

Construcción sostenible. Materiales de construcción energética y ambientalmente eficientes en el nordeste de Argentina

HERMINIA MARÍA ALÍAS¹

GUILLERMO JOSÉ JACOBO²

Resistencia (Chaco, Argentina), 1 de junio de 2007.

Resumen: En el presente trabajo se introduce la mirada ambiental al tema de los materiales empleados en la construcción de viviendas en la región (enfocada la atención en la madera de bosques cultivados locales) y su impacto en el medio, tomando datos acerca del desempeño energético en servicio de la construcción en madera frente a la construcción con otros materiales más habituales en la región nordeste de Argentina (NEA).

El objetivo general fue aportar herramientas de análisis que contribuyan al desarrollo de conocimientos relacionados con la eficiencia energética-ambiental del sector edilicio residencial en la región NEA, a través de la comparación de dos tecnologías; por un lado, la del empleo de la madera de origen forestal mediante técnicas de construcción *en seco* y, por otro, la construcción tradicional mediante técnicas convencionales, de mampuestos o *húmedas*, en base al estudio del rendimiento energético en etapa de uso y al Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en toda la cadena productiva del sistema-producto, dentro de la cual que la etapa de uso es altamente significativa.

La hipótesis de trabajo sostiene que la construcción en madera representa una alternativa constructiva más eficiente, económica y benigna desde el punto de vista ambiental con respecto a la construcción tradicional (mediante la técnica del mampuesto de fabricación local artesanal) de viviendas de interés social en el Nordeste de Argentina, lo que ha sido corroborado en alto grado en base a los resultados obtenidos a través de los procedimientos aplicados: simulación computacional de consumo de energía para el confort de viviendas, análisis de componentes de la envolvente mediante normativa del Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM) de habitabilidad higrotérmica y aplicación introductoria y aproximada al Análisis de Ciclo de Vida, según *norma ISO 14.040*.

El nordeste argentino: aproximación al universo de estudio	99
La vivienda de interés social en el nordeste argentino	100
Costo energético y ambiental de la construcción en el nordeste argentino: herramientas de análisis y criterios de optimización	101
Madera, material alternativo de construcción de viviendas en el nordeste argentino	101
Definición de las Unidades de Análisis y de las variables para cada una de ellas	103
Aplicación de los procedimientos de operación	103
Propuestas de estrategias de diseño de viviendas energéticas, ambientalmente optimizadas y orientadas al confort humano	105
Propuesta de indicadores de la <i>eficiencia ambiental</i> de componentes de viviendas de interés social en su Ciclo de Vida	105
Resultados obtenidos	107
Conclusiones	109
Referencias Bibliográficas	111

El nordeste argentino: aproximación al universo de estudio

La idea central del trabajo apuntó a focalizar la investigación sobre un área crítica del diseño desde la óptica de la vivienda social, que necesita minimizar costos de mantenimiento e inversión para garantizar adecuadas condiciones de habitabilidad. Se apuntó a la producción de registros comparativos de eficiencia energética y ambiental de dos diferentes alternativas tecnológicas de materialización de la envolvente de viviendas de interés social, para

¹Arquitecta (Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional del Nordeste (FAU-UNNE), Argentina). Magíster en Gestión Ambiental (FAU) y Especialista en Docencia Universitaria (Facultad de Humanidades, UNNE).

²Arquitecto (FAU-UNNE), Argentina. Master en Tecnología de la Construcción para Zonas Tropicales (Instituto de Tecnología Tropical - Centro de Ciencias Ingenieriles - *Universidad de Ciencias Aplicadas de la Ciudad de Colonia*, Alemania); Master en Tecnologías Avanzadas para Construcción Arquitectónica (Escuela Técnica Superior de Arquitectura - *Universidad Politécnica de Madrid*, Madrid, España).

luego verificar la relación tecnología–eficiencia ambiental y energética en el clima del noreste argentino (NEA) y poder esbozar recomendaciones de diseño en la producción del hábitat construido. Ante la urgencia de fomentar la producción de un hábitat construido de bajo impacto ambiental, tanto en lo referente a la respuesta tecnológica y energética–ambiental como a las condiciones de habitabilidad que brinda a sus usuarios (y frente a la situación que viene reiterándose, caracterizada por soluciones no siempre sustentables, generadoras de situaciones urbanas de degradación), este estudio propuso analizar desde el punto de vista energético, ambiental, y usando parámetros de habitabilidad y disponiendo de herramientas ambientales como el método del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el rendimiento de dos de las actuales tecnologías aplicadas a soluciones habitacionales del NEA, específicamente en las provincias de Corrientes y Chaco, estudiando su grado de eficiencia, tanto energética como ambiental en relación a su contexto, para luego confrontar estos resultados con los que se obtendrían modificando ciertas variables tecnológicas, situacionales–relacionales y tipológicas.

El concepto que se intentó desarrollar estuvo referido a que la eficiencia ambiental de una construcción se logra en buena medida a partir de una eficiencia energética, *ahorro de energía*, en todos los rubros posibles y especialmente en el de la energía para acondicionamiento ambiental, que se hace posible a partir de un cuidadoso estudio de factores relacionados con las características climáticas regionales y su interrelación con el material constitutivo básico de la edificación (en este caso la madera se confronta con los materiales de uso más habitual en la construcción tradicional) y sus propiedades, que juegan un papel crucial. Asimismo, se trabajó la idea de que la eficiencia energético–ambiental no debería pensarse como dependiente (como es tradición) exclusivamente del ahorro de energía del edificio en *etapa de uso*, sino que se planteó la posibilidad de una eficiencia a través de un ahorro energético–ambiental a lo largo de toda la cadena productiva, desde la obtención o producción de los materiales básicos necesarios y la conformación de las instancias previas a la producción, construcción y puesta en obra. Un análisis que incluya estas instancias es lo que se llama Análisis de Ciclo de Vida (ACV), según la *norma ISO 14.040*.

No existen estudios comparativos de estos procesos y su incidencia o efectos sobre el ambiente, ni parámetros universalmente generalizados como indicadores, por lo que una tarea consistió en desarrollar una definición tentativa de estos parámetros, que pueda ser empleada para cuantificar los impactos en el medio de todo el *Ciclo de Vida*, del cual el rendimiento energético–ambiental del edificio totalmente terminado y en servicio podría ser sólo la etapa final o culminante. El método del ACV permitiría seleccionar los materiales con menor impacto ambiental. En este caso se pretendió determinar las ventajas y desventajas ambientales del uso de la madera en lugar de la mampostería de ladrillos comunes para la materialización de muros de viviendas ubicadas en las localidades de Corrientes y Resistencia.

