

SUSTENTABILIDAD RELATIVA. COSTOS AMBIENTALES DE CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO

Un caso demostrativo de análisis: Uso de arcillas del horizonte “a”

Elio Ricardo Di Bernardo*

**Centro de Estudios del Ambiente Humano. Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño.
Consejo de Investigaciones. Universidad Nacional de Rosario
Riobamba 220 bis 2000 Rosario. TE 0341 4808531 al 35 Email: ediberna@agatha.unr.edu.ar**

RESUMEN. En el trabajo se analiza la eficiencia ambiental de la transformación de la materia en un material para la producción del hábitat y, la eficiencia ambiental de funcionamiento de éste material ya integrado en la tecnoestructura, en comparación con otros procesos productivos. La comparación se realiza a partir de un material de larga tradición y de fuerte aceptación y estatus en diferentes niveles sociales: el denominado “ladrillo común”. Se considera el impacto en el horizonte “a” del soporte natural, responsable de la producción de biomasa como dimensión esencial de la *sustentabilidad fuerte global* del planeta. Se propone la función de eficiencia ambiental del hábitat, como medida de la *sustentabilidad relativa*, a partir de reconocer la dificultad, cuando no la imposibilidad, de la *sustentabilidad fuerte parcial*. Se sugiere profundizar el estudio de las posibilidades ambientales de los sistemas constructivos “finos, livianos e impermeables” por oposición a los “gruesos, pesados y porosos”.

PALABRAS CLAVE. Sustentabilidad relativa parcial – eficiencia ambiental – hábitat.

INTRODUCCIÓN

El análisis de la eficiencia ambiental de las tecnoestructuras, nos lleva de la materia, a los materiales, a los componentes y de estos a su montaje, hasta el final de la vida útil de la misma, y finalmente a la disposición final de los residuos de la demolición. Este proceso utiliza un continuo y variado flujo de energía. Todo este transcurso debe evaluarse en el contexto del impacto producido sobre el soporte natural, considerando la resiliencia o poliestabilidad (positiva o negativa) del mismo. Las arcillas ocupan un papel preponderante en la producción del hábitat y no por aprovecharse, cuando es el caso, como un material local, resultan más sustentables que otros materiales denominados no locales. El análisis del ciclo de vida por resultar un análisis de economía ecológica, incluye un alto grado de incommensurabilidad en la adjudicación de valor, lo que no significa que no pueda realizarse un análisis racional, lo que no se puede obtener es un óptimo crematístico.

La denominación “Desarrollo Sustentable” fue acuñada para reemplazar el concepto de “Ecodesarrollo”, propuesto en la “reunión de Cocoyoc” (Cuernavaca), con el fin de subordinar el desarrollo económico futuro dentro de los márgenes del modelo de economía de mercado. El término “sustentable” se extendió a todos los ámbitos del uso cotidiano, transformándose en una suerte de “conjuro mágico”, que con su sola mención resuelve todos los problemas de la sociedad vinculados al uso racional de los recursos y a la adecuada distribución de los mismos entre fines alternativos.

Toda acción antrópica, de envergadura suficiente al soporte natural en que se asienta, produce un impacto de mayor o menor medida, por lo que en un análisis suficientemente abarcativo, el problema de la sustentabilidad relativa del hábitat debe medirse en función de su Eficiencia Ambiental (EAH). Ésta es función de la optimización ambiental de los costos de construcción (CAC), de funcionamiento (CAF), de mantenimiento y rehabilitación (CAMyR), de demolición y reciclado (CADyR), de la vida útil (VU) y de la satisfacción residencial (SR).

$$\text{EAH} = f(\text{CAC}, \text{CAF}, \text{CAMyR}, \text{CADyR}, \text{VU}, \text{SR})^1$$

La optimización ambiental implica optimizar los *flujos de energía*, contemplando las distintas calidades y/o renovabilidad de la misma, y los *ciclos (flujos) de materia* en el contexto de los correspondientes impactos sobre el soporte natural (incluida la atmósfera), contemplando la resiliencia y/o poliestabilidad positiva (o negativa) del mismo. De esta manera se puede determinar el grado de transformación que puede resultar compatible con su mantenimiento.

* Profesor Titular Dedicación Exclusiva. Docente Investigador Categoría 1. Miembro de la Carrera de Investigador Científico de la UNR. Director del Centro de Estudios del Ambiente Humano. Director de la Maestría en Sistemas Ambientales Humanos, acreditada y categorizada por CONEAU Muy Buena Bn. Centro de Estudios Interdisciplinarios (CEI) UNR:

¹ Elio Di Bernardo. Tesis Doctoral: “Indagaciones sobre el problema de la arquitectura sustentable. Precisiones sobre los flujos de energía, materia e información. Optimización ambiental de los mismos”.

DESARROLLO

Es importante destacar que el concepto de costo supone una superación de la *dimensión crematística* clásica de la economía de mercado y se ubica en el continente de la *economía ecológica* que propone la interacción de la economía capitalista con las leyes de la ecología, que explican el funcionamiento de la naturaleza, y con las leyes de la termodinámica, que aluden a la base energética de la sociedad.

Dentro del universo de los costos ambientales de construcción (CAC) se analizará la eficiencia ambiental de la utilización de la materia contenida en el horizonte edáfico “a”, para la producción de un material de arcilla cocida denominada vulgarmente “ladrillo común”. Este material es un ejemplo interesante por las facetas que presenta, entre otros aspectos, al decapitar en extenso amplias zonas que pueden estar destinadas a otras actividades productivas, esencialmente vinculadas a la producción de biomasa para una población mundial amenazadoramente creciente. Se hace hincapié en el conjunto de problemas que implica el enfoque ambiental, necesariamente holístico como relación de las partes, que nos lleva a introducir variables niveles de incommensurabilidad.

