

ANALISIS EMERGETICO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN EDIFICIO DE OFICINAS

P. Mosconi¹ y J. Vazquez²

Colaboradores: Bracalenti L.³ y Omelianiuk S.⁴

CEAH-Centro de Estudios del Ambiente Humano, Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño, UNR
Riobamba 220 bis – 2000 Rosario - Tel. 0341-4808532/35 e-mail: pmosconi@unr.edu.ar, jvazquez@unr.edu.ar

RESUMEN: En los últimos años, se han difundido las prácticas proyectuales basadas en el criterio de “edificios verdes” como estándares de “sustentabilidad”. Sin embargo, se requieren indicadores integrados, para evaluar el comportamiento de edificios, básicamente debido a que la construcción está directamente relacionada con el consumo de combustibles fósiles, la sobre-explotación de materiales, el agotamiento de recursos y el derroche energético.

En el trabajo, se presenta el análisis emergético de un edificio de oficinas situado en la ciudad de Rosario, Argentina, con el objeto de contabilizar los flujos de energía y materiales involucrados en el proceso de construcción. Los resultados obtenidos representan los “costos ambientales de construcción” con el objeto de evaluar tecnologías y materiales y proveer información útil acerca de la sustentabilidad ambiental de los edificios.

Palabras claves: análisis emergético, indicadores, construcción, edificios, sustentabilidad

INTRODUCCION

La sostenibilidad (o la no sostenibilidad) no es mensurable fácilmente: en realidad, no se trata de un fenómeno natural descriptible o de consecuencia directa de la lectura de indicadores ambientales. Es importante entonces puntualizar que no todos los indicadores ambientales pueden ser considerados como indicadores de la sostenibilidad. Existe sin dudas una brecha en la evaluación ambiental entre las necesidades humanas y los sistemas naturales.

Es frecuente generar confusiones acerca del intercambio entre los indicadores que describen y miden la calidad ambiental con aquellos que describen y miden la sostenibilidad. Tal consideración se basa en el reconocimiento de que un territorio sostenible es un ambiente con bajos niveles per cápita de NO₂, o de residuos, o con un producto interno elevado.

Los indicadores de la sostenibilidad no pueden referirse a aspectos ambientales, económicos y sociales singulares, puesto que es indispensable la conexión recíproca.

La medida de la sostenibilidad impone la transición de un enfoque puramente reduccionista a uno holístico, es decir el pasaje de una visión particular a una que prevea la complejidad del sistema, como la pérdida de la biodiversidad, la valoración del capital natural, el balance de gases de efecto invernadero, las cuales son componentes insustituibles del sistema.

Por lo tanto, un indicador de sostenibilidad debe necesariamente cumplir los siguientes atributos: ser sistémico y evolutivo, caracterizado por un alto número de relaciones y con el parámetro tiempo.

Durante muchos años, científicos físicos y sociales han lidiado con el problema de cómo incorporar las limitaciones de los recursos y sus contribuciones en los planteos económicos (Martinez Alier, 1987).

Con este objetivo, en los últimos años, grupos interdisciplinarios han trabajado con nuevos indicadores y metodologías, entre otras, el análisis del ciclo de vida (ACV), el análisis energético, la huella ecológica, la valoración del capital natural y de los servicios ambientales (capital natural), el análisis exergético, el análisis de datos satelitales (sensores remotos), la contabilidad ambiental entre otros.

El concepto de emergía, basado en los flujos y almacenamiento de energía, materia e información atiende al soporte de las actividades humanas que no pueden ser traducidas en dinero. El análisis emergético es un tipo de análisis termodinámico basado en el concepto de emergía solar y transformidad solar, introducido por H. Odum en los años 80, utilizado para analizar el grado de organización y la complejidad de los sistemas abiertos (sistemas que pueden intercambiar energía y materia con el exterior).

Tal enfoque consiste en la consideración de los diferentes inputs que alimentan un determinado sistema sobre la base energética común: *la energía solar*. La selección de dicha referencia se basa en que la energía solar es la energía que mueve todos los procesos que se verifican en la biosfera. La emergía mide la convergencia global de energía solar necesaria para obtener un determinado producto, o para regenerar tal producto una vez consumido, o sostener un determinado sistema. Por definición la emergía solar o emergía es la cantidad de energía solar equivalente necesaria, directa o indirectamente para

¹ Investigador Consejo Investigaciones, Docente Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño, UNR.

