

INTEGRACIÓN DE LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN SOBRE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS (2000-2014) EN LA CÁTEDRA ESTRUCTURAS II, FAU-UNNE

ALÍAS, Herminia M. / JACOBO, Guillermo J.
heralias@arq.unne.edu.ar / gjjacobo@arq.unne.edu.ar

Cátedra Estructuras II. Área de la Tecnología y la Producción. FAU, UNNE

Palabras Clave: Edificios, metodología, evaluación, desempeño energético.
Keywords: Buildings, methodology, evaluation, energy performance.

RESUMEN

Se comentan e interrelacionan los resultados generales obtenidos a lo largo de catorce años de desarrollo de diversos proyectos de investigación (acreditados por la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la UNNE) en la cátedra Estructuras II (FAU-UNNE), que configuran un estado actual de situación en que se encuentran definidas las bases, tanto metodológico-conceptuales como procedimentales, para el estudio analítico y evaluación de la adaptación de los edificios (con cualquier tipología y función), a través de su diseño técnico-constructivo, al clima y al ambiente local y regional. A partir de estos resultados han surgido diagnósticos cuali y cuantitativos, orientadores para la definición de criterios de diseño encaminados al mejoramiento de las problemáticas detectadas. Se explican los avances logrados en diferentes períodos con la articulación e integración de los aportes de becarios de investigación que fueron integrando el equipo de trabajo.

ABSTRACT

The general and interrelated results obtained throughout fourteen years of development of diverse projects of investigation (accredited by the Secretaría General de Ciencia y Técnica of the UNNE) in the cathedra Estructuras II (FAU-UNNE), are commented here. These form a current condition of situation in which they find definite the bases, both methodological - conceptual and procedural, for the analytical study and evaluation of the adaptation of the buildings (with any typology and function), through its technical - constructive design, to the climate and to the local and regional environment. From these results have emerged qualitative and quantitative diagnostics guiding for defining design criteria aimed at improving the problems detected. Advances achieved in different periods with the joint and integration of contributions from fellows of research who integrated the work team, are explained here.

INTRODUCCIÓN

Diseño arquitectónico sustentable. El papel de la tecnología

Se parte del contexto de crisis energética actual, en medio del cual en Argentina existe la necesidad urgente de concienciación en el uso de técnicas alternativas para alcanzar eficiencia energética de los edificios, a través del adecuado diseño de las envolventes, por medio del uso de estrategias tecnológicas que logren el confort sin necesidad de generar contaminación y excesivo gasto energético. Asimismo, es necesario implementar herramientas que permitan reducir el consumo energético derivado de deficiencias proyectuales. Los procedimientos de valoración energética son una herramienta potencial para la producción sustentable de edificios (COMPAGNONI Y DELBENE, 2009).

En Argentina, el sector residencial se ubica en segundo lugar en cuanto al consumo de energía eléctrica, después del sector industrial. El consumo de energía que supone mantener los ambientes interiores en condiciones adecuadas (entre 18° C y 29 °C, JACOBO, 2001) es el gasto energético más importante de los edificios, y causa uno de los mayores impactos sobre el ambiente, ya que se produce durante todo el período de funcionamiento de los edificios. En el NEA, los rubros de refrigeración y calefacción ocupan el primer lugar en el consumo energético total residencial, en tanto el rubro de iluminación es el segundo en participación.

Para lograr el confort humano sin depender de las energías contaminantes, el clima y la naturaleza brindan gran cantidad de recursos; por eso, resulta indispensable el conocimiento del clima local y sus variables para definir estrategias de diseño. En este sentido, las ciudades de Resistencia y Corrientes (dos de las cuatro ciudades "cabecera" del NEA) están implantadas en la zona bioambiental Ib: muy cálida (IRAM 11603, 1996).

En este contexto regional, la variable del confort higrotérmico es poco considerada en el diseño arquitectónico: en las edificaciones en general, la adecuación climática es un factor que se introduce generalmente en instancias posteriores al diseño (por parte del usuario), para subsanar algunas falencias de proyecto y construcción y los problemas de disconfort resultantes, teniendo que recurrirse a la implementación de equipos electromecánicos de acondicionamiento ambiental. Esto genera un alto y continuo consumo energético con el fin de alcanzar las condiciones necesarias de habitabilidad en los espacios (ALÍAS, 2010).

En la concepción del edificio se evalúa predominantemente solo el costo de construcción, sin considerar lo que demandará el edificio para su funcionamiento. Aun si se considera solo el costo inicial de la envolvente, se presentan paradojas de la utilización de envolventes de mayor costo pero ineficientes por un incorrecto diseño (LAMBERTUCCI ET AL., 2007; en GATANI ET AL., 2008).

