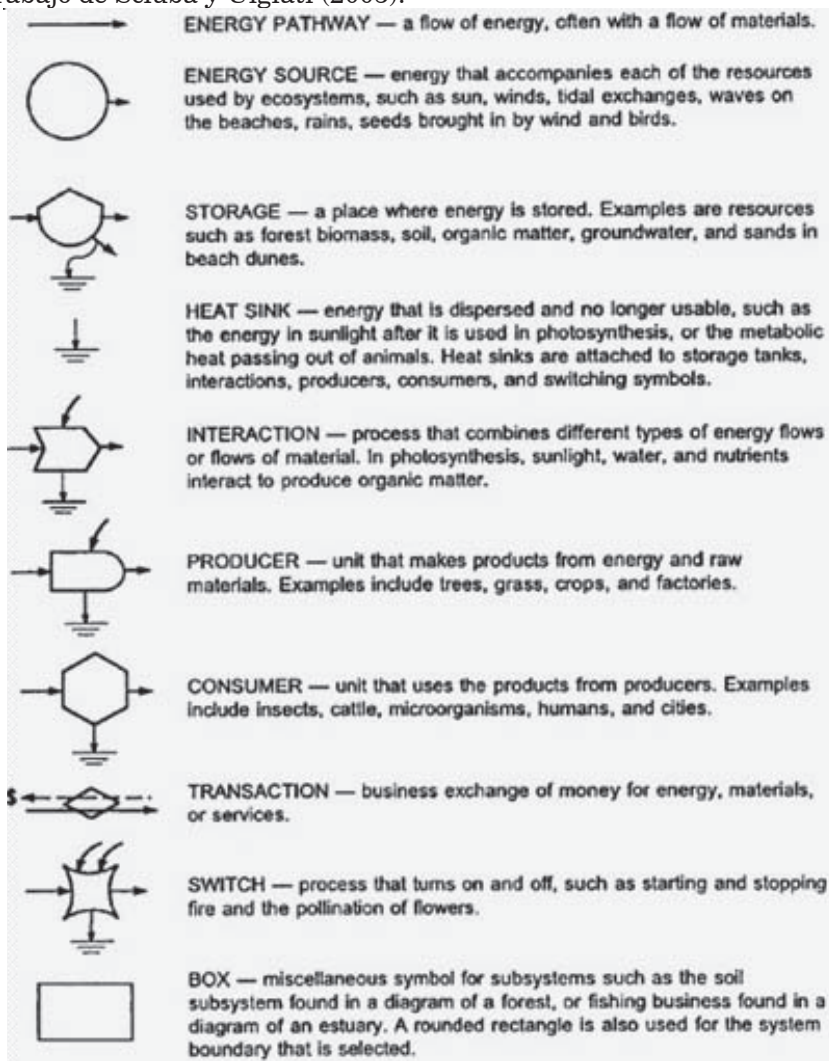


FIGURA 6. Ejemplo de la simbología utilizada en los trabajos de contabilidad eMergética.

7. Fórmulas utilizadas en el cálculo de indicadores mediante el método de la contabilidad eMergética

Las fórmulas que se reproducen en la Tabla 1, cuyos resultados fueron graficados en la Figura 4 de la presente contribución, han sido tomadas del trabajo de Tonón et al. (2006).

TABLA 1. Fórmulas utilizadas en el cálculo de indicadores.

$\eta = \frac{\sum_{j=1}^I E_j}{E_{in}}$	(1)	$c = \frac{Z+c_F \cdot B_F}{\sum_{j=1}^I B_j}$	(7)
$\varepsilon_{raw} = \frac{\sum_{j=1}^I E_j}{E_{raw}}$	(2)	$f = \frac{Z}{Z+c_F \cdot I}$	(8)
$\eta_{ex} = \frac{\sum_{j=1}^I B_j}{B_P}$	(3)	$s_{air} = \max\left(\frac{S_j}{L_j}\right) \quad j \in (\text{air polluting substances})$	(9)
$\eta_{pot} = \frac{\sum_{j=1}^{I+W} B_j}{B_P}$	(4)	$s_{water} = \max\left(\frac{S_j}{L_j}\right) \quad j \in (\text{water polluting substances})$	(10)
$PI = 1 + \frac{NPW}{Inv} = \frac{\sum_{j=1}^n DCF_j}{Inv}$	(5)	$Tr = \frac{E_{inY}}{\sum_{j=1}^I B_j}$	(11)
$IRR=i:(NPW=0)$	(6)	$EIS = \frac{EYR}{ELR}$	(12)