² Investigador Consejo Investigaciones, Docente Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño, UNR.

³ Investigador Consejo Investigaciones, Docente Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño, UNR.

⁴ Docente Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño, UNR.

obtener un producto o un flujo de energía en un determinado proceso. Evidentemente es una dimensión extensiva (dependiente de la dimensión del sistema) y su unidad de medida es Joule energético Solar (SEJ). Se puede decir que una unidad Joule de energía solar, un joule de carbón y un Joule de energía eléctrica, aún si representan la misma cantidad de energía, tienen diversa calidad, en el sentido de su potencialidad. (Odum 1988).

Pueden requerirse muchos Joules de energía de baja calidad para obtener pocos Joules de calidad más elevada, para dar una medida de la "calidad" y de la posición jerárquica de varios tipos de energía, se ha introducido el concepto de transformidad o emergía específica (SEJ/unidad), que es la cantidad de energía de un tipo necesaria para obtener un Joule de otro tipo.

Para convertir todos los inputs y flujos de energía de diverso origen que alimentan un sistema en términos de energía solar equivalente es utilizado un coeficiente de conversión denominado transformidad, que representa la emergía necesaria para obtener un determinado producto por unidad energética de producto. La transformidad, a diferencia de la emergía es de naturaleza intensiva y su unidad de medida es el sej/J.

Según Scienceman, la emergía puede ser considerada como *memoria energética*, como una memoria de toda la energía solar necesaria para soportar un cierto sistema. Este enfoque intenta trascender el análisis económico tradicional y tiene en cuenta un número de factores de mayor jerarquía, comprendidos los naturales, usualmente no contabilizados. El input energético construye el desarrollo de cada sistema en la biosfera y el crecimiento de la complejidad y biodiversidad. Lo mismo sucede con la economía humana, cuyo desarrollo está basado en input naturales, no monetarios e input del sistema económico, monetarios.

La emergía no es una función de estado termodinámico en cuanto no depende sólo de las condiciones de estado inicial y final del proceso de transformación, sino del recorrido adoptado para arribar al estado final. Se cuantifica la diversidad de los caminos recorridos, por ej. en los diversos modos de producción de electricidad, se obtienen diferentes transformidades, ya sea directamente del sol (como el sistema fotovoltaico), de la biomasa o de una central termoeléctrica.

La metodología de evaluación de la sustentabilidad empleando el sistema emergético ha sido desarrollada para introducir la consideración de la energía como base del funcionamiento de los sistemas ambientales en los análisis de políticas públicas y evaluación de alternativas. Las evaluaciones emergéticas de un sistema ambiental pueden realizarse a escala macro, independiente del tamaño o nivel de jerarquía de la organización: estado, región, ciudad o a escala microurbana, como en este caso, un edificio de oficinas.

Se ha desarrollado el cómputo de la energía base de materiales y componentes constructivos de viviendas de interés social de la ciudad de Rosario, (Perone, 1985) en el CEAH (Centro de Estudios del Ambiente Humano) de la Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño de la UNR. En esa oportunidad se constató la escasa información local específica acerca de los insumos energéticos industriales, equipos utilizados, eficiencia de procesos, medios de transporte, producción, etc. En el trabajo se analizaron los recursos naturales (energía y materia) y su grado de eficiencia, comparándose los resultados obtenidos con datos del BRE, (Energy Studies Unit, Centre Scientific et Technique du Batiment y Los Alamos Scientific Laboratory).

ANALISIS EMERGETICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS

El edificio Julia está ubicado sobre una arteria central de gran circulación vehicular de la ciudad de Rosario, Argentina (Latitud: 32° 52' 18" Sur y Longitud: 60° 36' 44" Oeste). Se desarrolla en 10 pisos, con una fachada curtain-wall y los muros medianeros de ladrillos comunes revocados. La superficie construida total es aproximadamente de 1200 m² y el volumen de 3200 m³ (Figura 1).