Construcción de la tradición

Esta tradición y costumbre del uso del ladrillo se fundamenta en un largo proceso que se remonta a mucho tiempo atrás, existiendo evidencias de la construcción en adobe hace 8500 años. El Zíurat de Ur (2800 AC) estaba construido en adobe revestido en ladrillos cocidos. En zonas con disponibilidad de arcillas la tarea más simple consistía en ir desmontando la superficie del suelo con la que se construían los adobes. En zonas de gran amplitud térmica diaria, la masa térmica del adobe funcionaba muy bien atemperando interiormente las oscilaciones de la temperatura exterior. Generalmente estas zonas, por su características climáticas, tenían pocas lluvias, por lo que el adobe, al no modificar continuamente su tenor de humedad se comportaba muy bien, incluso al terminar la vida útil del edificio, la mayor parte del mismo, que estaba construido en tierra, se disolvía en el lugar, particularidad muy apreciada hoy por muchos “ecologistas”.

Al descubrirse los cambios ocurridos en la tierra, cuando la misma se cocinaba, se extendió su uso a zonas con otros niveles de precipitaciones pluviales. Al mismo tiempo que el ladrillo mantenía sus condiciones de uniformidad y características dimensionales con la cocción, mejoró sus condiciones de resistencia mecánica a la compresión. La materia orgánica introducida en el proceso de fabricación y que ayuda a la cocción “artesanal”, al quemarse dejaba suficiente porosidad para mejorar su resistividad térmica. Así el ladrillo mejoró su condición de resistencia mecánica y térmica con la cocción. La utilización de la materia del lugar evitaba largos transportes con las complicaciones y costos consiguientes, es así que esta tradición ha quedado tan arraigada que muchas evaluaciones actuales consideran esto, en un análisis muy simplificado, como una condición innata de sustentabilidad.

Producción y fabricación de ladrillos

La utilización de las arcillas en la construcción del hábitat forma parte de uno de los insumos más importantes. Esta tierra ya sea de la capa fértil correspondiente a los horizontes “a” y parte del “b”, o bien de horizontes más profundos, puede estar cruda o sometida a un proceso de cocción. El proceso de cocción del ladrillo “común”, se realiza generalmente con leña o carbón de origen vegetal en hornos denominados hormigueros, aumentando la temperatura varios cientos de grados. Es así como se “produce la fusión de las partículas que lo componen, dando lugar a la cementación potente y permanente, que proporciona a la arcilla las características de un material sólido” (Terzaghi, R. 1955). En este tipo de horno generalmente los gases son reductores, es decir deficientes en oxígeno, así habrá un contenido notable de óxido de carbono, que lógicamente escapará al exterior, sin ningún control, aportando gases de efecto invernadero. Todo este proceso absolutamente artesanal está vinculado fuertemente a las condiciones del clima, donde, debido a las diferentes condiciones de la cocción y dada la posición relativa de los ladrillos con relación al fuego, se obtienen piezas de características diferentes. Por estos motivos puede darse un desperdicio del orden del 10% y un 10% de defectuosos y rotos, solo dos terceras partes de los ladrillos son totalmente aceptables (Reverte, P 1970).

Dimensión del impacto sobre el soporte natural. Cantidad de materia y energía

Después de la decapitación, queda el suelo con una falta de capacidad productiva (en tiempos geo-generacionales) tanto por la carencia de nutrientes, como por el carácter arcilloso del horizonte “b”.² (Morello et al. 2001) debemos agregar a esto la alteración de las escorrentías superficiales y la pérdida de diversidad concomitante con múltiples servicios ambientales. Como ya expresamos, el análisis del problema tiene un alto grado de incommensurabilidad, que no se resuelve con una única y simple comparación energética. Este análisis energético, que puede resultar engañoso por la simplificación del problema, al aparentar ser de *comparabilidad fuerte*, debe ir acompañado de una discusión razonada que incluya a la totalidad del mismo.

El consumo de tierras depende del tamaño del ladrillo y de la densidad relativa de los mismos que puede ser del orden de 1.6 a 1.9 Kg/dm³ siendo la tierra del horizonte “a” del orden de 1,45 Kg/dm³. Si el análisis se realiza por volumen debemos tener en cuenta el encogimiento de las piezas durante la cocción que podemos estimar del orden del 10%.

² Muchos de los suelos de la Pampa Ondulada son Argiudoles o Brunizen con horizonte “b” textural formados sobre sedimentos loessicos de textura francolimosa. Tienen un horizonte “a” de 30 centímetros de profundidad, seguidos de un horizonte b2 textural (b2t) arcillo limoso o franco arcillo limoso que varía en su espesor de 40 a 70 centímetros. El alto contenido de arcilla de “b” lo hace de baja permeabilidad y difícil crecimiento radicular. Senigaliesi et al., 1997, citado en (Morello et al 2001). Esto demuestra la incapacidad productiva del suelo después de la decapitación.

Según Reverté (op. cit) en los ladrillos macizos solo el 65% a 70% se aprovechan después de la selección, pero tomando en cuenta un desperdicio de solo el 25%, la cantidad de tierra utilizada para la producción oscila entre 2,3 y 2,8 m³ cada 1000 ladrillos. Si el espesor de tierra del horizonte "a" extraída es del orden de los 0.40 m, la decapitación fluctúa entre 5,7 y 7,0 m² cada 1000 ladrillos. Si en una vivienda de 80 m² de superficie cubierta se puede consumir unos 20.000 ladrillos la decapitación de suelo fértil para construirla es del orden de 115 a 140 m², es decir superior a la superficie cubierta de la vivienda. Si la vivienda está ocupada por 4 ó 5 personas el consumo de suelo por persona puede ser entre 23 a 35 m²/persona.

En principio, la ciudad avanza sobre áreas decapitadas con lo que va cubriendo cavas de anteriores ladrillerías, muchas de las cuales han servido para construir viviendas ya demolidas, a pesar de esto, en el área metropolitana de la ciudad de Buenos Aires, se ha podido constatar en el año 1997, a través de fotografías aéreas, una superficie de decapitación superior a las 21.000 Has (Cappi et Alt. 2002), integrada por un sinnúmero de "parches". Este proceso se va realizando fundamentalmente sobre las áreas del periurbano que soportan una fuerte agresión ambiental de todo orden (Biasatti et al.2002). Si extendemos el razonamiento a la población que vive en la región de la Pampa Ondulada la superficie decapitada puede llegar a las 27.000 Has. La Pampa Ondulada es una de las seis sub-regiones ecológicas que se reconocen dentro de la Pampa, tiene 4.4 millones de hectáreas y aloja en ciudades de más de 20.000 habitantes una población de 13.700.000 habitantes. Dentro de la propia Pampa el modelo de distribución de la población es fuertemente selectivo ya que la sub-región ondulada alberga casi el 80% de toda la población urbana pampeana, lo que significa el 56% del total argentino (Morello, J, Rodríguez, A. 2001).

