

Gustavo Rodríguez, Arquitecto Instituto de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Austral de Chile.

## EL IMPACTO DE LA ENSEÑANZA DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA ARQUITECTURA Y EL URBANISMO<sup>1</sup>

En este primer número de la revista de nuestro Instituto cabe poner en valor la coherencia entre el conocimiento, la construcción intelectual, la investigación y la acción profesional y académica de cada proyecto surgido de nuestras aulas y que se manifiesta en una creación de Sostenibilidad.

El concepto de Desarrollo Sostenible acuñado en el Informe Brundtland<sup>2</sup> (Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo, ONU, 1987), caracteriza la actuación de nuestra sociedad en los ámbitos social, económico y ambiental, y por consiguiente, afecta y condiciona la respuesta arquitectónica y urbanística que se desarrollará en el siglo XXI.

Como arquitectos damos forma a modelos y espacios habitables que se insertan en el medio natural y que condicionan la relación con éste, creando instancias para la correspondencia social-comunicativa, la actividad productiva y/o recreativa. También con nuestra acción edificada establecemos la calidad y el uso que damos a los recursos naturales y artificiales determinando las tecnologías de que disponemos para ello.

En este contexto cabe cuestionarse el real aporte que tendrán profesionales -arquitectos y urbanistas- con este "sello sostenible" y que cualitativamente los distingane de los egresados de una enseñanza tradicional de la arquitectura y el urbanismo.

De este modo surgen las preguntas que dan pie al presente artículo: ¿Cuál es el impacto de la sostenibilidad en la arquitectura? ¿Es posible valorar o cuantificar el uso de criterios de sostenibilidad?, y ¿Qué unidad podemos utilizar para medir sus efectos?

### Una Unidad de Impacto Ambiental

Para acercarse a la resolución de estas interrogantes, empezamos por definir a la Energía como una unidad válida que permite medir un impacto ambiental, ya que ella está presente en la mayoría de los procesos sociales, económicos y ambientales generados al edificar, habitar y utilizar las obras arquitectónicas y urbanísticas.

A continuación, se dan cuenta las relaciones básicas<sup>3</sup> de la energía y la relación entre consumo de ésta y cantidad de CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera como resultado de repercusiones directas e indirectas en el medio ambiente por la utilización de dicho tipo de energía:

1 Joule = 1 kg m<sup>2</sup>/seg<sup>2</sup>

1 MegaJoule = 1.000 kJoule = 1.000.000 J

1 litro gasolina = 40 MJ genera 3 kg CO<sub>2</sub>

1 Watt = 1 J/seg

1 Wh = 3.600 J = 3,6 kJ

1 kWh = 3,6 MJ

1 ampolleta 100 W funcionando 10 horas = 1 kWh = 3,6 MJ genera 0,5 kg CO<sub>2</sub>

En todo proceso constructivo, desde la simple elección de los materiales con los cuales se forjará físicamente la obra, se va incorporado un consumo energético a la propia elaboración del material (transporte, materias primas, otros materiales o compuestos asociados), y que puede ser cuantificado a partir de su respectivo Análisis de Ciclo de

Vida (ACV). Ver Tabla 1.

Acero	43,0 MJ/kg	Pintura Esmalte	100,0 MJ/kg
Albañilería	2,8 MJ/kg	Pintura Plástica	20,0 MJ/kg
Aluminio	160,0 MJ/kg	Poliestireno Expandido	100,0 MJ/kg
Áridos	0,1 MJ/kg	Polietileno	75,0 MJ/kg
Asfalto	10,0 MJ/kg	Poliuretano	70,0 MJ/kg
Cemento Portland	7,2 MJ/kg	PVC	80,0 MJ/kg
Cobre	90,0 MJ/kg	Tablero Aglomerado	14,0 MJ/kg
Madera	3,0 MJ/kg	Tablero Contrachapado	5,0 MJ/kg
Neopreno	120,0 MJ/kg	Vidrio	19,0 MJ/kg

Tabla 1. Energía contenida en la producción de materiales según ACV<sup>4</sup>

De manera de hacer patente la problemática del impacto ambiental de la arquitectura respecto a su condición de sostenibilidad, aplicaremos un análisis energético a diversas tipologías arquitectónicas tradicionales. Como contraparte a éstas, sometemos el mismo proceso a un proyecto arquitectónico concebido a partir de estrategias ecológicas, materializadas a través de criterios bioclimáticos de diseño arquitectónico.