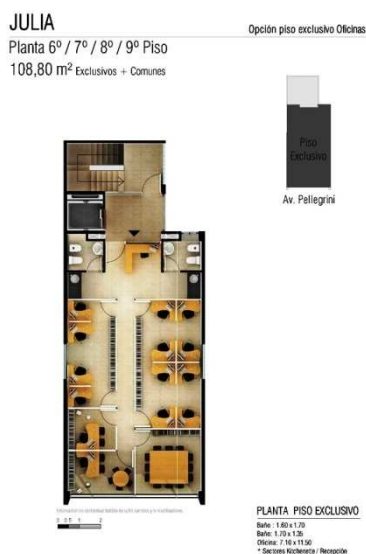


Figura 1: Planta y vista fachada

Las referencias a las transformidades utilizadas en la Tabla I corresponden a: Odum et al (2000), Simoncini (2006), Brown y Buranakan (2003), Meillard et al (2005), Bastianoni et al (2005), Ulgiati et al (2003). Los valores de emergencia específica se basan en el trabajo de Pulselli. et al, 2007, en tanto que en la bibliografía se evidencian distintos valores según se trate de sej/g y sej/J. La transformidad es una medida de eficiencia, que relaciona todos los inputs con los outputs. A menor valor de transformidad, más eficiente resulta dicha conversión.

Los flujos energéticos corresponden a los materiales utilizados para construir cada componente o parte estructural del edificio. Otros factores han sido estimados para comprender la evaluación del proceso de construcción integral, tal como la radiación solar (durante el proceso de construcción), la erosión de suelo (la pérdida de contenido de materia orgánica en el área construida se supone en promedio del orden del 3% a una profundidad de un metro), el trabajo (metabolismo humano por horas de trabajo).

RESULTADOS

Las estimaciones mencionadas son las siguientes:

Radiación solar:

La radiación solar anual para la ciudad de Rosario, Argentina es de 1.8MWh/m², equivalente a aproximadamente 6.5 x10⁹ J/m²

$$1300 \text{ m}^2 * 6.5 \cdot 10^9 \text{ J/m}^2 (1-0.2) (2 \text{ años}) = 1.3 * 10^{13} \text{ J} \quad (1)$$

Uso de suelo:

$$330 \text{ m}^3 * (1600000 \text{ g/m}^3) (0.03) (5 \text{ kcal/g}) (4186 \text{ J/Kcal}) = 3.3 * 10^{11} \text{ J} \quad (2)$$

Trabajo:

$$(125 \text{ kcal/h}) (4186 \text{ J/Kcal}) (40 \text{ horas/semana}) (50 \text{ semanas/año} * 2 \text{ años}) = 2 * 10^9 \text{ J} \quad (3)$$

Se ha computado un lapso de dos años para la construcción del edificio.

	Vol (m3)	Densidad (kg/m3)	Dato	Unidad	Transformidad o emergencia específica (sej/unidad)	Emergía (sej)	%	
Rad solar (1)			1.3*10 ¹³	J	1	1.3*10 ¹³	0.000004%	
Uso suelo (erosión) (2)			1.1*10 ¹¹	J	1.24*10 ⁵	1.36*10 ¹⁶	0.42%	
Estructura edificio							9.2%	
Tabiques	16	2400	38400	Kg	1.8*10 ¹²	7*10 ¹⁶		
Escaleras	38	2400	91200	Kg	1.8*10 ¹²	1.6*10 ¹⁷		
Ascensor	16	2400	38400	Kg	1.8*10 ¹²	7*10 ¹⁶		
Fundaciones	12	2400	28800	Kg	1.8x10 ¹²	5.1*10 ¹⁶	1.6%	
Envolvente vertical							66%	
Paredes	380	1600	608000	Kg	3*10 ¹²	1.8*10 ¹⁸		
Planos vidriados	4	2500	10000	Kg	1.4*10 ¹²	1.4*10 ¹⁶		
Revoque	39	1500	57000	Kg	3.3*10 ¹²	1.88*10 ¹⁷		
Pintura	10	1450	14500	Kg	2.55*10 ¹³	1.45*10 ¹⁷		
Cubierta y entresijos							14%	
Losas alivianadas	136	670	91120	Kg	3.68*10 ¹²	3.3*10 ¹⁷		
Piso entresijos	22	600	13200	Kg	2.4*10 ¹²	3.1*10 ¹⁶		
Cubierta azotea	18	2400	43200	Kg	1.8*10 ¹²	7.7*10 ¹⁶		
Aislación térmica	6	30	180	Kg	8.8*10 ¹²	1.6*10 ¹⁵		
Instalaciones sanitarias							8.1%	
Hormigón	29	2400	69600	Kg	1.8*10 ¹²	1.25*10 ¹⁷		
Tuberías PVC	10	1380	13800	Kg	9.8*10 ¹²	1.35*10 ¹⁷		
Trabajo (3)			2x10 ⁹	J	1.13*10 ⁵	2.26*10 ¹⁴	0.007%	
Emergía total							3.2*10¹⁸	Aprox.100%