Esta superficie decapitada en el gran Buenos Aires significa el 0,6% del total de la superficie, que se suma a otras áreas decapitadas, erosionadas y a todas las otras superficies substraídas de la actividad fotosintética y dedicadas a sostén de tecnoestructuras. Cuanto de importante es esto, es una medida difícil de establecer en valores absolutos, menos aún en términos crematísticos. Se puede argumentar que con la superficie disponible de la Pampa Ondulada esto no es significativo, pero no olvidemos el desafío de sostener con la producción de biomasa a la creciente población del mundo, quizás el aspecto más importante de la *sustentabilidad fuerte global*. Además la biomasa resulta el primer eslabón, sobre la que se funda la cadena trófica de la biodiversidad. Sobre la base de esta superficie decapitada en la Pampa ondulada (27.000 Has), mediante un cultivo de carácter orgánico (reciclado de nutrientes, rotación y complementación de cultivos, control cruzado de plagas), de menor rendimiento energético aparente que la agricultura subsidiada de la revolución verde, se puede abastecer a más de 7,5 millones de personas, de todas las hortalizas y verduras necesarias.

El consumo de energía para la producción del ladrillo común puede reducirse al consumo de cocción, descontando que el desmonte del suelo y el mezclado del barro se hacen con energía animal. Si se emplean máquinas, camiones y tractores para desmontar, transportar y mezclar debemos agregar estos consumos energéticos al de cocción. Los combustibles utilizados son de diferente naturaleza y calidad, para los movimientos mecánicos se utilizan hidrocarburos y para el "quemado" del horno, dada la naturaleza del mismo, leña o carbón vegetal. Debemos agregar a este análisis el impacto de la emisión de gases de efecto invernadero. Según Reverté (op. cit.) la cocción en hornos hormigueros insume aproximadamente de 180 a 200 Kg. de carbón de hulla por cada 1000 ladrillos, si se usa leña, según el poder calorífico de la misma, se utilizarían 600 Kg. por cada 1000 ladrillos, es decir 1m³ neto de leña.

En el caso del ladrillo común el contenido energético del mismo, sin incluir la energía de extracción de la tierra, es del orden de 1,3 MJ/u a 2,3 MJ/u, es decir de 0,43 a 0.76 MJ/Kg., considerando un peso de 3Kg./u.³ Este resultado se obtiene de siete fuentes distintas con un gran parámetro de dispersión con datos extremos de 0,7 MJ/u a 3.5 MJ/u. Si agregamos la energía de desmonte y transporte de la tierra a una distancia promedio, por medios mecánicos podemos agregar entre 0,04 MJ/u a 0,05 MJ/u de energía de hidrocarburos, según densidad relativa y tamaño del mampuesto. Vemos que el determinante del consumo energético está dado por la energía de cocción, aunque generalmente ésta se realiza con energía de biomasa. Debemos recordar que no existe una política racional de forestación para recurso energético, la leña se obtiene del desmonte oportunista de recursos autóctonos. Los datos de Reverté indican un consumo mayor que los indicados más arriba, dado que el poder calorífico del carbón de hulla es de 7.000 Kcal/Kg., con este dato el consumo de energía de cocción sería de 5.3 MJ/u, es decir una vez y media el mayor consumo aportado en los datos anteriores.

Ubicación de la producción en el periurbano

El mercado ladrillero tiene márgenes crematísticos tan estrechos que generalmente la fabricación se asienta en lugares próximos a la ciudad, a los efectos de reducir el costo de transporte. Estas áreas denominadas periurbanas presentan características muy particulares. Son áreas que no tienen ni equipamiento ni infraestructura de ciudad, ni tiene la escala económica adecuada para la producción agropecuaria de escala. Se establecen mediante un complejo proceso de cambio del rol del uso del suelo (de productivo a sostén de tecnoestructuras) en donde interviene principalmente una actividad especulativa fundamentada en la modificación del precio con el cambio del rol.

El precio del suelo urbano está vinculado a otros factores distintos del que le corresponde por su capacidad productiva en la actividad agropecuaria. El valor de mercado del suelo agrario depende de muchos factores entre los que destacan su capacidad productiva, ubicación y mejoras, pero que definitivamente se vinculan a la capacidad agro productiva. Por el contrario el valor del suelo urbano no depende de la fertilidad del mismo. "*la fertilidad de la tierra no es un bien que se compra y se vende en el mercado de tierras para viviendas y prácticamente un lote sin el horizonte "a" vale lo mismo que otro con perfil de suelo completo*"(Morello, J.; Rodríguez, A. 2001). Pero este dato no es insuficiente si no se lo compara con la tasa de interés corriente y real (descontando la inflación) para determinar el beneficio que se obtendría depositándolo en el banco. Tasas de interés alto tienden a ser tremendamente depredadoras de los recursos naturales.

³ Incluye el contenido energético de las materias primas y el transporte medio a obra, no incluye la amortización energética de los equipos. Varias fuentes consultadas con gran dispersión de datos.

Al mismo tiempo que las infraestructuras urbanas no llegan a servir a estas áreas (pavimentos, agua potable de red, cloacas, recolección de basura, desagües pluviales), ellas reciben los impactos negativos de la expansión urbana, que literalmente les arroja residuos sólidos de diversos orígenes, afluentes contaminantes, escombros, particulado, humos y toda clase de subproductos indeseables. Estos impactos negativos generan la pérdida de las funciones ecológicas que tenían esas áreas como parte de las zonas de campo, ya que disminuyen la capacidad de las áreas periurbanas para regular el sistema hidrológico, absorber el dióxido de carbono, regular las plagas, atemperar las amplitudes térmicas y los flujos de escorrentías, formar nuevos suelos, y otras funciones importantes que constituyen los “servicios ecológicos” que prestan las áreas rurales a las áreas urbanas. En las áreas periurbanas se forma un nuevo paisaje con gran depreciación estética.