### El Edificio Autónomo

Un edificio de energía "cero" incorpora desde su concepción criterios que optimicen los recursos disponibles: estrategias pasivas y activas, que conllevan un riguroso estudio y manejo de los recursos locales presentes en el lugar de intervención (clima, emplazamiento, agua lluvia, energía solar y vientos). (Ver esquemas y fotos).

Dentro de las características materiales del proyecto de edificio autónomo, que aquí utilizaremos como ejemplo, se consideraron las siguientes premisas: reciclabilidad, material reciclado, y/o reincorporable a futuros procesos constructivos o productivos; con bajo grado de emisión de agentes tóxicos (en el uso y la producción); de fabricación y montaje en seco (con la menor mezcla de materiales); modular, provocando la mínima cantidad de residuos en obra; materiales de

origen local, prescindiendo de los gastos e impactos energéticos y contaminantes generados por el transporte desde puntos lejanos; entre otras características que responden a un problema arquitectónico puntual, pero que reflexiona y proyecta una solución integral interrelacionando factores diversos desde una perspectiva ecológica. Al aplicar el análisis energético a esta edificación se establece además una relación de proporción respecto a los materiales utilizados, calculando el peso asociado a cada uno de éstos con un porcentaje respecto al total del edificio. Este dato nos permitirá posteriormente compararlo con otras tipologías. Ver Tabla 2.

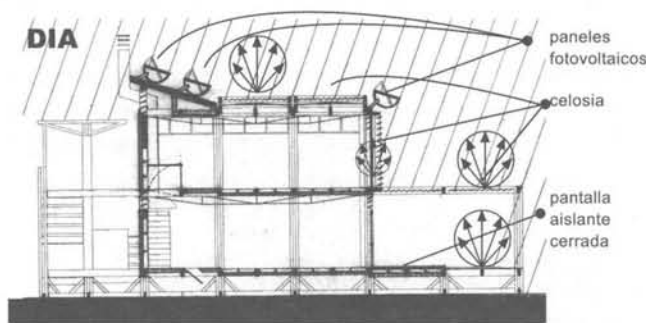
Material	peso (kg)	% total	MJ/kg	Energía (MJ)	% total
madera	22.259,21	32,27	3,00	66.777,64	15,03
vidrio	6.723,86	9,75	19,00	127.753,34	28,75
tablero yeso cartón	6.270,00	9,09	14,00	87.780,00	19,75
cartón corrugado	5.802,29	8,41	5,00	29.011,44	6,53
acero inoxidable (100% reciclado)	2.314,42	3,36	17,00	39.345,07	8,85
acero + galvanizado	1.763,42	2,56	35,00	61.719,84	13,89
linóleo	1.564,32	2,27	5,00	7.821,60	1,76
polietileno (PE)	24,88	0,04	77,00	1.915,87	0,43
agua	22.254,00	32,26	1,00	22.254,00	5,01
Totales	68.976,40	100,00		444.378,80	100,00

<b>Total m2 edificio</b>	200,41	<b>Total kg/m2</b>	344,18	<b>Total MJ/m2</b>	2.217,39
--------------------------	--------	--------------------	--------	--------------------	----------

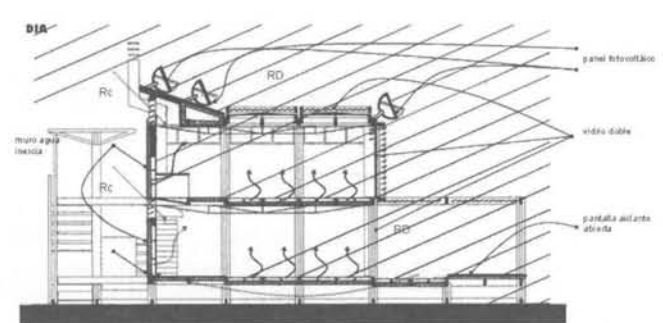
Tabla 2. Energía y peso asociado a la materialidad de un edificio autónomo<sup>5</sup>.