El significado de las fórmulas que obran en la tabla 1 es:

1. Rendimiento (η) del primer principio de la Termodinámica.
2. Coeficiente (ε_{raw}) de conversión de la energía de los recursos crudos. Cuantifica el nivel de la utilización de los recursos crudos (recursos no renovables, combustibles fósiles). ε_{raw} resalta cuánta energía proveniente de recursos crudos puede potencialmente ser ahorrada si las fuentes renovables sustituyen a los combustibles fósiles para obtener la misma producción energética.
3. Rendimiento exergético conforme al segundo principio de la termodinámica (η_{ex}).
4. Rendimiento potencial del segundo principio (η_{pot}), que permite evaluar la eficiencia adicional potencial de la exergía que deriva de explotar los flujos de las emisiones de salida. Por ejemplo, el calor contenido en los humos de las chimeneas.
5. Índice del beneficio (PI). Proporciona una medida directa del comportamiento de la inversión midiendo el beneficio asociado a la operación de planta en el final de la vida útil (NPW) referido a la inversión inicial.

6. Tasa interna de retorno (IRR).
7. Costo de los productos (c). Determina la eficacia al usar los recursos económicos para obtener energía de diversos tipos (calor y energía eléctrica en centrales de cogeneración, por ejemplo). El costo se expresa sobre base de la exergía.
8. Factor Exergo–económico (f). Compara el costo de capital de la planta con el costo de las irreversibilidades ligadas al proceso. Varía entre 0 y 1.
9. Indicador de impacto ambiental para el aire (sair).
10. Indicador de impacto ambiental para el agua (swater).
Los indicadores 9 y 10 proporcionan una medida del comportamiento ambiental del proceso cuando se liberan al ambiente sustancias contaminantes para producir energía eléctrica. Comparan la emisión de sustancias seleccionadas o del flujo de los residuos con un umbral apropiado (directamente relacionado con el límite normalizado para la emisión). Desde ya que para el proceso de vaporización del agua se trata más agua de la estrictamente necesaria, y el excedente se ventea. Es un costo ambiental, imprescindible para el proceso.
11. Transformidad (Tr). Cuantifica la calidad ambiental del producto y eficacia del proceso de generación en la escala de la biosfera, según el método de contabilidad eMergética.
12. Índice de sustentabilidad eMergética (EIS). Mide la capacidad potencial del sistema para proporcionar los máximos beneficios (cociente eMergético de la producción (EYR)) a la economía, comparados con el más bajo impacto ambiental (relación ambiental de carga (ELR)). Es una medida adicional de la producción y de la carga ambiental, es decir una función de la sustentabilidad para un proceso dado (o la economía), expresada en términos eMergéticos.

Como se ha destacado en capítulos anteriores, el uso de las fórmulas precedentes permite contabilizar aspectos energéticos, económicos y ambientales. Por eso, en algunos trabajos técnicos se lo acostumbra llamar también “Método de las 3E” por sus palabras en inglés “Energetic, Economic, Environmental approach”.

8. Procedimiento para realizar evaluaciones mediante contabilidad eMergética

La metodología general para efectuar análisis mediante contabilidad eMergética, según el trabajo de Sciuba y Ulgiati (2005) ya citado –y del que

se toma el presente apartado— se organiza en tres etapas, que se describen a continuación.