El mercado del ladrillo y la dimensión social

La actividad de la producción del ladrillo “común” es, como hemos visto, sumamente artesanal y salvo algunos casos en que se trabaja a mayor escala, buena parte de la producción se realiza a través de pequeños núcleos productivos, unifamiliares o compuestos por algunos pocos parientes. Este aspecto es importante, desde la dimensión social, para el definitivo análisis ambiental. En el mercado, el ladrillo tiene un costo comparativo sumamente bajo y márgenes de utilidad extraordinariamente estrechos, esto resulta muy llamativo después de la destrucción del horizonte de suelo para producción fotosintética de biomasa (que resulta una externalidad económica) y de la extraordinaria explotación de los obreros. Dar valor a la pérdida de fertilidad, tendría que tener en cuenta también la pérdida de todos los beneficios futuros, que no incluyen solo el aprovechamiento de la fertilidad actual y potencial, sino la interacción con la fauna y flora, la microbiota y la interacción con su biodiversidad, situación que hace en muchos aspectos, que los valores estén más allá de la posibilidad de una evaluación crematística.

La utilidad del dueño del horno, según trabajos de la Universidad de General Sarmiento, es del orden del 33% del precio de venta en el horno, 33% aproximadamente corresponde a mano de obra y 33% a fletes de tierra, traídos desde fuera del horno, carbón y carbonilla, caballos de pisadero y cama de caballo. Un horno familiar produce de 40 a 45.000 ladrillos cada dos meses con una decapitación del orden de 220 a 300 m². No tiene sentido pensar en la posible recuperación del suelo, y mucho menos realizar un cálculo crematístico del costo de tal recuperación, no existe un “sector pre-primario” que pueda realizarlo. En la elaboración de las Cuentas Patrimoniales no se contemplan estos aspectos, a pesar del intento de algunos “economistas ambientales”, que se esfuerzan por poner precio crematístico a los servicios de la naturaleza, al menos contemplando producción – degradación, aprovechamiento – desaprovechamiento, uso integral – uso parcial (Sejenovich, H 2001). Esta imposibilidad de control crematístico, obliga a establecer una política normativa con el fin de regular mediante leyes especiales, la transformación del uso del suelo. Esto debe ir acompañado de políticas de educación ambiental (tanto formal como informal a través de los medios masivos de comunicación), políticas de ciencia y técnica que permitan mostrar alternativas de reemplazo y ocasionalmente, de ser posible, obligar a la internalización de las externalidades en correspondencia con el mercado. El posible reemplazo del uso de la tierra fértil en la construcción del hábitat, es pues un aspecto importante en la eficiencia ambiental del mismo e incide en primera instancia en los costos ambientales de construcción.

Este reemplazo debe entrar como variable en los análisis, desde múltiples criterios de costo-beneficio, entendiéndose a los beneficios como satisfacción de preferencias y a los costos, como la no satisfacción. De la intensidad de la preferencia surge una disposición a pagar. En los análisis económicos convencionales, en esta disposición a pagar se infravaloran a los no humanos y a las generaciones futuras, es decir, se infravalora el futuro. Cuando se dice que en el mercado es donde se distribuyen los recursos escasos a través del mecanismo de precios, uno debe preguntarse: ¿como intervienen en esta negociación los no humanos y las generaciones futuras que deben disfrutar de los recursos igual que las generaciones presentes?. Las generaciones futuras, al igual que los no humanos, no ofertan en el mercado. Si se aplica una tasa de descuento siempre se infravalora el futuro, por lo que la representación es precaria y los pesos atribuidos a sus intereses son inadecuados. Es por esto importante desarrollar en las generaciones presentes una preferencia por el valor intrínseco o valor de existencia (no humanos) y por el valor de opción (generaciones futuras).

Además es interesante destacar que en la satisfacción de las preferencias debemos diferenciar las *preferencias existentes*, de las *preferencias bien informadas*. ¿Como pesa la publicidad en las preferencias existentes?, y ¿en las bien informadas?. Ya no es posible solamente con el *querer ser ético* de Kant, es necesario *saber ser ético* (Jonas, H.1991), este “*principio de responsabilidad*” se vincula necesariamente con las preferencias bien informadas. Es importante destacar, por ejemplo, que el ladrillo común entra dentro de las preferencias existentes, que están muy instaladas en la gente. Este es un problema complejo y no se pretende aquí profundizar en las causas, pero podemos hacer notar algunas cuestiones de la economía vinculadas a estos aspectos y al saber ético.

Milton Friedman (Friedman 1962) dice que con los *finés alternativos* se introducen los “*juicios de valor*” y así se distingue a la economía de las ciencias físicas y tecnológicas, que tratan las relaciones entre recursos escasos y fines únicos, pero los fines son datos para la economía y se distingue de la psicología, que trata la formación de las preferencias y de la ética que se ocupa de la evaluación de las preferencias. Es así que una *ciencia social* como la economía se ha desprendido de todo contacto con la sociedad, esto ha llevado a decir a J. Martínez Alíer “*la economía se convierte de este modo en una ciencia de la elección entre cualquier cosa en general y nada en particular, no solo en el terreno del consumo de alimentos sino en cualquier otro campo*”. Las condiciones de las preferencias o del “gusto” deben formar parte de la problemática a resolver, teniendo como contexto de referencia ineludible, la adecuada armonía de la sociedad con el soporte natural.

Alternativas de reemplazo de uso del suelo y la dimensión económica crematística

Los terrenos utilizados para la producción de ladrillos no tienen las superficies económicamente compatibles con la producción agrícola de escala, pero por el contrario podemos pensar que el terreno puede destinarse a agricultura o horticultura orgánica, con mano de obra intensiva, para lo cual las superficies resultan adecuadas. Esta utilización para producir biomasa orgánica es un destino interesante para comparar con la industria ladrillera, las posibilidades de sostenimiento crematístico que brinda, que además garantizan gran calidad ambiental al periurbano resultan el indicador clave. Por otro lado debemos agregar que la producción está ubicada a una adecuada distancia del centro de consumo (como corresponden a las “tierras de pan llevar” de antaño).