Tabla I: Análisis energético del proceso de construcción

Valores de emergencia específica. Fuente: Pulselli R. et al. (2007)

El flujo energético para el proceso de construcción es de $3,2 \cdot 10^{18}$ sej. Este valor representa el contenido energético en un edificio que persiste durante su ciclo de vida. (Tabla I)

De la figura se desprende la incidencia de la envolvente vertical en el análisis energético. La misma representa el 66% en el proceso constructivo del edificio. La estructura portante y fundaciones representan un 11%.(Figura 2)

La erosión del suelo, en cuanto a su pérdida potencial de materia orgánica representa aproximadamente un 0.42%. Si se piensa que el potencial de materia orgánica puede estar presente a más de un metro de profundidad, en áreas fértiles, como la llanura pampeana, dicho valor se incrementa significativamente.

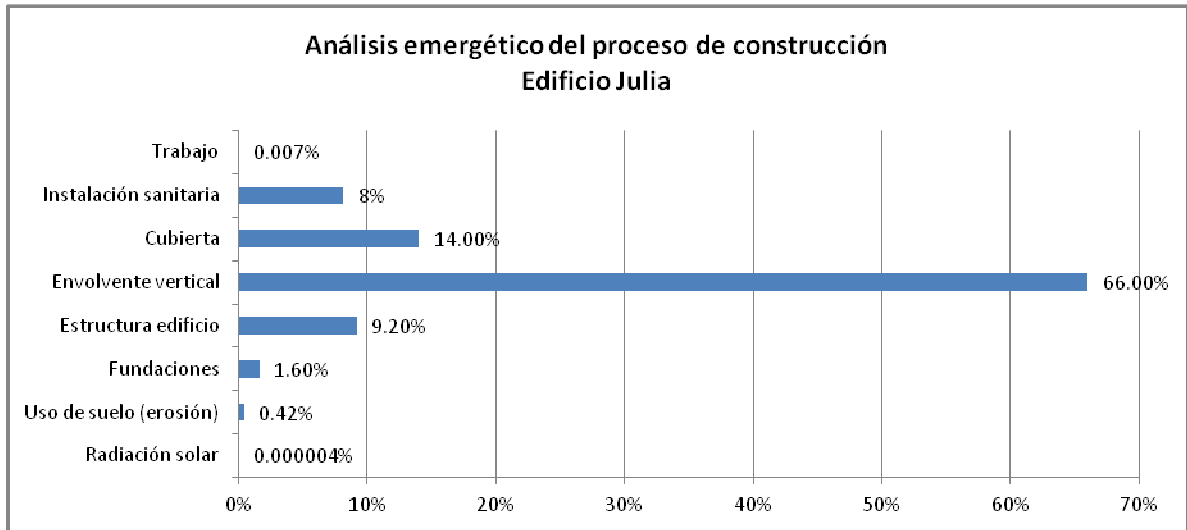


Figura 2: Porcentaje de energía

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten visualizar los “costos ambientales” lo que depende tanto de la cantidad como de la calidad (transformidad). En realidad, la misma es un indicador de la jerarquía de energía que contabiliza todos los inputs y transformaciones que ocurren en el proceso de producción, desde la materia prima hasta su forma final.