8.1. Primera etapa: diagramas

Se realiza un diagrama del proceso, tratando de incluir esquemáticamente los aportes, salidas y residuos de la actividad, tal como se mostró en la Figura 1 de este trabajo, a fin de organizar un gráfico que permita comprender las interacciones, combinar la información y organizar la recopilación de datos. Permite indicar los componentes y los caminos en que se realizan las interacciones. Ello se logra mediante:

- La definición del entorno y la inclusión de las fuentes.
- El listado de los componentes principales.
- El mejor conocimiento posible de los detalles de las interacciones internas, sean flujos, relaciones, interacciones, producción, consumo, etc. Se incluyen los flujos de dinero y trabajo importantes.

8.2. Segunda etapa: tablas

La segunda etapa del proceso de contabilidad eMergética consiste en confeccionar tablas, a partir de los diagramas, para realizar los cálculos de los flujos hacia y desde el sistema, identificar subproductos, realimentaciones, convergencias y divergencias. Permite evitar una eventual doble contabilización de algún producto o tarea. Por ejemplo, en la Tabla 2 se indica:

- Columna A: El número del ítem, que será el número en la tabla de los cálculos.
- Columna B: El nombre, símbolo químico o identificación del ítem
- Columna C: La Unidad.
- Columna D: El monto o cantidad, sea en Joules, gramos, pesos, u otra unidad. Si es tarea humana, se establecen las horas, meses o años—hombre. Los servicios (trabajos previos para lograr la entrada considerada) se evalúan por costo monetario.
- Columna E: La transformidad. Este importante punto, crucial en la contabilidad eMergética, es el que permite transformar todo a seJ en la columna siguiente. Consiste en expresar en seJ/J , o $seJ/\$$ o seJ/kg , el valor evaluado en esa fila. La información se toma de la bibliografía disponible, que luego se cita como referencia bibliográfica en la columna F.
- Columna F: La cita a que se hace referencia en E.
- Columna G: La eMergía solar calculada multiplicando el monto indicado en la columna D por la transformidad de ese ítem en la columna E.

TABLA 2: Ejemplo del encabezamiento de una tabla típica de contabilidad eMergética

A	B	C	D	E	F	G
	Símbolo	Unidad	Monto	Transformidad (seJ/J)	Bibliografía de referencia para la transformidad	eMergía (seJ/año)
1	CH ₄	Joule	———	54.000	(Nº)	D ₁ xE ₁

8.3. Tercera etapa: cálculo de los índices eMergéticos

El cálculo de los índices eMergéticos se realiza luego de haber compilado en tablas la eMergía de cada índice a evaluar, los flujos de materiales, dinero, mano de obra y su relación con el ambiente, para evaluar su viabilidad económica y su compatibilidad ambiental.

8.4. Álgebra eMergética

La contabilidad eMergética, por sus características especiales de constituir una “memoria” de la inversión exergética para realizar el producto o servicio, tiene algunas reglas. Las reglas algebraicas de “memoria eMergética” no son iguales a las del “álgebra de la conservación”. Ellas son:

1. Cuando de todo el proceso se obtiene un solo producto, la eMergía de todas las fuentes se asigna a ese producto.
2. Cuando algún flujo se subdivide (originando flujos que muestran las mismas características físico-químicas), la eMergía total se subdivide coherentemente con esa subdivisión, sobre la base de la exergía en cada camino.
3. Cuando dos o más co-productos se generan en el mismo proceso (como ser ítems que tiene distintas propiedades físico-químicas, pero que sólo pueden producirse conjuntamente), la eMergía total de la fuente se asigna a cada uno de ellos. La justificación es que no podrían producirse individualmente sin invertir el total de la eMergía utilizada.
4. La eMergía no puede ser contabilizada dos veces en un sistema. Por ello:
 - a) La eMergía de las realimentaciones no se puede contar dos veces.
 - b) Los co-productos, una vez evaluados, no pueden ser sumados. Sólo se contabiliza la eMergía del más grande de los co-productos.