En el orden de los diez años la actividad ladrillera familiar decapita algo más de una hectárea, por lo que podemos comparar el uso de ese suelo para el cultivo de hortalizas y verduras orgánicas en este lapso de tiempo y superficie. El análisis económico contempla la totalidad del sistema: las dependencias edilicias, actividades de granja y frutas (incluido la recuperación de fertilidad). Se puede considerar con este trabajo un ingreso familiar superior en un 38% a la producción ladrillera contemplando una tasa real de descuento, es decir a valor actual neto (VAN). Esta tasa real de descuento no es la misma para distintos inversores, ni para distintos lugares, dado que es igual al *costo de oportunidad* del capital y está vinculado a la tasa de retorno de la mejor alternativa de inversión posible. Para muy pequeños productores, casi marginales, como es el caso en análisis, la tasa que se utilizó es la tasa de interés a plazo fijo en un banco. Esto incluso es casi una utopía dado que no es una inversión industrial o comercial, porque la producción realizada sirve exclusivamente para la subsistencia.

El análisis que se realiza en términos económicamente ortodoxos sirve simplemente para respaldar, en términos de economía clásica, hacia donde es posible inclinar la capacidad productiva familiar sobre una determinada superficie de suelo. Se agrega de esta manera un argumento más para la discusión de la viabilidad real, en el contexto económico en el que se mueven las producciones posibles. Por otro lado creemos que estas orientaciones, sobre las conveniencias relativas, no son posibles de implementar sin la existencia de políticas claras y apoyo económico y técnico agronómico desde el Estado.

Debemos tener en cuenta además la dimensión social de la cultura del trabajo, que lo aleja tanto de la conservación de los recursos, como del análisis puramente económico en términos clásicos, dado que es necesario agregar otros argumentos a la discusión que son los siguientes: el dueño del horno tiene una intervención limitada en la cantidad de días de trabajo dado que la producción mensual la elabora en cinco o seis días, el barro lo prepara con caballos o pequeños tractores y el horno hormiguero o de campaña lo monta con aporte de mano de obra externa. Hasta el final de la producción transcurre un tiempo más o menos largo para el secado, quemado y enfriado de los ladrillos, esto resulta un trabajo menos esforzado y dedicado, que el control diario de una huerta orgánica. Además para el adecuado manejo de la agricultura y horticultura necesita de conocimientos diversificados que no posee y son difíciles de conseguir, en esta actividad solo le queda actuar como asalariado mal pago, que generalmente es la experiencia que tiene y que lo aleja de esta actividad. Estos aspectos se agregan en el análisis holístico, como relación de partes, al hecho de que el productor no tiene conciencia, ni le importa la gravedad social de la acción de decapitación de suelo fértil, que realiza con su actividad.

La conservación del suelo implica reemplazar al ladrillo de tierra fértil por otras alternativas y esto puede significar, según la opción elegida, aumentar parcialmente el costo de las viviendas, especialmente para los sectores de bajos recursos. Este producto básico fundamenta su bajo costo por la forma y costos de producción, por el sector social asociado a él, y además por la falta de internalización del valor del suelo.

Los costos crematísticos solo pueden permitir el análisis de la conveniencia económica instantánea, que la mayor parte de las veces puede resultar conveniente, en lo monetario, en el corto plazo. Esto plantea la necesidad de que las *preferencias* que determinan la *disposición a pagar* estén *bien informadas*, para que el mercado se incline en la dirección adecuada. Al mismo tiempo se pueden aplicar correcciones a través de disposiciones reglamentarias o legales que vayan corrigiendo los desfases existentes. Desde esta dimensión y considerando el impacto ambiental de la decapitación parece no haber dudas en el desplazamiento o reemplazo del ladrillo de tierra fértil por otro tipo de producto. Este reemplazo debe estructurarse en un proceso gradual, transfiriendo actividades de aprovechamiento del suelo, a la agricultura o horticultura orgánica, por ejemplo, informando las preferencias, corrigiendo con medidas legislativas y encontrando sustitutos técnicos adecuados para construir una *“tecnología apropiada de valor local”*.

Posibles reemplazos y decisiones comparativas de economía ecológica

Los posibles reemplazos tienen muchas veces un carácter coyuntural a diversas alternativas locales, en otras pueden tener un carácter más universal, esto obliga siempre a un análisis de las particularidades de cada caso. Entre muchas otras alternativas que deben analizarse, desarrollarse o estudiarse vamos a limitar el universo a algunos pocos ejemplos con el único fin de la posible comparabilidad. Las posibilidades del uso del suelo cemento, o de suelo arcilloso apisonado o de cemento arena deben analizarse en este contexto global que venimos planteando, sin olvidar además cómo pesan las *preferencias existentes* en la *disposición a pagar*.

Nuestra experiencia de construcción con suelo cemento en la zona nos indica que podemos trabajar con una proporción en volumen de 7,5% de cemento en relación al suelo-arena (Di Bernardo, E. Et alt 2001). Pero antes de adoptar una decisión con relación al dosaje, debemos discutir algunos aspectos de los costos energéticos de obtención del suelo y tener en cuenta que para la obtención del mismo, se deben despejar los horizontes “a” y parte del “b” (suelo fértil) y excavar por debajo del mismo a razón de 27 a 30 m³/vivienda. Esto significa un “préstamo de suelo” que origina una cava de dimensiones considerables para hacer frente a un conjunto de viviendas. Desde la dimensión de la eficiencia ambiental debe darse a esta cava un uso que restituya en alguna medida la armonía con el soporte natural y/o realizar con la misma alguna actividad productiva compatible con la resiliencia de dicho soporte.

Por lo que el uso del suelo cemento es una posibilidad para *complementar acciones* y aprovechar oportunamente lo que en otra actividad puede resultar un residuo o sobrante sin destino y generalmente contaminante y/o modificador de la armonía necesaria en el soporte natural, resulta así un *aprovechamiento* tendiente a minimizar los impactos resultantes de las acciones antrópicas. Estamos ante lo que Sejenovich llama el *uso integral* de un recurso (al disminuir los “*flujos ocultos*”), por oposición a un *uso parcial*, aprovechando además el gasto energético realizado.