El problema del déficit habitacional es uno de los más importantes en el NEA, desde el punto de vista social, y la construcción actual de viviendas utiliza un sinnúmero de materiales, cuya fabricación determina un importante impacto ambiental. Las construcciones tradicionales de mampostería son predominantes, de lo que se deduce la importancia de encontrar otras alternativas posibles. En este sentido adquiere gran importancia la elección de los materiales a emplear en la construcción de dichas viviendas, ya que pequeñas mejoras comparativas obtenidas en ellos determinan un fuerte impacto, si se considera la gran cantidad empleada en un edificio y la gran cantidad de viviendas requeridas cada año. En relación a esto, se parte del convencimiento de que se deben aprovechar las materias primas abundantes en una zona geográfica, en nuestro caso la madera forestal, que permiten también ser explotadas de manera sustentable, y cuya principal cualidad es su alta potencialidad de utilización en procesos constructivos, en sustitución de otras importadas.

Las decisiones proyectuales tienen gran impacto sobre el contexto energético–ambiental y, para poder tomar fundamento, esas decisiones deben tener a su disposición no sólo alternativas tecnológicas válidas, sino información adecuada y objetiva sobre las mismas e instrumentos que permitan evaluarlas de forma integral. En ese sentido, este trabajo intentó aportar una modesta herramienta de análisis que pudiera servir como instrumento de apoyo al diseño energético y ambientalmente optimizado.

La vivienda de interés social en el noreste argentino

Se abordó el tema de la vivienda de interés social en la región, habida cuenta de que en los relevos y análisis efectuados, se verifica la existencia de serias deficiencias cuantitativas y cualitativas en cuanto a las condiciones de habitabilidad higrotérmica, el confort psicofísico de los usuarios y sus consumos energéticos e impactos ambientales derivados. Por otra parte, son las viviendas de interés social uno de los principales ítems a priorizar a la hora de dar soluciones a las necesidades de buena parte de la población, y representan actualmente los principales objetivos en materia constructiva, por lo que ahondar en las necesidades a las que responden y considerar técnicas constructivas y alternativas de diseño ambientalmente consciente y que representen mejoras cualitativas con respecto a éstas resultaría de sumo interés.

Se consideró la problemática habitacional de los sectores sociales populares a través de una revisión de los antecedentes en materia de soluciones habitacionales en las provincias de Corrientes y Chaco y sus respectivas

ciudades capitales. Se apeló a una somera consideración de las experiencias realizadas y las soluciones habitacionales originadas. Los resultados reales en uso de las mismas arrojaron que este trabajo-hipótesis, y su concepto de déficit habitacional actual, no incluye aspectos importantes que tengan en cuenta la calidad de vida. Según estimaciones oficiales, «en Argentina existen 900.000 unidades habitacionales fuera de servicio debido a falta de mantenimiento y obsolescencia constructiva, pero recuperables con una adecuada intervención tecnológica». Según el *Censo Oficial del año 2001* y sus proyecciones para el año 2006, «el déficit habitacional en Argentina alcanza a cuatro millones de unidades habitacionales». Esto significa que se puede mejorar la calidad del hábitat humano construido, así como el de los nuevos emprendimientos, a partir de la mejora de las propuestas tecnológicas según las experiencias realizadas.

Según una evaluación del *Fondo Nacional de la Vivienda* de Argentina, ejecutada por el *Ministerio de Economía de la Nación* y publicada el 29 de diciembre de 2000 por FELISA MICELI, entonces *Directora de Gastos Sociales Consolidados* y actual Ministra de Economía de la Nación, «después de una experiencia de treinta años, los problemas en materia habitacional que impulsaron la creación del Fondo Nacional de Vivienda (FONAVI) persisten en gran parte». Según el *Censo Nacional de Población y Vivienda* de 1991, Argentina presenta una situación de déficit habitacional total de alrededor de 3.000.000 de hogares, lo que representa el 32,88 % del total de 9.243.859 hogares. Esta cifra de déficit se ha mantenido prácticamente sin variaciones en los últimos treinta años. «El total de hogares en situación de déficit se compone por aquellos que viven en viviendas con precariedad en los materiales y/o instalaciones y en situaciones de hacinamiento. El déficit habitacional se clasifica en *absoluto* y *relativo*. El primero de ellos incluye a todos aquellos hogares que “no tienen vivienda” o que “habitan una considerada irre recuperable”. El segundo, está compuesto por los casos de “hogares que comparten sus viviendas con otros hogares” o que habitan espacios físicos que “podrían ser recuperados como vivienda plena con la realización de obras de distinto tipo”, hasta lograr condiciones adecuadas de habitabilidad». En el caso de las provincias que constituyen la región NEA, se observa en la siguiente tabla la evolución de las cantidades de viviendas ejecutadas y terminadas en el periodo 1976–2003

Si se considera la cantidad total de unidades habitacionales ejecutadas, por medio de diversas operatorias oficiales de interés social por el Estado de Argentina desde 1970 a la fecha, en Argentina se llega a la cantidad de un millón y, en el NEA, a cerca de las 200.000 unidades, de las cuales el 60,65 % (121.300 unidades habitacionales) se encuentran en *situación deficitaria*, mientras que en Argentina esta cifra no supera el 32,88 %. Como se observa, la situación habitacional de interés social es crítica, tanto en el aspecto cuantitativo como en el cualitativo.

Costo energético y ambiental de la construcción en el nordeste argentino: herramientas de análisis y criterios de optimización

Partiendo de una definición de *construcción sustentable* como «el desarrollo de la construcción tradicional pero con una responsabilidad considerable con el ambiente por parte de todas las partes que intervienen (lo que implica un interés creciente en todas las etapas de la construcción, considerando las diferentes alternativas en el proceso de construcción, aprovechando los recursos, previniendo la degradación ambiental, y proporcionando un ambiente saludable tanto en el interior de los edificios como en su entorno)», se abordaron las siguientes cuestiones:

Contenido energético de los materiales y del Ciclo de Vida de la construcción:

Teniendo en cuenta que la búsqueda de materiales alternativos en el sector edilicio, más benignos ambientalmente, puede llevarse a cabo a través de herramientas de análisis como la del *Ciclo de Vida*, que permite poner en evidencia los impactos ambientales de cada elección y rastrear los materiales o procesos que los causan, se abordaron las consideraciones metodológicas acerca del ACV, que según la norma *ISO 14040* del Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM) es un concepto que se refiere a las «etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema producto, basadas en la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final del producto que se trate».

Energía consumida durante el uso y operación del edificio:

Responsabilidad del diseño: se consideraron premisas que tienden a fomentar el *ahorro energético* a través del *diseño bioclimático del hábitat de la vivienda*, para favorecer el aprovechamiento natural y la conservación de la energía.