### Valoración Energética de Tipologías Arquitectónicas.

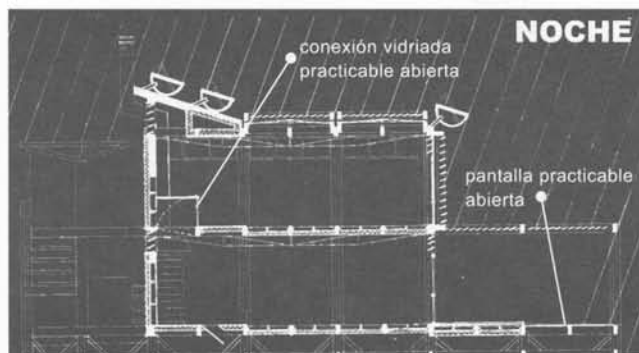
Al comparar los resultados anteriores con la energía contenida en la construcción de algunas de las tipologías arquitectónicas<sup>6</sup> habituales (Ver Tabla 3), se observa que los métodos más tradicionales y "antiguos" llevan incorporado un menor impacto energético en su construcción (construcción en abobe o piedra). Esto se debe principalmente a que en su proceso utilizan materiales locales de bajo valor energético asociado a su elaboración y transporte, y al manejo de sistemas constructivos y mano de obra poco tecnificada.



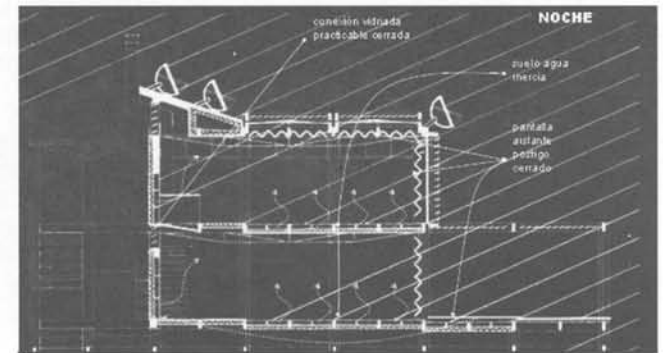
Funcionamiento Verano / Diurno



Funcionamiento Invierno / Diurno



Funcionamiento Verano / Nocturno



Funcionamiento Invierno / Nocturno

TIPOLOGIA	PESO	ENERGÍA CONSTRUCCIÓN
Casa de Campo (adobe y/o piedra)	971 kg/m2	305 MJ/m2
Edificio Albañilería	706 kg/m2	1706 MJ/m2
Edificio de Acero y Vidrio	336 kg/m2	1924 MJ/m2
Edificio Hormigón Armado	1120 kg/m2	1946 MJ/m2
Edificio Autónomo (Sostenible)	344 kg/m2	2217 MJ/m2

Tabla 3. Energía contenida en la construcción por tipologías.

Por el contrario, el edificio de “concepción sostenible” aparece como el que posee mayor gasto energético asociado a su construcción. Sin embargo, este valor sólo considera una parte de la energía total involucrada en el ciclo de vida de la edificación. Por lo tanto no valora criterios como: gestión del agua lluvia para su depuración, utilización, reutilización y tratamiento de aguas servidas; aprovechamiento de las condiciones naturales de ventilación, soleamiento e iluminación; uso de materiales reciclables; bajo consumo energético eléctrico; calefacción y enfriamiento pasivo solar; autogeneración energética eléctrica, agua caliente y biogás; gestión de residuos orgánicos; entre otras características. Entonces, ¿se puede medir el impacto de estas cualidades?

Es así, como otro dato a ser considerado para una sostenibilidad de un edificio, es la condición de energía gastada en el uso -durante la vida útil- de cada tipo de edificación. Los factores considerados para el cálculo del uso total son los servicios (cocina, agua caliente y electricidad) y el costo de calefacción. Ver Tabla 4.\*

Tipología	Calefacción	Servicios*	Uso total
Casa de Campo	270 MJ/m2	230 MJ/m2	500 MJ/m2
Edificio Albañilería	338 MJ/m2	230 MJ/m2	568 MJ/m2
Edificio de Acero y Vidrio	335 MJ/m2	230 MJ/m2	565 MJ/m2
Edificio Hormigón Armado	199 MJ/m2	230 MJ/m2	429 MJ/m2
Edificio Autónomo (Sostenible)	0 MJ/m2	0 MJ/m2	0 MJ/m2

Tabla 4. Energía contenida en el uso de la edificación.