Como ejemplo en la ciudad de Rosario se han extraído 310.000 m³ de suelo, para modificar el tamaño del cauce del arroyo Ludueña, con un gasto energético de 125.000 litros de gas oil. Siendo ésta una operación de escala, con buen aprovechamiento energético, el costo resultante, con la tierra dejada a ambos lados de los bordes del cauce, resulta ser de 15,2 MJ/m³ a 16,2 MJ/m³, si consideramos que del total de la tierra extraída, solo corresponden al horizonte “b” y parte del “c”, útil para la confección del suelo cemento, 250.000 m³, el costo energético es de 19 MJ/m³ a 20 MJ/m³. Dentro del análisis que venimos realizando con este volumen de suelo se podrían construir un total de alrededor de 8.000 viviendas con alto nivel de calidad, para los sectores de menores recursos. Si se utilizan del orden de los 10.000 ladrillos por vivienda, el reemplazo del ladrillo “común” por suelo cemento significa evitar la decapitación de aproximadamente 50 Ha. de suelo fértil.

La energía de extracción ¿la podemos considerar amortizada por la necesidad del ensanche del arroyo?. Si aplicamos el consumo de energía no considerándola amortizada, con un dosaje realizado en volumen, con la tierra ya esponjada, como ocurre generalmente en las pequeñas obras de la región, para un suelo cemento con el 10 % de cemento, el contenido energético del cemento necesario para 1m³ de suelo cemento es de 1.080 MJ/m³ a 1290 MJ/m³. Fabricando un ladrillo de dimensiones idénticas (con el solo fin de comparar resultados) al “ladrillo común” antes mencionado, el costo energético resultante es de 1,8 MJ/u a 2,2 MJ/u para dimensiones del mismo que corresponden a 600 ladrillos neto por metro cúbico y de 2.2 MJ/u a 2.6 MJ/u para 510 ladrillos neto por metro cúbico, en definitiva el consumo energético por metro cúbico de mampostería resulta idéntico, solo variando el volumen de mortero. Si el dosaje es de 7,5% en volumen los resultados son del orden de 1,4 MJ/u a 1,7 MJ/u. para 600 ladrillos y de 1,7 MJ/u a 2,0 MJ/u para 510 ladrillos por metro cúbico. Dosificando en peso el dosaje del 10% se aproxima al dosaje del 7.5% en volumen.

Si comparamos los costos crematísticos del ladrillo común con los de suelo cemento, podemos verificar una serie de desajustes en la estructura de precios. En principio el costo de los ladrillos comunes se dividen de la siguiente forma: una tercera parte corresponde a beneficios, una tercera parte a mano de obra y una tercera parte a insumos y energía necesaria. El precio de mercado es más de dos veces el costo puesto en horno. El costo crematístico de los materiales y energía de los ladrillos de suelo cemento, para un dosaje del 10% en volumen, es de 3.5 a 4.5 veces superior al costo de los insumos y energía para producir los ladrillos comunes, siendo determinante el costo del cemento; con un dosaje del 7.5% en volumen los costos comparados son de 3 a 3.5 veces los costos de los insumos y energía de los ladrillos comunes. La comparación de los jornales de mano de obra, beneficios del productor y ganancias de los intermediarios está muy distorsionado por la desocupación y por la competencia del mercado imperfecto, como vimos anteriormente al tratar el problema del ladrillo “común”.

La distorsión de los costos de insumos materiales y energía se fundamentan en el desajuste de los precios de la energía de baja calidad (carbón y leña), con relación a los hidrocarburos (poco importante en la extracción de la tierra) y eléctrica, pero de mayor influencia en el precio del cemento. La otra distorsión importante está dada por el hecho de que la tierra fértil no cuesta nada, a pesar que su recuperación no tiene costo en tiempos generacionales, como ya reiteramos, esto significa una externalidad de alto nivel de inconmensurabilidad. Las posibilidades de producción con suelo cemento, permite la construcción mediante la técnica de tapial con un encofrado y apisonado in-situ con lo que los costos de mano de obra son diferentes. Para ajustar el análisis debiera revisarse la estructura de costos del cemento.

Otra alternativa consiste en la construcción de ladrillos de cemento y arena. La proximidad de la región al río Paraná posibilita esta opción a través de la reducción del transporte, el impacto ambiental de la extracción de la arena (un material de arrastre), para construcción es pequeña dado los volúmenes implicados y por otro lado se está aprovechando el dragado de canales que aseguren la profundidad necesaria para la navegación. El costo energético de estos ladrillos de idénticas medidas a los anteriores y con un dosaje 1:10 (cemento: arena) en volumen, es del orden de 2 MJ/u a 3 MJ/u considerándose la ejecución a máquina, sin tener en cuenta el curado a vapor, este entorno comprende las distintas combinaciones de la variancia de los costos energéticos del cemento y de la arena y el tamaño de los ladrillos. Debemos llamar la atención sobre la necesidad de revisar los costos energéticos de extracción de la arena. Un análisis de precios de mercado, teniendo en cuenta solo los materiales, da como resultado que el costo de los materiales de estos ladrillos comparados con los insumos, materiales y energía de los ladrillos “comunes” sea de 5 a 6 veces superior, es decir el precio de los materiales, sin mano de obra, beneficios y ganancias es similar al precio de mercado de los ladrillos “comunes”. Agujereando los ladrillos, reduciendo un 10 % su volumen, al tiempo que se mejora la capacidad de resistir esfuerzos horizontales, se mejora en un 10 % su costo, aspecto que no llega a ser significativo. Los bloques de cemento arena llegan a reducir el volumen de material empleado entre un 45% y un 50% del volumen total.

Material	Costo energético	Costos monetarios de materiales y energía	Costos de mercado set. 2007.
Ladrillo “común”	1.3MJ/u a 2.3MJ/u. Máx. 3.5MJ/u	1 Precio comparativo	450 a 500 \$/millar
Suelo cemento	1.5MJ/u a 2.6MJ/u *	3 a 4,5	
Arena cemento	2MJ/u a 3MJ/u	5,2 a 5,4	

Tabla 1. costos energéticos, monetarios de materiales y energía. Costos de mercado.