Madera, material alternativo de construcción de viviendas en el nordeste argentino

Se consideró necesario efectuar una breve descripción de la situación forestal en la región, así como de las generalidades condicionantes del material *madera*, para poder hacer las apreciaciones sobre su comportamiento en servicio y sobre las operaciones implicadas en su *Ciclo de Vida*, en vista de que es el material que se propone

CUADRO 1: información comprendida en la evaluación publicada por FELISA MICELI. FONAVI: viviendas y soluciones habitacionales terminadas en el periodo de 1976 a 2003

Fuente: Dirección de Control de Gestión del FONAVI. Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Secretaría de Obras Públicas, Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. 2003.

Año/Provincia	Corrientes	Chaco	Formosa	Misiones
1976	516	303	133	152
1977	783	334	314	170
1978	669	1536	569	617
1979	1648	1173	687	274
1980	1214	2894	850	121
1981	2224	2749	432	422
1982	3242	2612	886	1225
1983	972	2498	1401	967
1984	1524	57	801	1562
1985	2012	2096	978	1975
1986	0	297	1081	477
1987	2938	3069	931	2960
1988	1715	973	606	2192
1989	612	664	685	432
1990	1850	1810	1588	850
1991	791	1534	582	2204
1992	923	1452	876	2377
1993	196	726	100	191
1994	283	2012	1290	1607
1995	2611	1738	610	1550
1996	2193	1598	782	2086
1997	2505	1507	1091	1802
1998	2192	2299	1407	2184
1999	2597	2222	501	2018
2000	1831	2636	384	8099
2001	1620	2659	94	2009
2002	2366	1749	130	1234
2003	1540	1166	0	787
2004	1247	748	105	1776
Total	44618	46385	19794	44129

Total en el NEA: 154.926 viviendas

Total Argentina 883.798 viviendas

en este trabajo como alternativo para la materialización de componentes de viviendas en nuestra región. Para ello se realizó un reconocimiento del universo de estudio en cuanto a las políticas forestales vigentes, a las especies madereras, a su disponibilidad comercial y a las posibilidades tecnológicas que ofrecen, así como de los desarrollos tecnológico–comerciales de la construcción de viviendas en madera en la región, especialmente en las provincias de Corrientes y Chaco.

Definición de las Unidades de Análisis y de las variables para cada una de ellas

Se han tomado como Unidades de Análisis (UA) tipologías de viviendas de interés social difundidas e implantadas masivamente en las provincias de Corrientes y Chaco, tanto a través de operaciones oficiales como de otras iniciativas. Se buscó, en la selección, abarcar tipologías correspondientes a diferentes periodos, desde el año 1970 hasta el año 2000, así como incluir tipologías diseñadas para ser materializadas mediante diferentes tecnologías y, así, además de las tecnologías tradicionales de los mampuestos, incluir tecnologías secas o, al menos, mixtas, en las que la madera estuviera presente como material constitutivo básico predominante. Se analizaron los esquemas de las distintas tipologías de viviendas de Corrientes y Resistencia, estableciéndose las principales características de cada una, entre las que se eligieron las de mayor representatividad. El análisis tipológico fue, por lo tanto, otro de los criterios para la definición de las UA.

Las variables fueron los aspectos de interés estudiados en las UA definidas, para lo cual se predeterminaron dos grupos formados a partir de dichos aspectos. Por un lado, los que pueden designarse como *aspectos funcionales y morfológicos edilicios*: forma del edificio, orientación, etc; y, por otro, los *aspectos tecnológico–constructivos*: desagregación de los componentes de la envolvente edilicia, muros, cubiertas, etc.

Aplicación de los procedimientos de operación

En líneas generales, la indagación en las variables definidas mediante la aplicación de procedimientos pretendió, en última instancia, recabar información acerca de tres cuestiones centrales:

1. La situación higrotérmica de los componentes de la envolvente edilicia de las UA, a través de la verificación de muros y techos con la normativa IRAM 11601/ 11605 / 11625 /11630 de habitabilidad higrotérmica referente a transmitancias térmicas, riesgo de condensaciones invernales y ganancias solares. Esta verificación se constituyó como punto de partida de la instancia procedimental, para aportar una visión general de la calidad constructiva a nivel higrotérmico de las viviendas producidas tanto por el sector oficial como por el sector privado.
2. Los consumos de energía eléctrica para mantener las condiciones de confort interior en cada UA, según las peculiaridades conferidas por las características higrotérmicas de sus envolventes (se ha centrado la atención en los muros de cerramiento) y por las particularidades de las otras variables definidas (orientación, implantación, forma), a efectos de determinar parámetros comparativos entre las envolventes de madera y las de mampostería tradicional que incidan en los consumos energéticos de las viviendas para mantener el confort.
3. La estimación de la energía total involucrada en 1m^2 de panelería de madera forestal del NEA en comparación con la involucrada en 1m^2 de muro de mampostería de ladrillos comunes de fabricación artesanal en los obrajes del Bañado Norte de la ciudad de Corrientes, tras efectuar estimaciones parciales de energía en cada etapa del Ciclo de Vida de estos elementos (extracción de materias primas, transporte, procesamiento y producción, puesta en obra, uso durante la vida útil y disposición final). Estas estimaciones fueron efectuadas según métodos proporcionados por la *norma ISO 14.040*, de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Con respecto a la instrumentación de estos procedimientos, referidos a algunas de las cuestiones mencionadas, y con respecto a algunos de los resultados obtenidos, puede decirse lo siguiente:

Comentarios acerca del punto 2

Aplicación de procedimientos para la cualificación y cuantificación del rendimiento energético de las UA en etapa de uso y su adecuación bioclimática.