Las eMergías de los co-productos en un proceso nunca pueden sumarse juntas. Ellas implicaría violar la regla 4, realizando una doble contabilidad de la eMergía. La regla 3 puede crear alguna confusión a primera vista, siendo que aparenta haber más eMergía en las salidas que la de entrada, o sea violando el

primer principio de la Termodinámica. Pero la regla 4 ayuda a obviar los malentendidos. De todas maneras, como la eMergía no es energía, no se necesitan aplicar las leyes de conservación de la energía. La eMergía no se conserva de la misma forma que la energía, dado que, como se indicó antes, la eMergía ya usada no está más disponible para nuevos usos, ya se ha incorporado al producto. La eMergía no es energía, por ello no se conserva de la misma manera que la energía. La eMergía ya usada no está más disponible para nuevas transformaciones. Se ha incorporado al producto.

9. Un ejemplo de aplicación práctica de cálculo de contabilidad eMergética aplicado a las centrales eléctricas

El método de contabilidad eMergética aún no ha sido empleado en la Argentina –en tanto es sabido por el autor de la presente contribución– para evaluar centrales eléctricas. Por ello se tomará el ejemplo desarrollado con todo detalle y pulcritud en el trabajo de M. T. Brown y S. Ulgiati (2002) para la central térmica ubicada en Piombino, Italia, y que, a su vez, es una de las centrales que usaron en la comparación S. Tonón et al. (2006), como se reproduce en la Figura 4 del presente trabajo. En la tabla 1 –obrante en la página 325 del trabajo, y que se transcribe parcialmente como Tabla 3 en la presente contribución–, Brown y Ulgiati comienzan por realizar el balance de energía y combustible de la planta. Cabe aclarar que el presente capítulo tiene como objetivo mostrar cómo se realiza la tarea de contabilidad eMergética. Se ha optado por dejar las tablas del trabajo del que se tomó el estudio sin traducir, dado que –en opinión del autor del presente trabajo– no sería ningún aporte la mera traducción de tablas y un error involuntario –aunque fuera en una unidad– lo desmerecería.

TABLA 3. Balance de energía y combustible de la central Piombino

# Item	Unit	Units/ha/yr	Oil equivalent (g/unit)	Ref. for equiv.a	Oil used up (g/yr)	CO2 released (g/yr)b
PLANT CONSTRUCTION PHASE						
(Goods, energy and labour have been divided by plant lifetime, 30 years)						
1 Concrete	g	3.64E+10	0.07	[f]	2.52E+09	8.11E+09
2 Iron and steel for structure	g	6.17E+08	0.96	[d]	5.89E+08	1.90E+09
3 Insulating materials (rock wool)	g	1.33E+07	2.50	[f]	3.33E+07	1.07E+08
4 Copper electric wires	g	5.26E+06	1.68	[c]	8.83E+06	2.84E+07
5 Diesel transport of material by truck	g	2.22E+07	1.23	[f]	2.73E+07	8.79E+07
6 Steam generators (steel)	g	2.57E+08	3.42	[d]	8.78E+08	2.83E+09

NOTA: El ítem “Etapa de construcción continúa hasta el ítem 26, con que se cierra la parte correspondiente a la etapa de construcción, ese ítem dice:

26Paints	g	5.00E+05	2.00	[f]	1.00E+06	3.22E+06
----------	---	----------	------	-----	----------	----------

Continúa la tabla 1 con la etapa de operación, que también se transcribe parcialmente y directamente del original, pues la intención de esta parte del trabajo es académica, dado que aún, y como se dijo arriba, el autor todavía no ha completado las evaluaciones para plantas de Argentina, por lo que carece de ejemplos locales y propios para mostrar.

PLANT OPERATING PHASE

Goods and services

32 Currently replaced materials						
<i>Machinery and electric materials</i>	£	6.39E+09	0.09	[b]	5.97E+08	1.92E+09
<i>Lubricants</i>	g	2.98E+07	2.00	[f]	5.96E+07	1.92E+08
<i>Chemicals</i>	g	1.55E+09	2.00	[f]	3.11E+09	1.00E+10

La tabla 1 finaliza con el ítem 36, producción de la planta, como se indica a continuación:

Electricity production

36 Annual yield	J	2.35E+16	7.96E+05	[g]	1.87E+12	6.03E+12
-----------------	---	----------	----------	-----	----------	----------

En la Tabla 2 del trabajo de Brown y Ulgiati, se indica la transformidad para cada uno de los ítems de la tabla 1. Por ello, en la presente contribución se transcriben parcialmente algunas de las cifras de la misma manera en que se transcribió la Tabla 3; valen los mismos comentarios.