* Debe agregarse el costo de transporte a obra, según la distancia, los costos energéticos podrían ser muy parecidos al del ladrillo de arena cemento.

El comportamiento físico térmico de cada uno de los ladrillos se indica en la tabla que sigue a continuación.

Material	Conductividad W/m°C	Resistividad m°C/W	Densidad relativa Kg/m3	Capacidad *** térmica. J/°Cm	Resistencia ** térm. m2°C/W	Conductancia térm. W/°Cm2
Ladrillo común	0.6 / 0.81	1.235 / 1.67	1600	1340	0.478 / 0.587	1.70 / 2.09 **
Suelo cemento	1.14	0.877	1500	1256	0.389	2.57 **
Arena cemento	0.89 / 0.90 *	1.12 / 1.11	1750 / 1900	1465 / 1590	0.448	2.235 **

Tabla 2. Comparaciones termodinámicas y de masa de los diferentes ladrillos

*Valores extraídos por comparación con morteros de cemento- arena de igual densidad relativa.

**Incluye las resistencias peliculares para flujo horizontal y corresponden a un espesor de 0.25 m.

***Capacidad térmica para un metro de espesor.

La arena es un material, que, comparativamente, tiene un impacto ambiental mucho menor que la destrucción de la capa fértil y en los procesos de dragado puede significar un aprovechamiento significativo de energía. Pero la única posibilidad de competencia de precio es a través de los bloques huecos y su ejecución a escala o dependiente de los productores de cemento.

No debemos dejar de analizar, además del gasto energético, el impacto ambiental y de recursos en particular que significa la producción de cemento. En principio ésta es una actividad extractiva en profundidad con lo que la agresión en extensión superficial es menor y algunos cementos contienen agregados de escorias de alto horno hasta en un 35%. Estas escorias son un desecho para la actividad metalúrgica, lo que significa un *aprovechamiento* de residuos que reduce el *desaprovechamiento* de otra actividad. De cualquier manera debe profundizarse adecuadamente la evaluación del impacto sobre el soporte natural de la actividad cementera.

Por el momento suponemos que la vida útil es muy parecida para el ladrillo común y el ladrillo de cemento y arena, sobre el ladrillo de suelo cemento no se tienen datos y los que se poseen sobre el suelo cemento construido en tapial son recientes, aunque la resistencia mecánica permite suponer una larga durabilidad, si las variaciones de humedad no conspiran contra la vida útil del mismo. Debemos destacar en el ladrillo común, del que existe una larga experiencia, que la durabilidad está directamente relacionada con la calidad de la cocción del mismo y con la ausencia de nódulos de sulfato de cal, cuando esto ocurre, el envejecimiento del material es muy "noble". En el caso de los ladrillos de cemento y arena, un control de calidad de producción más riguroso puede asegurar mayores constancias de permanencia en el tiempo.

CONCLUSIONES

Para completar el análisis se agregan un conjunto de paneles livianos para comparar con los estudios anteriores. Es interesante destacar que la construcción tradicional, que podemos denominar "*gruesa, pesada y porosa*" va siendo reemplazada por otra con las mismas características materiales, pero que no tiene la misma masa, ni el mismo comportamiento. Este reemplazo es producto de la degradación económica crematística en la producción del hábitat, que resulta habilitada por las mismas disposiciones reglamentarias que regulan la producción del mercado.

Reemplazar la masa, de fuerte impacto sobre el soporte natural, por su consumo de materia e incidencia en la disposición final de los residuos de demolición, puede ser una alternativa positiva. Esto dará por resultado un proceso productivo que podemos denominar "*fino, liviano e impermeable*", donde se reemplaza esencialmente arcillas por aire, tecnología que debe profundizar su desarrollo de manera global, desarrollando técnicas de producción y montaje que mejoren la vida útil del sistema. Antiguamente las posibilidades técnicas llevaban a aprovechar los materiales con baja introducción de tecnología, es decir la materia (esencialmente arcillosa o pétreo) que se transformaba rudimentariamente, hoy es posible aprovechar materiales que han sido sometidos a un proceso técnico complejo, generalmente con alto contenido de energía, pero que dado su bajo peso (pequeña masa por unidad de superficie) resultan ventajosos incluso en la dimensión energética.

A continuación se plantean, con carácter general, los costos energéticos y la masa de un conjunto de paneles para uso exterior con un común denominador que resulta ser su conductancia: $C = 0,5W/°km^2$. La comparación es válida para flujos energéticos desde el interior hacia el exterior, dado el hecho de que algunos paneles no cuentan con masa que retarda y amortigua el pulso térmico del efecto sol.-aire. Este efecto amortiguador (no el retardo) puede compensarse con mayor resistencia térmica.

1	Madera contraplacada 12 mm interior y exterior, PE6, BV, estructura madera e=84 mm	18 kg/m ²	230 MJ/M2
2	Ídem 1 c/cámara de aire, PE5 e=124 mm	18 kg/m ²	230 MJ/m2
3	Ídem 1, estructura metálica cal 24, PE6 e=105mm	16 kg/m ²	280 MJ/m2
4	Madera contraplacada 12 mm PE6, BV, placa de yeso, estructura de madera e=90 mm	25 kg/m ²	200 MJ/m2
5	Cemento hidrofugado, PE7, BV, placa de yeso, estructura metálica cal. 24 e= 120mm	42 kg/m ²	310 MJ/m2
6	Mampostería ladrillo, común 125 +125 mm, PE5, alisado hidrófugo e= 310 mm (valor medio)	440 kg/m ²	400 MJ/m2
7	Mampostería bloques 190 mm, PE6, BV, placa de yeso, estructura metálica e=290mm (valor medio)	250 kg/m ²	460 MJ/m2
8	Ídem 7, estructura de madera, PE6 BV, (valor medio de 374 MJ/m2 – 450 MJ/m2), e=265mm.	250 kg/m ²	415 MJ/m2

PE 6 =poli estireno expandido de 0,06 m de espesor

BV = barrera de vapor de polietileno de 200 mm

Estructura metálica = Estructura estándar para tabiques de placa de yeso e = 0,56 mm

Estructura de madera de pino de reforestación, tratada de 23 mm de espesor.

e = Espesor total aproximado.