Se realizaron numerosas simulaciones térmicas con el programa computacional *Quick II* ³, para distintas situaciones del material de la envolvente del prototipo, así como para distintas condiciones de orientación del mismo,

³A passive thermal design tool and load calculation computer program. Transfer of energy mass and momentum, Sudáfrica, 1997

obteniéndose los valores de cargas térmicas necesarias para mantener la situación de confort con medios artificiales y las fluctuaciones de temperatura en el interior de las viviendas en caso de no existir medios mecánicos de acondicionamiento térmico. Las condiciones mínimas de confort o condiciones de habitabilidad se fijaron para todos los prototipos analizados según los rangos usuales para la región y tomando en consideración los datos de temperaturas de diseño medias definidas en la norma IRAM 11603/96 para Corrientes y Resistencia. Se realizaron en base a la información extraída de las facturas bimestrales proporcionadas por usuarios de los prototipos en Corrientes y emitidas por la Dirección Provincial de Energía de Corrientes (DPEC), y mensuales proporcionadas por usuarios de los prototipos en el Chaco y emitidas por Servicios Energéticos del Chaco, Empresa del Estado Provincial (SECHEEP), que son los organismos *facturadores* del servicio de suministro de energía eléctrica. Así, se determinaron las situaciones de consumos reales de cada prototipo por mes, día y por superficie del edificio. Los datos arrojados por la simulación computacional y los datos reales de facturación fueron comparados. Para completar el análisis, se realizó la confrontación gráfica de los resultados obtenidos determinando los consumos promedio por unidad de superficie para cada vivienda (para el día de diseño de verano) y para cada tipología constructiva (tecnologías habituales de mampuestos y tecnologías secas o mixtas con uso de la madera en la panelería de cerramientos). Como resultado se pudieron verificar valores de energía necesaria para el confort y consumos reales de energía por superficie muy diferentes.

Comentarios acerca del punto 3

Introducción al ACV aplicado a muros de cerramiento de las UA.

Ya que no hay un sólo método para dirigir los estudios del ACV, se intentó en este trabajo operar con la flexibilidad suficiente como para implantar de forma práctica la secuencia metodológica del ACV estipulada en la norma ISO 14.040. Se analizó el Ciclo de Vida de los materiales usados en la materialización de 1m^2 de muro de madera y de 1m^2 de muro de mampostería de ladrillos comunes, así como el impacto de cada etapa de dicho ciclo, analizando sólo los principales desde el punto de vista de los problemas ambientales que se provocados en cada fase. Las dificultades en la consecución de los datos de consumo energético y emisiones para nuestra región motivaron la frecuente recurrencia a factores de normalización correspondientes a otras situaciones, por lo que los resultados obtenidos no son definitivos sino que están sujetos a modificación y/o ampliación conforme se pueda disponer, no sólo en la región sino en el país, de información actualizada y normalizada acerca del sector.

Para contar con un parámetro de referencia con respecto a los resultados obtenidos para la situación local, se efectuaron comparaciones de *perfiles ambientales* de materiales empleados para la producción del metro cuadrado de panel de madera (de pino) y muro de mampostería (cemento, cal, arena y ladrillos) en la situación europea, mediante el programa computacional *SimaPro 5 Demo*. Según esta aplicación computacional, el panel de madera tendría un perfil ambiental más benigno con respecto al muro de mampostería cerámica, ya que éste último requiere la intervención de otros materiales, como el cemento, de gran impacto ambiental en varias de las categorías comparadas. Para nuestra situación regional, los perfiles ambientales del muro de mampostería y del panel de madera fueron analizados sólo en las categorías *Potencial de acidificación* y *Potencial de calentamiento global* (efecto invernadero), verificándose que el muro de mampostería de ladrillo impacta más sobre el Potencial de calentamiento global (por las grandes emisiones de CO_2 durante la cocción de los ladrillos) y el Potencial de acidificación, tanto durante la fase de procesamiento y producción, como en la fase de uso (cuarenta años estimados). Los efectos negativos asociados al panel de madera se originan principalmente en el proceso de secado e impregnación de la madera.

En base a los resultados de la aplicación introductoria del ACV resumido, pueden definirse los factores principales que influyen de manera decisiva en el *perfil ambiental* de los materiales empleados para conformar la envolvente lateral de las viviendas de la región, según lo detectado en el caso analizado:

1. Cantidad de materia y recursos incorporados.
2. Energía y emisiones asociadas al transporte.
3. Energía y emisiones asociadas al procesamiento–producción.
4. Energía y emisiones asociadas al uso. En este punto se debería considerar muy especialmente y tratar de cuantificar la energía eléctrica necesaria para mantener las condiciones de confort interiores del edificio.

En base a los resultados de la simulación computacional de la energía necesaria para el confort, pueden definirse los factores que influyen de manera decisiva en el *consumo energético* (energía eléctrica) de las viviendas empleado para acondicionar los ambientes interiores durante la fase de uso de las mismas, es decir, cuarenta años. Dichos factores son:

1. Material constitutivo de muros y cubiertas.

2. Orientación.

3. Morfología.

La etapa de uso y servicio de las viviendas se presenta como la de mayor consumo energético a lo largo de todo el Ciclo de Vida de las mismas.

Propuestas de estrategias de diseño de viviendas energéticas, ambientalmente optimizadas y orientadas al confort humano

Se plantearon pautas para la disminución del consumo de energía, y con ello una disminución de los impactos negativos en el ambiente, a través de la optimización tecnológica de la envolvente (se intenta reducir el consumo de energía a partir de la reducción de la transmitancia térmica, del uso de materiales alternativos a los tradicionalmente usados, y de la mejora en las variables situacionales–relacionales y tecnológicas). Sólo algunas de estas estrategias de reducción del consumo implican un leve aumento en el costo inicial (las tecnológicas, relacionadas al diseño de muros y cubiertas), permitiendo, todas ellas en conjunto, obtener un menor costo operativo durante la vida útil del edificio y una mejora en la calidad térmica de los ambientes además de una disminución en la inversión inicial en equipos de climatización, dada la posibilidad de que éstos sean de menor potencia. Como además de la vida útil se consideró el ACV, también se propone una materialización de los muros de la envolvente con el material que ha demostrado menor impacto ambiental negativo a lo largo de su Ciclo de Vida: la madera de origen forestal.

Propuesta de indicadores de la *eficiencia ambiental* de componentes de viviendas de interés social en su Ciclo de Vida

A partir de los resultados obtenidos, puede afirmarse que la construcción regional no toma la dimensión ambiental como factor condicionante y determinante de su diseño. Es necesario, por lo tanto, buscar indicadores de sustentabilidad y de eficiencia ambiental, para minimizar el consumo de materia, energía, residuos y emisiones que ello conlleva, y, en función de esto, maximizar la producción y contribuir al sostenimiento del hábitat. En esta búsqueda de propuestas–indicadores de la eficiencia ambiental del diseño y construcción de viviendas de interés social en nuestras ciudades de Corrientes y Resistencia, se ha centrado la atención en uno de los componentes de dichas viviendas: los muros de cerramiento.

Indicadores propuestos para medir aspectos de la eficiencia ambiental de componentes de viviendas en su Ciclo de Vida:

Cantidad de materia: recursos o materias primas.

1. Materiales de construcción de los componentes bajo estudio.

- kg de material por m^2 de componente constructivo: muro, techo, etc..
- kg de material renovable por kg totales de material utilizado por m^2 de componente.
- kg de material potencialmente peligroso por kg totales de material utilizado por m^2 de componente.
- kg de material reciclable por kg totales de material utilizado por m^2 de componente.