TABLA 4. Contabilidad eMergética para la planta termoeléctrica de Piombino

#	Item	Unit	Amount	Solar transformity (seJ/unit)	Ref. for transf.a	Solar emergy
---	------	------	--------	-------------------------------------	----------------------	--------------

PLANT CONSTRUCTION PHASE

(Goods, energy and labour have been divided by plant lifetime, 30 years)

1	Concrete	g	3.64E+10	5.08E+08	[a]	1.85E+19
2	Iron and steel for structure	g	6.17E+08	2.77E+09	[a]	1.71E+18
3	Insulating materials (rock wool)	g	1.33E+07	1.50E+09	[h]	2.00E+16
4	Copper electric wires	g	5.26E+06	2.00E+09	[d]	1.05E+16
5	Diesel transport of material by truck	J	9.87E+11	6.60E+04	[b]	6.51E+16
6	Steam generators (steel)	g	2.57E+08	2.77E+09	[a]	7.12E+17

NOTA: Valen los mismos comentarios que los realizados para la Tabla 3.

6 Steam generators (steel)	g	2.57E+08	2.77E+09	[a]	7.12E+17
26 Paints	g	5.00E+05	1.50E+09	[h]	7.50E+14

PLANT OPERATING PHASE

Goods and services

32 Currently replaced materials:

<i>Machinery and electric materials</i>	US\$	3.12E+06	1.22E+12	[e]	3.80E+18
<i>Lubricants</i>	J	1.37E+12	6.60E+04	[b]	9.06E+16
<i>Chemicals</i>	g	1.55E+09	3.80E+08	[b]	5.91E+17

De la misma forma que la Tabla 1, la Tabla 2 finaliza con el ítem 36, producción de la planta, salvo que se discrimina si la evaluación se realiza considerando o no el trabajo y servicios, como se indica a continuación:

Electricity production

36 Annual yield, with labour and human services	J	2.35E+16	2.00E+05	[g]	4.70E+21
Annual yield, without labour and services	J	2.35E+16	1.87E+05	[g]	4.39E+21

En la Tabla 3 del trabajo de Brown y Ulgiati se comparan los indicadores energéticos con el flujo de dióxido de carbono. Dicha Tabla 3 se transcribe como Tabla 5 en esta contribución. De la misma forma que las Tablas 3 y 4 de este trabajo, se ha evitado traducirlas, dado el escaso aporte al tema que implicaría la mera traducción e intentando mostrar la metodología utilizada en los trabajos de contabilidad eMergética.

TABLA 5. Comparación de indicadores energéticos y los flujos de dióxido de carbono para la producción de energía eléctrica

Comparison of energy based indicators and carbon dioxide flows for electricity production (n.a.: not applicable)	Wind (2.5 MW)	Geothermal (20 MW)	Hydro (85 MW)	Methane (171 MW) (*)	Oil (1280 MW)	Coal (1280MW)
Total electric energy produced per year (J)	1.35E+12	3.28E+14	3.94E+14	2.05E+15	2.35E+16	2.44E+16
Total energy invested per year (J)	1.76E+11	1.58E+13	1.66E+13	5.61E+15	7.84E+16	9.78E+16
CO ₂ released (g)	1.36E+7	5.98E+13	1.27E+6	4.32E+11	6.03E+12	7.53E+12
CO ₂ released/electricity produced (g/kW h)	36.15	655.08	11.63	759.48	923.19	1109.82

*a Our estimate, based on average performance parameters.

(*) Es un valor estimado por Brown y Ulgiati.