\*Estándar Consumo Anual = cocina + agua caliente + electricidad

Al considerar una vida útil media de 30 años para un edificio, y al sumar uso más energía asociada a su construcción, podemos obtener un total (estimativo) de la energía que gasta una edificación. Ver Tabla 5. \* Vida útil 30 años para edificación.

Tipología	Construcción	Uso*	Total
Casa de Campo	305 MJ/m2	15000 MJ/m2	15305 MJ/m2
Edificio Albañilería	1706 MJ/m2	17040 MJ/m2	18746 MJ/m2
Edificio de Acero y Vidrio	1924 MJ/m2	16950 MJ/m2	18874 MJ/m2
Edificio Hormigón Armado	1946 MJ/m2	12870 MJ/m2	14816 MJ/m2
Edificio Autónomo (Sostenible)	2217 MJ/m2	0 MJ/m2	2217 MJ/m2

Tabla 5. Energía contenida en la arquitectura.

Al analizar separadamente los valores de construcción y uso, podemos comprobar que la mayor cantidad de energía consumida en la vida útil de una edificación se realiza en los años de funcionamiento de los edificios. Esta comparación revela y nos aproxima más a un verdadero impacto energético de la construcción y la arquitectura.

Entonces, ¿Cuál podría ser el verdadero impacto asociado al ejercicio de la arquitectura? ¿Cuál es el impacto de la enseñanza de la arquitectura sostenible respecto a una formación tradicional?

Según nuestro análisis de energía asociada por obra de arquitectura, podemos aproximarnos a calcular la energía contenida en el ejercicio de la arquitectura. Ver Tabla 6.

Escuelas de Arquitectura en Chile	= 31 escuelas
UACH arquitectos titulados	= 20 arquitectos año
Total arquitectos titulados al año	= 620 arquitectos año
Tiempo de ejercicio profesión	= 30 años
500 m2 construidos año por arquitecto	= 15.000 m2 /arquitecto
m2/arquitecto x 720 arquitectos (p/ generación recibida)	= 9.300.000 m2

Tabla 6. Cálculo Energía contenida en el Ejercicio de la Arquitectura<sup>9</sup>

Con una media de 20 estudiantes de arquitectura titulados anualmente<sup>7</sup> por escuela y considerando un total de 31 escuelas de arquitectura en Chile<sup>8</sup>, el cálculo arroja un total de 620 arquitectos por generación. Por otra parte -y para efectos de poder establecer una comparación-, estimamos una vida profesional media de 30 años de labor, suponiendo una media de 500 m2 construidos al año por arquitecto. Estos datos arrojan un total de 15.000 metros cuadrados construidos durante toda la vida profesional y que por generación contabilizan 9.300.000 metros cuadrados.

Solsticio de invierno.

Solsticio de verano.



Finalmente, para cuantificar el impacto de una Enseñanza de la Arquitectura con bases en la Sostenibilidad consideramos dos datos a ser comparados: primero, la energía asociada por superficie edificada de una tipología de arquitectura producto de una enseñanza tradicional de la arquitectura; segundo, el impacto asociado a una arquitectura producto de una formación en criterios de sostenibilidad. Ver Tabla 7.

Arquitectura Tradicional	14816 MJ/m <sup>2</sup>	x 9.300.000 m <sup>2</sup>
Arquitectura Sostenible	2217 MJ/m <sup>2</sup>	x 9.300.000 m <sup>2</sup>
Arquitectura Tradicional	137.788.800.000 MJ /3,6	= 38.274.666.666 kWh
Arquitectura Sostenible	20.618.100.000 MJ /3,6	= 5.727.250.000 kWh
Recordemos que 1 kWh = 0,5 kg de CO <sub>2</sub> emitidos a la atmósfera		
Arquitectura Tradicional	19.137.333.333 kg CO <sub>2</sub>	= 19.137.333 ton CO <sub>2</sub>
Arquitectura Sostenible	2.863.625.000 kg CO <sub>2</sub>	= 2.863.625 ton CO <sub>2</sub>

Tabla 7. Impacto de la Enseñanza de la Arquitectura<sup>10</sup>

## AUS: Arquitectura, Urbanismo y Sostenibilidad

Los resultados arrojan una diferencia de 6,7 veces mayor costo ambiental de una arquitectura de tipología tradicional versus una obra que proyecte con una visión sostenible; lo que se traduce no sólo en la eficiencia de los edificios, el consumo de recursos energéticos y costos económicos por gasto en combustible, sino además, en la cantidad de contaminantes que son eliminados a la atmósfera y que afectan a la sostenibilidad planetaria.