2. Combustibles.

- kg de carbón necesarios para la extracción de 1kg de materia prima o recurso.
- Litros de gas natural necesarios para la extracción de 1kg de materia prima o recurso.
- Litros de gasoil necesarios para la extracción de 1kg de materia prima o recurso.
- Litros de nafta necesarios para la extracción de 1kg de materia prima o recurso.
- Litros de petróleo necesarios para la extracción de 1kg de materia prima o recurso.

3. Uso de la tierra.

- m^2 de tierra afectados por la extracción de 1 kg de materia prima o recurso.

Energía y emisiones asociadas al transporte, en todas las etapas.

Para cada tipo de transporte habrá que considerar:

- Tipo de energía consumida por unidad de distancia (MJ/km).
- Tipo de energía consumida por unidad de rendimiento de transporte (MJ/ton*km).
- Emisiones ambientales por unidad de distancia (gramos de CO₂ y gramos de SO₂/km).
- Emisiones ambientales por unidad de rendimiento de transporte (gramos de CO₂ y gramos de SO₂/ton*km).
- Emisiones ambientales por porcentajes promedio de carga (gramos de CO₂ y gramos de SO₂/kg de material transportado).

Energía y emisiones asociadas al procesamiento y producción de componentes.

1. Extracción materia prima:

- Energía eléctrica para la extracción de materia prima (kWh/kg de material extraído).
- Agua consumida para la extracción de materia prima (litros/kg de material extraído).
- Emisiones ambientales por unidad de consumo de energía eléctrica diaria (gramos de CO₂ y gramos de SO₂/kWh/m²/día).

2. Procesamiento y transformación–producción de materiales y componentes:

- Energía eléctrica para transformar la materia prima (kWh/kg de material producido).
- Agua consumida para la producción y transformación (litros/kg de material producido).
- Litros de combustible para la producción de 1m² de producto.
- Emisiones ambientales por unidad de consumo de energía eléctrica (gramos de CO₂ y gramos de SO₂/kWh/m² procesado y transformado).

3. Puesta en obra:

- Energía eléctrica para puesta en obra de componentes (kWh/m² puesto en obra).
- Agua consumida para la puesta en obra (litros/m² puesto en obra).
- Litros de combustible para la puesta en obra de 1m² de componente.
- Emisiones ambientales por unidad de consumo de energía eléctrica (gramos de CO₂ y gramos de SO₂/kWh/m² puesto en obra).

Energía y emisiones asociadas al uso.

- Consumo diario de energía eléctrica por unidad de superficie (kWh/m² de edificio/día).
- Consumo anual de energía eléctrica por unidad de superficie (kWh/m² de edificio/año).
- Consumo anual de energía eléctrica por unidad de volumen (kWh/m³ de edificio/año).
- Emisiones ambientales por unidad de consumo de energía eléctrica anual (gramos de CO₂ y gramos de SO₂/kWh*m²*año).

Residuos.

- kg de residuos sólidos por extracción de 1 kg de materia prima utilizada.
- kg de residuos sólidos por producción de m² de componente.
- kg de residuos sólidos por puesta en obra de m² de componente.
- kg de residuos sólidos por mantenimiento de m² de componente/año.
- kg materia orgánica por kg totales de residuos sólidos generados.
- kg material reciclable por kg totales de residuos sólidos generados.
- kg material incinerado por kg totales de residuos sólidos generados.
- kg material vertido por kg totales de residuos sólidos generados.
- Aguas residuales vertidas por total de agua utilizada.

Resultados obtenidos

I

Mediante la aplicación de la normativa de habitabilidad a los componentes de la envolvente edilicia para evaluar su comportamiento higrotérmico, se advierte en general un bajo nivel de habitabilidad higrotérmica, sobre todo en lo referente a valores de transmitancias térmicas, siendo los valores obtenidos muy altos, lo que sitúa a los componentes analizados en un *nivel C: mínimo aceptable*, cuando no fuera de toda categoría por ser demasiado altos. Sólo en casos aislados se presentan *niveles medios B*. La normativa IRAM, a la luz de la cual fueron analizados los componentes de las UA, no es de aplicación obligatoria para el sector privado, al cual corresponden varias de las viviendas analizadas, pero teóricamente sí lo es para el sector oficial, aunque por los resultados obtenidos parece no haber sido tenida en cuenta ni exigida en el momento de presentar los proyectos de obra ante los organismos correspondientes.

En líneas generales, la situación higrotérmica de los componentes de la envolvente analizados (muros y techos) resulta altamente preocupante, ya que situaciones de mal desempeño higrotérmico acarrear patologías no solamente constructivas, sino que generan ambientes interiores fuera de las condiciones de confort, lo que a su vez repercute en el bienestar de los ocupantes cuando estos no cuentan con medios para acondicionar artificialmente (y por medios mecánicos) los interiores de sus viviendas; o bien repercute en su economías, ya que de contar con medios de acondicionamiento ambiental, los gastos de energía serían mucho menores. Las soluciones de madera analizadas resultan tener un diseño tecnológico muy precario y el criterio dominante parece haber sido utilizar la menor cantidad posible de material. Aún así, se vislumbra que la madera posee, comparativamente con otros materiales como los mampuestos, valores mucho más bajos de transmitancia térmica, lo que la hace más aislante y más eficiente desde el punto de vista del consumo energético. Se detecta que la panelería de madera, a espesores mucho menores, en soluciones de muro tipo *sandwich*, presenta menores o iguales valores de transmitancia térmica que soluciones de mampostería de veinte y hasta treinta centímetros de espesor.

II

A través de la aplicación de procedimientos para la cualificación y cuantificación del rendimiento energético de las UA en etapa de uso y su adecuación bioclimática, se verifica que los consumos reales de energía por superficie (calculados a partir del consumo bimestral de meses típicos de verano promedio por sesenta días, dividido por la superficie de la vivienda), según la empresa facturadora, son mucho menores a los consumos necesarios para mantener el confort interior según la simulación electrónica. Esto puede deberse a la insuficiente disponibilidad económica por parte de los usuarios para proveerse de artefactos para el acondicionamiento artificial de los ambientes y, por ende, a la costumbre de vivir en ambientes con altos índices de desconfort. La mayor necesidad de acondicionamiento térmico se produce en verano. Los resultados obtenidos determinan el grado de déficit de las tipologías analizadas en cuanto a consumos reales de energía y en cuanto a la comparación de los consumos con estándares internacionales. Al reemplazar los muros de mampostería tradicional por la panelería de madera propuesta, el índice anual de consumo energético para mantener el confort por unidad de superficie se redujo casi un 21 % con respecto a la situación original. Si este índice anual de ahorro se multiplica por el periodo de vida útil para el que las viviendas son proyectadas, fijado en cuarenta años, se tiene un ahorro referido a todo el periodo que representa el uso del producto, en cuanto a energía eléctrica para mantener el confort, de ese 21 %. Para la situación de enfriamiento, el sistema constructivo que parece más adecuado (el que requiere menor cantidad de energía para enfriamiento en verano) es el de la madera.