En la Tabla 6 se transcribe parcialmente la Tabla 4 del trabajo de Brown y Ulgiati. En ella puede verse el listado de la totalidad de los indicadores eMergéticos para las seis plantas comparadas. Las primeras cinco columnas evalúan los flujos de entrada discriminados en renovables y no renovables y las compras (que no sean de combustibles), los trabajos y servicios del hombre y las inversiones. La producción de energía eléctrica es la suma de la eMergía requerida para producirla. La transformidad se calcula en dos posibilidades (con o sin inclusión de tareas humanas y de servicios). La Tabla 6 permite obtener como conclusiones que la relación de la eMergía producida dividida por los bienes adquiridos (EYR) es máxima para las centrales hidroeléctricas, seguida por las centrales eólicas. Las centrales que queman derivados del petróleo ocupan el último lugar. Las centrales geotérmicas están anteúltimas y su EYR es menor que el vinculado a las centrales de carbón.

Estos cálculos son dignos de ser replicados con otras evaluaciones, que, como se mencionó arriba, el autor de esta contribución aún no tuvo oportunidad de realizar para obras en Argentina y –en tanto es de su conocimiento– no hubo otros colegas que los hayan realizado a la fecha de preparación de la presente contribución. Tampoco aparecen numerosos estudios sobre contabilidad eMergética aplicada a generación de energía de energía eléctrica en otros países del mundo. Es una técnica incipiente como para obtener mayores conclusiones.

En esta Tabla 6, la transformidad solar del producto se calcula como el cociente de los aportes eMergéticos divididos por la energía eléctrica de salida. Las transformidades de las centrales eólicas e hidroeléctricas son las más bajas ($5,89E+4$ y $5,87E+4$ respectivamente), del orden de la mitad de las transformidades de las otras centrales.

La relación de carga ambiental, (ELR) calculada como la suma de los aportes no renovables más las compras –que no sean de combustibles– dividida por la entrada de los renovables. Es muy alta para las centrales que queman combustibles fósiles, que muestran una relación de $10,37/1$ para centrales que queman carbón y de $14,24/1$ para las que queman petróleo, en tanto que para todas las que utilizan recursos renovables la relación de carga ambiental (ELR) es menor que 1.

TABLA 6. Comparación de de los flujos de eMergía y de indicadores eMergéticos para la generación de energía eléctrica

	Wind (2.5 MW)	Geothermal (20 MW)	Hydro (85 MW)	Methane (171 MW) ^a	Oil (1280 MW)	Coal (1280 MW)
<i>R</i> Renewable input	7.28E1+7	3.36E+19	1.69E+19	2.72E+19	3.12E+20	3.68+E20
<i>N</i> Nonrenewable input ^b	0.00	4.61E+18	4.45E+18	2.68E+20	3.32E+21	3.05E+21
<i>F</i> Purchased input other than fuel	1.13E+17	1.00E+19	3.21E+18	5.28E+19	1.13E+21	7.63E+20
<i>Y</i> Yield ($R+N+F$)	8.41E+17	4.83E+19	2.46E+19	3.48E+20	4.76E+21	4.18E+21
Tr1 Transformity, with human labor and services	6.21E+4	1.47E+5	6.23e+4	1.70E+5	2.00E+5	1.71E+5
Tr2 Transformity, without human labor and services	5.89E+4	1.42E+5	5.87E+4	1.60E+4	1.87E+5	1.62E+5
EYR Energy yield ratio, $EYR=(R+N+F)/F$	7.47	4.81	7.65	6.60	4.21	5.48
ELR Environmental loading ratio, $ELR=(N+F)/R$	0.15	0.44	0.45	11.78	14.24	10.37
EIS Energy index of sustainability, $EIS=EYR/ELR$	48.300	11.048	16.903	0.560	0.295	0.529

a Our estimate, based on average performance parameters.

b Includes the fuel delivered to plant (if any) and other nonrenewable resources (ground water, geologic structure, etc.).