De los cálculos podemos concluir, que los valores totales del gasto energético (construcción + uso), dan cuenta de un impacto producido

por las condiciones del habitar la edificación. Esto se manifiesta en mayor grado en las tipologías que poseen una menor eficiencia energética, baja disponibilidad de iluminación, ventilación y calefacción por las propias características arquitectónicas de la obra. Sin embargo, quedan valorados, los factores positivos de un proyecto concebido con materiales del lugar, con tecnologías e impactos controlados y asociados en gran medida a una arquitectura vernácula o tradicional -que se debe estudiar-. Todas ellas, consideraciones que contribuyen sin duda en la realización de proyectos más sostenibles.

De la comparación entre tipologías se desprende la relevancia de construir con una visión integral de sostenibilidad, que puede considerar un "costo ambiental" inicial moderado, que se amortiza considerablemente en el período de tiempo en que el edificio cumple su vida útil.

Por otra parte -con todas sus limitaciones y omisiones- el trabajo ha tratado de aproximarse a la valoración y distinción que conlleva una enseñanza transversal basada en el concepto de sostenibilidad, aplicado al diseño arquitectónico y la planificación urbana. A través de conocimientos, técnicas, herramientas y metodologías que aporten a la construcción de un pensar integral y que sin duda distinguirá cualitativamente una acción profesional posterior.

Esta cualidad nos compromete y responsabiliza en la formación de los estudiantes de la carrera de Arquitectura de la UACH, desde una realidad profesional, académica e investigativa compleja, que nos enfrenta a grandes desafíos, aportando en la creación de nuevos modelos capaces de imaginar, proyectar y desarrollar las obras, las técnicas y la ciudad del siglo XXI.

## Referencias

1\_Basado en la Exposición titulada "Nuevos Desafíos en la Educación sobre Edificación y Energía. Sostenibilidad y Arquitectura", por Gustavo Rodríguez J. y Alex Becker R., Arquitectos, académicos del Instituto de Arquitectura y Urbanismo UACH, Seminario Vivienda Eficiente y Energía de Biomasa. Temuco, Mayo 2004.

2\_Informe Brundtland, Nuestro Futuro Común, Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas, 1987. Definición: "El Desarrollo Sostenible es aquel que resuelve las necesidades del presente sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras de resolver sus propias necesidades."

3\_Fuente: Informe MIES. Una aproximación al impacto ambiental de la Escuela de Arquitectura del Vallés. Bases para una Política Ambiental en la ETSAV. Albert Cuchí, profesor del Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la UPC, e Isaac López Caballero, estudiante.

4\_Fuente: Guía de la Edificación Sostenible 1999, Barcelona, España.

5\_Proyecto "Edificio Autónomo Módulo de Servicios Pub-Restaurant, Plaza

Forum Barcelona 2004". Arquitectos: Gustavo Rodríguez J., Alex Becker R. Estudio del Programa de doctorado en Ámbitos de Investigación en la Energía y el Medio Ambiente en la Arquitectura. ETSAB. Universidad Politécnica de Cataluña, diciembre 2001, Barcelona.

6\_Fuente: La Enseñanza de la Arquitectura y del Medio Ambiente. Programa LIFE.1996, Barcelona, España.

7\_La Escuela de Arquitectura de la UACH tituló su primera generación el 2005 con un total aproximado de 20 estudiantes.

8\_Curiosamente el dato del total de Escuelas de Arquitectura no lo pudimos obtener del sitio web del Ministerio de Educación. El listado de 31 instituciones consideradas, sólo incluye universidades que imparten Arquitectura el año 2005. Se excluyen 6 carreras técnicas vinculadas con la arquitectura de menos de 10 semestres de duración. <http://alternativas.mercurio.cl/busqueda/carreras/listado/index.asp>

9\_Fuente: Elaboración propia.

10\_Fuente: Elaboración propia.