Para los casos analizados, en las situaciones de enfriamiento, en verano, especialmente desfavorable pareciera ser la orientación de grandes superficies de pared exterior al norte, debido a que en esta orientación el plano recibe la mayor proporción de radiación solar justamente en una franja horaria en que las temperaturas exteriores experimentan su pico máximo. Para plantas de viviendas de proporciones cuadradas, además de la orientación norte, también resulta desfavorable en verano la orientación oeste.

Para la situación de calefacción, en invierno, la orientación más favorable es la de frente norte y la más desfavorable es la de los frentes sur y este. Por lo tanto, no es que deba privilegiarse a priori y para todos los casos una orientación sobre las otras, sino que la elección de orientación deberá tener en cuenta, en primer lugar, cuáles son los lados mayores o de mayores superficies, y recién allí aplicar el patrón observado para evitar las grandes superficies al norte y al oeste, para verano.

Los resultados obtenidos corroboran la relación entre el factor de forma y el comportamiento térmico edilicio. Las tipologías compactas presentan bajos valores de factor de forma y un mejor comportamiento térmico, sobre las tipologías abiertas, tanto para verano como para invierno, si bien favorecen menos la ventilación cruzada, con respecto a las tipologías de plantas más abiertas, reduciendo posibilidades de refrescamiento en verano. Al aumentar el factor de forma (vivienda más abierta, de mucha extensión de la superficie envolvente con respecto al volumen interior delimitado) y el coeficiente de absorción de radiación del material exterior de la envolvente,

aumentan también las temperaturas radiantes medias interiores y, por lo tanto, es mayor la energía necesaria para mantener el confort en verano, aunque también son menores las pérdidas de calor en invierno.

Factores decisivos en el perfil ambiental de los materiales empleados

Se utilizó el método del ACV para la identificación de aquellos materiales constitutivos de muros envolventes de viviendas con menores efectos ambientales negativos. Se cuantificaron de modo aproximado los flujos entrantes y salientes del sistema durante toda su vida útil, los cuales son extraídos del ambiente natural o bien emitidos en él, calculando los requerimientos energéticos y materiales del sistema y la eficiencia energética de sus componentes, tropezando con la dificultad de que en el ámbito local y regional es muy poca la información que se pudo encontrar sobre los aspectos energéticos y ambientales de materiales edicios. A pesar de ello, pudieron definirse los factores principales que influyen de manera decisiva en el perfil ambiental de los materiales empleados para materializar la envolvente lateral de las viviendas de la región. Según lo detectado en el caso analizado:

Cantidad de materia y recursos incorporada.

Un indicador tosco del impacto ambiental de cada tipo de muro analizado está constituido por la cantidad de materia que tiene incorporada. Se trata de un indicador limitado, que no contempla el consumo de energía requerido para la fabricación de esos materiales, ni los impactos ambientales asociados a cada uno de ellos. Este factor favorece al panel liviano tipo *sandwich* de madera (29 kg/m^2), ya que su peso es casi diecisiete veces menor que el del muro de mampostería de ladrillos comunes (490 kg/m^2). Por otra parte, la madera utilizada procede de bosques con explotación forestal sustentable (recursos naturales renovables) y no de bosques depredados y no reforestados.

Energía y emisiones asociadas al transporte.

Considerando este factor se obtiene una importante diferencia a favor del panel de madera, ya que la madera forestal es de origen local (departamento de Ituzaingó, NE de Corrientes), y además no intervienen otros materiales, a excepción de los clavos para el armado del panel y el papel *tipo Kraft* que se usa como barrera contra el viento en el panel. En cambio, el muro de ladrillos comunes, a pesar de que éstos son de fabricación artesanal y local, tiene muchísima incidencia en el transporte el empleo de cemento y cal.

Energía y emisiones asociadas al procesamiento–producción.

Analizando los recursos energéticos utilizados, la mampostería de ladrillos comunes requiere más de cuatro veces lo requerido por el panel *sandwich* de madera. Entre los recursos que son incluidos en este factor, y que no son contemplados en el primero (cantidad de materia incorporada), se cita la energía requerida para fabricar el cemento o la cal, es decir, los materiales auxiliares necesarios para la fabricación del muro. En cuanto a la energía requerida para procesar la madera en aserraderos, la misma estaría dada por la energía eléctrica que requieren las máquinas de corte, seccionamiento y moldurado (como sierra sinfín, canteadora, despuntadora, *machimbradora*) que resulta menor, en nuestra zona y con la tecnología disponible en los aserraderos locales, a la energía consumida, por ejemplo, en la fabricación del cemento y la cal para ejecutar el muro de ladrillos.

Energía y emisiones asociadas al uso.

En este punto se debería considerar muy especialmente y tratar de cuantificar la energía eléctrica necesaria para mantener condiciones de confort interior del edificio. Las variables determinantes de la energía consumida para mantener las condiciones de confort interior edilicio ya fueron discutidas precedentemente. En cuanto a la última fase del Ciclo de Vida de los muros analizados, la fase de desmantelamiento o de fin de vida, el panel de madera presenta ventajas dada la mayor facilidad para desmontar, tanto por la tipología constructiva como por el menor peso que presenta. Además, la madera tiene varias opciones de reciclado y reutilización, incluyendo la combustión con fines energéticos, mientras que la mampostería de ladrillos comunes no es reutilizada. Tras su demolición se usan los escombros para rellenos o para contrapisos pobres, al menos localmente, o bien termina siempre en vaciaderos de residuos o en rellenos sanitarios. El perfil ambiental de la mampostería de ladrillos comunes se demostró más negativo ambientalmente que el de los muros de madera en casi todos los impactos analizados. El proceso de fabricación de ladrillos, que en casi todas las zonas de Corrientes y Resistencia se realiza de forma artesanal, en condiciones laborales muy precarias y utilizando leña para su cocción, libera grandes cantidades de monóxido de carbono. En cambio, cuando se utiliza madera, se produce un efecto de retención del CO_2 atmosférico en el edificio del cual forma parte, y se evitan las emisiones asociadas al uso de otros materiales que requieren energía convencional para su fabricación.