El índice de sustentabilidad eMergético EIS es el cociente de EYR sobre ELR. Las plantas con mayores valores de eMergía necesaria para funcionar y con menores relaciones de carga ambiental muestran los valores más altos de EIS. Este es el caso de las centrales eólicas, seguido por las centrales hidroeléctricas.

10. Conclusiones

Se ha presentado el método de contabilidad eMergética como un avance con una metodología que posee la virtud de permitir incorporar en la evaluación los factores ambientales y –con limitaciones– los sociales a los técnicos y económicos ya conocidos en evaluación de proyectos, intentando mostrar cómo podría realizarse un análisis sistémico. En este caso, aplicado a la generación de energía eléctrica.

Algunos de los beneficios obtenidos al analizar la sustentabilidad del proceso de generación de energía eléctrica mediante metodología eMergética (u otras que tomen en cuenta los aspectos involucrados en forma sistémica, llegando a nivel biosfera) son que el evaluador ha analizado aspectos técnicos, económicos y ambientales, pudiendo contabilizar desde costos de insumos para la construcción hasta emisión de gases de efecto invernadero, la lluvia ácida,

haber tratado y vaporizado más agua de la necesaria (que luego de tratada se devuelve a la atmósfera en forma de vapor sin haberse utilizado en los procesos, en los casos en que eso ocurra), o devolviendo agua demasiado caliente, que impide construir otra central aguas abajo.

Los cálculos han sido extraídos de bibliografía muy actualizada. Sin embargo, son dignos de ser replicados con otras evaluaciones. El autor de esta contribución aún no tuvo oportunidad de realizar evaluaciones con metodología eMergética para obras en la Argentina y –en tanto es de su conocimiento– no hubo otros colegas que los hayan realizado a la fecha de preparación de la presente contribución. Tampoco aparecen numerosos estudios sobre contabilidad eMergética aplicada a generación de energía de energía eléctrica en otros países del mundo. Es una técnica incipiente como para obtener mayores conclusiones. Por eso se ha preferido transcribir parcialmente cálculos y figuras realizados por otros investigadores, que se han conservado en su idioma de origen. Podría servir –con las adaptaciones del caso– para complementar otras metodologías cuando se intente dar órdenes de mérito a algunas obras que se planifiquen.

En el caso de que alguno de los lectores de este trabajo necesite o desee aplicar la metodología de Contabilidad eMergética para centrales de Argentina, se espera haber “abierto algunas ventanas” para dar los pasos iniciales.

Agradecimientos

A las Facultades de Ingeniería de las Universidad Nacional de La Plata y de la Universidad de Buenos Aires, por permitir, mediante proyectos acreditados y subsidiados –dentro de los presupuestos con que se mueven las Universidades de Argentina– que los investigadores argentinos estén actualizados y puedan presentar contribuciones sobre técnicas cercanas a lo más avanzado que se está haciendo en otros países del mundo.

A las Autoridades de la Academia Nacional de la Ingeniería de la República Argentina por haberme dado la oportunidad para exponer sobre esta metodología y a los asistentes a la conferencia del día 22 de junio de 2007, que con sus preguntas y sugerencias durante la exposición me han obligado a re-pensar sobre algunos aspectos y, consecuentemente a presentar el presente texto, que es bastante distinto de la presentación realizada durante la citada conferencia.

REFERENCIAS

- Brown, M. T. y Ulgiati, S., "Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems", *Journal of Cleaner Production* 10 (2002) 321-334.
- Odum, H. T. y Odum, E. C., "The prosperous way down", *Energy* 31 (2006) 21-32.
- Sciubba, E. y Ulgiati, S., "Emergy and exergy analyses: Complementary methods or irreducible ideological options?", *Energy*, volume 30 (2005) 1953-1988.
- Sevaioglu, O., <http://powerglobe.powerquality.com/>, 1993.
- Tonon, S.; Brown, M. T.; Luchi, F.; Mirandola, A.; Stoppato, A. y Ulgiati, S., "An integrated assessment of energy conversion processes by means of thermodynamic, economic and environmental parameters", *Energy*, volume 31, issue 1 (2006), 149-163.