9	Madera contraplacada 12mm, PE20, BV, placa de yeso, estructura de madera, e=227mm		440 MJ/m2
---	---	--	-----------

Tabla 3. Comparación de masa y energía base entre sistemas productivos edificios gruesos y pesados y finos y livianos.

En el universo axiológico planteado en todo el trabajo, la dimensión ética concurrente con los valores de ese universo promueven una decisión parcial, siempre que estos principios éticos sean explícitos y formen parte del diálogo. (Saaty 1980), citado en (Munda, 1995) estructura al problema de decisión en niveles que corresponden a la comprensión que tiene el individuo de la situación: metas, criterios, subcriterios y alternativas. Al dividir al problema en niveles, el tomador de decisiones puede centrarse en conjuntos más pequeños de decisiones. El proceso está basado en 4 axiomas principales:

- 1 Dadas dos alternativas (o subcriterios) cualesquiera, el tomador de decisiones puede comparar ambas alternativas bajo cualquier criterio en una escala de razón recíproca.
- 2 Cuando el tomador de decisiones compara dos alternativas cualesquiera, nunca considera que una es infinitamente mejor que la otra bajo ningún criterio.
- 3 Se puede formular el problema de decisión como una jerarquía.
- 4 Todos los criterios y alternativas que tienen un impacto en un problema de decisión se representan en la jerarquía.

Con la finalidad de responder al axioma N°. 2 recordemos que la “economía ambiental” propone que la comparación energética puede ser una eficiente medida de evaluación económica en los sistemas humanos. Esta comparación, que puede dar como resultado una aparente *comparabilidad fuerte*, no es suficiente en términos ambientales, como hemos visto.

Es importante recordar que otro marco de incertidumbre, llamado incertidumbre difusa, se focaliza en la ambigüedad de la información en el sentido en que la incertidumbre no concierne a la ocurrencia de un acontecimiento sino al acontecimiento en sí mismo, que no puede ser descrito claramente (Zadeh, 1965), citado en (Munda 1995). Este tipo de situación es fácilmente identificable en sistemas complejos. Los sistemas espaciales o del medio, ambiente en particular son sistemas reflexivos complejos, caracterizados por la subjetividad, lo incompleto y la imprecisión (por ej., los procesos ecológicos son bastante inciertos y se conoce muy poco acerca de su sensibilidad a los factores de tensión como ser diversos tipos de contaminación). La teoría difusa es útil para modelar situaciones de este tipo, o sea, busca describir - en términos de incertidumbre difusa algunas de las indeterminaciones del sistema socio ecológico (ambiental) en estudio.

Zadeh (1965) escribe: *“a medida que aumenta la complejidad de un sistema, nuestra capacidad de hacer una afirmación precisa y significativa de su comportamiento disminuye hasta que se llega a un umbral debajo del cual la precisión y la trascendencia (o relevancia) se convierten en características casi mutuamente excluyentes.”* Por lo tanto en estas situaciones son comunes las afirmaciones como *“la calidad del entorno es buena”*, o *“la tasa de desempleo es baja”*. (Munda op. cit.)

Dentro de la simplicidad relativa de este trabajo, se ha cubierto una serie amplia de aspectos ilustrativos, que permitan ordenar los criterios y asociar cada acción en su contexto relativo para alcanzar las metas acordadas de eficiencia ambiental.

Finalmente debemos destacar que la solución de reemplazo no es única, que debe prevalecer la diversidad cultural, social y productiva que permita la mejor decisión en términos de utilización y aprovechamiento de los recursos naturales.

REFERENCIAS

- Biasatti, R. Et alt. “Sustainable Urban settlement and local development in Rosario, Argentina”. Ecoscape Eco-industry Eco-culture. The Fifth International Eco-city Conference. Shenzhen, China, August 19-23, 2002
- Cappi, Marcela et alt. “Los hornos de ladrillos en la región metropolitana de Buenos Aires”. Monografía Curso de Especialización “Ambiente, Economía y Sociedad. FLACSO Argentina.
- Di Bernardo, Elio.; et alt. “Passive Solar Building Built in Soil-cement”. p 147-151. 18 th Conference on Passive and Low Energy Architecture. PLEA. Passive Low Energy Architecture. Brasil, noviembre de 2001.
- Morello, Jorge; Rodríguez, Andrea. “Adiós Pampa mía”. Encrucijada UBA. Revista de la Universidad de Buenos Aires. Año 1 N° 10, agosto de 2001. Daño ambiental . Capitalismo y Geofobia.
- Sejenovich, Héctor “Casa tomada” Encrucijada UBA. Revista de la Universidad de Buenos Aires. Año 1 N° 10, agosto de 2001. Daño ambiental . Capitalismo y Geofobia.
- Friedman, Milton. “Teoría de los precios”. Ed. Altaya. Título original “Price Theory” 1962.
- Jonas, Hans. “El principio de responsabilidad” 1991. Editorial. Herder
- Munda, Giuseppe. “Teoría de evaluación multicriterio: Una breve perspectiva general”. Universitat Autònoma de Barcelona. Departamento de Economía e Historia Económica. Bellaterra. Barcelona. 1995
- Reverté, Pedro. “La Industria Ladrillera”. Editorial. Reverte Barcelona.
- Terzaghi, Karl; Peck, Ralph. “Mecánica de Suelos”. Editorial. El Ateneo. 1955.

ABSTRACT

Environmental efficiency of matter transformation into a building material for habitat production and environmental efficiency of performance for the same product already integrated in the technical structure are compared with other productive processes in this paper. Comparison is made on a long tradition, well-accepted and high-quality considered in many social classes building material: the so-called common or building bricks. Impact on the a-horizon, responsible for biomass production as essential component for global strong sustainability of Earth.

Environmental efficiency of habitat is proposed as a measure of relative sustainability, beginning with the recognition of difficulty, or even impossibility, of partial strong sustainability.

Deepening of study of environmental possibilities of "thin, light and impervious" building systems is suggested, opposite to "thick, heavy and porous ones".