Conclusiones

En el presente trabajo, los aspectos de sustentabilidad energética con respecto a los recursos naturales y el medio ambiente son tratados de manera conjunta, con la convicción de que las fuentes energéticas constituyen una parte muy importante dentro de los recursos naturales (sean éstos renovables o agotables) y que el impacto de las actividades del sector energético sobre el medio ambiente es múltiple. El ahorro y el mejor uso de la energía implican una disminución del impacto sobre el ambiente local y global, y de la presión sobre los recursos energéticos agotables. En este contexto, la aplicación de criterios de diseño energética y ambientalmente eficientes para los componentes edilicios, especialmente en la envolvente arquitectónica, conlleva un ahorro en los gastos de materia, energía, emisiones, residuos, etc. La producción del hábitat humano puede así, mediante un adecuado diseño, ser más sustentable y generar menos impacto en el medio natural. Pero es fundamental remarcar que la eficiencia energética no es el único criterio de diseño, ya que la calidad del hábitat no sólo depende de los recursos energéticos disponibles, sino también del costo de insumos en relación con los recursos económicos disponibles y, sobre todo, de las condiciones ambientales que se logran: a esto apunta la eficiencia ambiental.

Por ello en este trabajo se considera a la eficiencia energética como parte de la eficiencia ambiental. En base a esto, el objetivo del uso eficiente de la energía no reside únicamente en el ahorro, sino principalmente en la optimización de las condiciones de habitabilidad con el menor consumo de todos los recursos, ya sean energéticos o económicos. Obtener mayor confort con el menor costo disminuirá el consumo de combustibles convencionales y también mejorará la calidad de vida de los habitantes. Se ha dado cumplimiento al objetivo propuesto al encarar el trabajo, referido a aportar herramientas de análisis que contribuyan al desarrollo de conocimientos relacionados con la eficiencia energética-ambiental del sector edilicio residencial en la región nordeste de Argentina, a través de la comparación de dos tecnologías. Por un lado, la del empleo de la madera de origen forestal mediante técnicas de construcción *en seco* y, por otro, la construcción tradicional mediante técnicas convencionales, de mampuestos o *húmedas*, en base al estudio del rendimiento energético en etapa de uso o servicio y al ACV (en toda la cadena productiva del sistema-producto, entre las que la etapa de uso es altamente significativa). Lograr en el sector edilicio residencial un perfil ambiental satisfactorio es posible sin sacrificar calidad del ambiente habitable, mediante la instrumentación de medidas de adecuación, entre las que la selección de materiales constitutivos de dicha construcción tiene una incidencia preponderante, junto a factores de diseño bioclimático, implantando pautas de orientación, morfología y diseño tecnológico de los componentes de la envolvente. Por otra parte, la instrumentación de estas medidas no supondría mayores costos, sino más bien un mayor porcentaje de tiempo dedicado a la fase de diseño y proyecto, y la plena vigencia de una normativa de observación obligatoria, tanto para el sector público como para el privado. El principio a seguir es que todo nuevo gasto destinado a mejorar el rendimiento energético de una solución constructiva debe confrontarse con lo que es capaz de aportar en el plan energético.

Con respecto a la normativa, sería necesario el desarrollo de una metodología integral simplificada de estimaciones globales de los parámetros energético-ambientales, como los aquí incipientemente desarrollados y propuestos, cuya aplicación por parte de proyectistas y actores del sector de la construcción se constituya en eje de la normativa mencionada.

Ninguna de las normas vigentes actualmente en la región ni en el país incorpora la necesidad de un análisis integral de los flujos energéticos y los perfiles ambientales en la edificación, lo que implica que la actual normativa no contempla el factor eficiencia energética-ambiental en la edificación, el cual se reconoce en la actualidad como un factor fundamental desde el punto de vista ambiental a nivel internacional.

Es notable que todos los países que han avanzado en el camino a la reestructuración sientan la necesidad de proveer fuerte apoyo para la promoción del uso eficiente de la energía eléctrica. En Argentina, actualmente, no existe este tipo de apoyo ni de programas, sino sólo algunos esfuerzos aislados pero no incluidos dentro de una política o marco de promoción general de esta actividad. Por ello, debería implantarse a nivel provincial y municipal, en lo referente a normativa, una serie de medidas destinadas a fomentar el Uso Racional de la Energía (URE) a través de incentivos fiscales a construcciones con criterios de diseño ambientalmente conscientes (un sistema de facturación con beneficios para aquellos proyectos que presenten perfiles de rendimiento energético-ambiental mejorados). También debería gestionarse la inclusión en los códigos de edificación de un apartado dedicado al URE, con recomendaciones técnicas sobre las medidas a implantar para mejorar la resolución energética de las construcciones, así como desarrollar un método integral simplificado de evaluación energética-ambiental y verificación de la habitabilidad higrotérmica de las obras. Se debe considerar tanto en las nuevas obras, como en las ampliaciones y refacciones, siendo considerada como documentación técnica imprescindible y obligatoria en el legajo, tanto de los consejos profesionales como de las municipalidades respectivas. Éstas constituirían las primeras medidas tendientes a consolidar las bases de una futura propuesta de certificación energética-ambiental de edificios en nuestra región.

De los tres momentos que caracterizan el ACV de un edificio, aquel correspondiente a la utilización es preponderante en cuanto a consumos y emisiones se refiere, debido fundamentalmente a la gran duración que tienen los edificios. Esto determina que las estrategias adoptadas para reducir el impacto del sector deban introducir consideraciones en la fase de diseño orientadas a reducir los consumos de operación de los edificios.

El muro de mampostería de ladrillos comunes, a lo largo de su Ciclo de Vida, impacta más fuertemente en el *Potencial de calentamiento global*, (por las grandes emisiones de CO₂ durante la cocción de los ladrillos). Dicho proceso de cocción supone un gasto energético considerable, ya que requiere temperaturas del orden de los 1000°C, y en el *Potencial de acidificación*, tanto durante la fase de procesamiento y producción como en la fase de uso, 40 años estimados. Por otra parte se obtiene de recursos no renovables y demanda mayor cantidad de energía asociada al transporte, ya que en él intervienen materiales como el cemento y la cal, a diferencia del muro de madera, en que el 95 % del material constitutivo básico lo representa la madera local de origen forestal. Sus ventajas ambientales radican en su durabilidad y en sus bajos costos de mantenimiento. Los efectos negativos asociados al panel de madera se originan principalmente en el proceso de secado e impregnación de la madera. En la actualidad, los protectores deben estar registrados en los ministerios de sanidad y de agricultura, donde se realiza el control de su toxicidad.