El análisis de mantenimiento del edificio permitiría visualizar que mayores ciclos de vida pueden corresponder a menores flujos energéticos anuales correspondientes al proceso de construcción. Si se previera una inversión energética para mejorar la envolvente del edificio, (en términos de incremento de la resistencia térmica y sistemas pasivos de ventilación), los efectos se evidenciarían en las fases de uso y mantenimiento considerando un ciclo de vida útil de 50 años.

La síntesis energética es una alternativa holística para el diseño de toma de decisiones ambientalmente consciente. Esta metodología, podría aplicarse en distintas escalas, de allí su utilidad para evaluar edificios, conjuntos, sectores urbanos para monitorear las decisiones proyectuales y sus impactos ambientales. Es una herramienta con un alto grado de síntesis, para medir la sustentabilidad del sistema construido, no obstante necesita integrarlo a otros indicadores ambientales.

La selección de materiales y los métodos constructivos pueden variar significativamente la cantidad de energía incorporada en la estructura del edificio. El contenido de energía incorporada varía significativamente entre productos y materiales.

El consumo de la energía operacional depende de los ocupantes del edificio, de los hábitos comportamentales, de la materialidad constructiva, de los sistemas acondicionamiento higrotérmico, lumínico, servicios, equipamiento, etc.

La energía incorporada no depende de la ocupación. El contenido de energía incorporada ocurre una vez (aparte del mantenimiento y renovación) mientras que la energía operacional se acumula a través del tiempo y puede estar influenciada a lo largo de la vida del edificio.

REFERENCIAS

- Brown, M.T. and Ulgiati, S. (2004). “Energy and environmental accounting.” In C. Cleveland. (ed) Encyclopedia of Energy. Elsevier. New York.
- Campbell D, Brandt-Williams S, Meisch M. “Environmental Accounting Using Emery: Evaluation of the State of West Virginia.” <http://www.epa.gov/aed/research/EnvAcctTechRept.pdf>
- Coldham & Hartman Archs. “(Embodied) Energy in residential Building Construction”. http://www.coldhamandhartman.com/upload/documents/Embodied_Energy.pdf
- Martínez Alier, J. Schüppmann, K. (1987) “Ecological Economics: Energy, Environment and Society”. Basil Blackwell, Oxford (Gran Bretaña) – ISBN: 0-631-15739-5

- Perone D y Vazquez J. (1985). "Estudio económico energético del confort térmico luminoso", Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología, CONICET.
- Pulselli R, Simoncini E, Pulselli F. y Bastionini S. (2007). "Emergy analysis of building manufacturing, maintenance and use: Em-building indices to evaluate housing sustainability". *Energy and Buildings* 39, 620-628, Ed. Elsevier.
- Scienceman, D. M. (1987). "Energy and emergy." En: Pillet, G. & T. Murota (eds.) *Environmental Economics: The Analysis of a Major Interface* R. Leimgruber, Ginebra.
- Odum, H. T. & E. C. Odum. (1981). "Energy basis for man and nature". 2da. edic. McGraw-Hill, Inc., Nueva York.
- Odum, H. T. (1996). "Environmental accounting: emergy and environmental decision making". John Wiley & Sons, Nueva York.
- Ortega, E.; Miller, M; Anami, M. H.; Copa, E.; Beskow, P. R.; Margarido, L. A. y Guimaraes, A. K. (2000) "Manual de Cálculo de Emergía." <http://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/manual.htm> (revisado julio 2004)

ABSTRACT

Design processes based on "green buildings" as sustainability standards have been widespread in the last years. However, integral indicators are required to assess buildings performance, basically because construction is closely related with fossil fuels consumption, materials overexploitation, resources depletion and energy waste.

In this paper, an emergy analysis of an office building located in Rosario, Argentina, is presented aiming to account for energy and materials inflows involved in construction process. The results obtained represent "environmental building construction" so as to evaluate technologies and materials and to provide useful data on buildings environmental sustainability.

Keywords: emergy analysis, indicators, construction, buildings, sustainability