Durante la fase de uso y operatividad de la vivienda, el consumo de electricidad, tanto el real como el simulado para lograr el confort interior, aumenta en verano. Los resultados obtenidos determinan el grado de déficit de las tipologías analizadas en cuanto a consumos reales de energía, mucho menores a los necesarios para el confort, y en cuanto a la comparación de los consumos con estándares internacionales. Todas las tipologías acusan consumos de energía anual para el confort por unidad de superficie iguales a ocho o nueve veces más que el más alto de los estándares de referencia. Al reemplazar los muros de mampostería tradicional por la panelería de madera propuesta, el índice anual de consumo energético para mantener el confort por unidad de superficie se redujo casi un 21 % con respecto a la situación original. Si este índice anual de ahorro se multiplica por el periodo de vida útil para el que las viviendas son proyectadas, que se fijó en cuarenta años, se tiene un ahorro, en cuanto a energía eléctrica para mantener el confort, de ese 21 %. A partir de ello, si se tiene en cuenta el número de viviendas que sería necesario fabricar cada año para cubrir la demanda habitacional insatisfecha, esta diferencia de 21 %, solamente en etapa de uso a favor del empleo de madera forestal en la materialización de la envolvente, representaría cantidades absolutas muy relevantes para el ambiente.

Mediante las herramientas aplicadas se pudo demostrar que la construcción en madera representa una alternativa constructiva más eficiente, económica y benigna desde el punto de vista ambiental que la construcción tradicional (mediante la técnica del mampuesto de fabricación local artesanal) de viviendas de interés social en el NEA. Ha sido corroborada en alto grado en base a los resultados obtenidos a través de los procedimientos aplicados (simulación computacional de consumo de energía para el confort de viviendas, análisis de componentes de la envolvente mediante normativa IRAM de habitabilidad higrotérmica y aplicación introductoria y aproximada al ACV, según *norma ISO 14.040*).

Pese a ello, parece una contradicción que la tecnología constructiva maderera no esté suficientemente difundida en nuestra región, ni aprovechada o explotada, cuando debería ser una de las tecnologías dominantes, por la alta disponibilidad de materia prima forestal y por el potencial de ahorro energético y eficacia ambiental que conlleva. Resulta imprescindible planificar y proyectar un hábitat futuro que nos permita lograr mejor calidad de vida con menor consumo de energía, sin aumentar significativamente el uso de otros recursos económicos y materiales. Los arquitectos tenemos una responsabilidad creciente en el logro de esa meta; debemos producir edificios ambiental y energéticamente eficientes que proporcionen mejores condiciones ambientales con menor esfuerzo, a través de:

- La selección de materiales con menor contenido energético, incluyendo la energía necesaria para su fabricación y puesta en obra, para lo cual la herramienta y metodología del ACV se demuestra con alta potencialidad para la evaluación energética y ambiental de alternativas proyectuales en el sector edilicio, ya que posibilita estimar los impactos ambientales generales que cada elección determina e incluso identificar de manera aproximada los procesos o los materiales que los causan, lo que constituye el primer paso para mitigarlos.
- El diseño de formas, tipologías edilicias y elementos constructivos que requieran menos energía para su construcción y acondicionamiento, ya que las decisiones respecto a la forma de agrupamiento y a las tipologías empleadas tienen gran importancia, pues determinan el contenido energético de la construcción y además influyen en el consumo de energía requerida para el mantenimiento y uso del edificio.
- La concienciación de los usuarios de los edificios, que desempeñan un importante papel en la estrategia de operación para el control climático del edificio, que en última instancia, redonda en el potencial de ahorro energético y consecuente URE y eficiencia ambiental. Cuando no se incorporan desde el diseño tecnologías cuyo perfil ambiental-energético resulte eficiente, el propietario y la comunidad pierden una importante oportunidad de disminuir los consumos de energía para toda la vida útil del edificio, en tanto que un proyectista consciente puede lograr, con los conocimientos y los instrumentos adecuados, una reducción muy importante de los impactos ambientales del sector edilicio.

Referencias Bibliográficas

- ALÍAS, H. M.
2003 *Estudio de la eficiencia ambiental del uso de madera en la construcción de viviendas en el NEA en base al análisis energético y de Ciclo de Vida*
Tesis de la Maestría en Gestión Ambiental de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UNNE.
Resistencia, Chaco, Argentina.
- ALÍAS, H. M.; JACOBO, G. J.
2004 *Situación higrotérmica, energética y ambiental de la construcción arquitectónica en la Región Nordeste de Argentina*
Corrientes, Argentina: Moglia Ediciones SRL
- ARENA, A. P.
1999 «Un instrumento para el análisis y evaluación ambiental de productos y tecnologías. El Análisis del Ciclo de Vida. II Adecuación para el sector edilicio»
Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERNA) Volumen 3, número 2, XXII Congreso de la Asociación de Energías Renovables y Ambiente (ASADES) S. M. de Tucumán, Argentina.
- ARENA, A. P.
2001 «Análisis del ciclo de vida de cubiertas alternativas utilizadas en viviendas residenciales en Mendoza (Argentina)»
Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERNA) número 5, XXIV Congreso de la Asociación de Energías Renovables y Ambiente (ASADES). Mendoza, Argentina.
- CELANO, J. A.; JACOBO, G. J.
2002 *El Hábitat Humano en el NEA. Una perspectiva de solución desde la óptica tecnológica: uso de la madera en sistemas constructivos.*
Corrientes, Argentina: Ediciones Moglia
- COMPAGNONI, A. M.
2001 «Análisis de eficiencia energética e impacto ambiental de tecnologías constructivas en vivienda de interés social.»
Zona Bioambiental III, XXIV Congreso de la Asociación de Energías Renovables y Ambiente (ASADES). Mendoza, Argentina.
- EVANS, J. M.
2002 «Energía en edificios: identificación de alternativas de diseño de bajo impacto.»
Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA) Vol. 6, XXV Congreso de la Asociación de Energías Renovables y Ambiente (ASADES). Buenos Aires, Argentina.
- JACOBO, G. J.
2003 *Hábitat humano, medio ambiente y energía. Análisis de consumo energético con valoración ecológico-toxicológica de rubros constructivos para obras de arquitectura en el Nordeste de Argentina.*
Corrientes, Argentina: Ediciones Moglia
- JACOBO, G. J.
2004 *Arquitectura del Siglo XX para el Siglo XXI.*
Corrientes, Argentina: Ediciones Moglia
- MITCHELL, J.; ARENA, A. P.
2000 «Evaluación ambiental comparativa de materiales mampuestos aplicados en muros de viviendas en regiones áridas andinas.»
Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA) número 4, XXIII Congreso de la Asociación de Energías Renovables y Ambiente (ASADES) Resistencia, Chaco.