Los proyectos de investigación que viene desarrollando el equipo de investigación de la cátedra Estructuras II (FAU - UNNE) se centran en la evaluación higrotérmica, energética y ambiental de edificios de los principales centros urbanos del NEA —Corrientes, Resistencia, Posadas y Formosa—, en función de su diseño técnico-constructivo (tabla I). Los estudios realizados se plantearon con los siguientes objetivos:

1. Elaborar diagnósticos de situación de determinados edificios o conjuntos de ellos, basados en su evaluación integral (consideración de variables situacionales, relacionales y técnico-constructivas) con profundización en el desempeño térmico, energético y ambiental.
2. En función de los diagnósticos elaborados, proponer soluciones mejoradoras (en lo concerniente al diseño integral de las envolventes constructivas edilicias), tanto de los edificios existentes como de edificios para construir, tendientes a lograr un uso más eficiente de la energía en ellos, y con esto, una me-

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DESARROLLADOS POR EL EQUIPO DE LA CÁTEDRA ESTRUCTURAS II – FAU – UNNE (2000 – 2014)				
Año	Denominación del proyecto acreditado	Objetivos generales alcanzados	Temáticas conexas abordadas mediante becas de investigación de pregrado	Temáticas conexas abordadas mediante becas de investigación de posgrado y planes de trabajo de mayor dedicación
2000-2003	Aplicación de criterios de optimización energética en la resolución de problemas de diseño para la producción de arquitectura tecnológicamente inteligente en el NEA.	Desarrollar conceptos de eficiencia energética en edificios, a través del estudio y análisis de propiedades específicas de los materiales de construcción más habitualmente usados para su materialización, que resulten útiles para la transferencia directa en la actividad docente de grado en la FAU-UNNE, mediante los análisis críticos de tipologías constructivas habituales y no convencionales, tanto en la región NEA como en el país, y comparación con la realidad constructiva global.	Comportamiento de materiales de construcción en muros de cerramiento. Condiciones ambientales y su adecuación al NEA.	Maderas y sistemas constructivos en madera en el NEA. Sus patologías. Acciones preventivas y correctivas en el diseño, ejecución y uso.
			Adecuación de muros de cerramiento a nueva normativa de transmitancia. Tipologías de mejor performance según categorías de construcción en el NEA.	Desarrollo y aplicación de criterios de eficiencia energética en construcciones en madera en el NEA, aplicando parámetros de habitabilidad y rendimiento higratérmico.
			Estudio comparativo del comportamiento higratérmico de cubiertas ventiladas y no ventiladas, para las condiciones climáticas de la región NEA.	Aprovechamiento integral de los residuos de la madera para el desarrollo de componentes constructivos en el NEA.
2003-2006	Arquitectura inteligente sustentable en el NEA: desarrollo de criterios de diseño para la edificación según análisis de ciclo de vida y según balance energético anual.	Desarrollar conocimientos sobre tecnologías de construcción optimizadas energéticamente y ambientalmente conscientes en el NEA, que representen alternativas válidas con respecto a las habitualmente aplicadas, con la premisa de que resulten sustentables en cuanto a los consumos energéticos anuales y al impacto ambiental de sus componentes constructivos, según su ciclo de vida completo.	Desarrollo de un sistema constructivo para uso en emergencias habitacionales ante catástrofes naturales hídricas en el NEA, usando el recurso natural maderero regional.	Aplicación simplificada de "ACV" a muros de madera en comparación con muros de mampostería de la envolvente de viviendas de interés social del NEA.
			Desarrollo de paneles termoacústicos basados en residuos de madera para el mercado de la construcción.	Desarrollo de sistemas industriales de producción de sistemas constructivos prefabricados en madera para viviendas de interés social en la región NEA.
			Desarrollo de criterios para la producción de ladrillos comunes según normas técnicas en el NEA.	Evaluación del desempeño de equipamientos arquitectónicos de interés social. Desarrollo una metodología para la implementación en el NEA.
				Análisis ambiental del proceso de producción de hábitat urbano en barrios de interés social construidos mediante operatorias oficiales en la ciudad de Resistencia.
2005-	Optimización higratérmica-energética de edificios en altura mediante correcciones de puentes	Desarrollar conocimientos sobre características térmicas de la estructura (portante) y la envolvente (cerramiento) de edificios en altura local y regional, evaluar la necesidad de mejorar los niveles de	El vidrio en la construcción y su aplicación en equipamientos urbanos de interés social de la región NEA, según principios de arquitectura bioclimática.	Diseño tecnológico-estructural aplicado a la optimización del rendimiento higratérmico-energético de edificios en torre. Base de datos de edificios en altura de Corrientes y Resistencia.

2008	térmicos en su envolvente estructural-constructiva.	aislación para obtener condiciones de confort y uso racional de la energía y tomar en cuenta el impacto de los puentes térmicos. Proponer pautas de diseño para una adecuada materialización, de la dupla "envolvente-estructura portante" de edificios en torre.	Estudio de los materiales aislantes termoacústicos e higratérmicos del Mercado de la Construcción del NEA y su uso en el diseño tecnológico de los elementos constructivos de edificios en altura regionales.	Reducción del consumo eléctrico para climatización de edificios en torre mediante correcciones de puentes térmicos en su envolvente.
			Desarrollo de criterios tecnológicos higr-termo-acústicos para el diseño de envolventes constructivas eficientes para la edificación en altura del NEA	Aplicación de conceptos de calidad, mantenimiento y durabilidad referidos a lesiones de la construcción en edificaciones arquitectónicas.
				Aplicación de actualizaciones normativas del IRAM sobre aislamiento y acondicionamiento térmico de edificios.
				Evaluación del comportamiento térmico de los componentes constructivos de los edificios en los puntos de encuentro estructura-envolvente perimetral con programas computacionales.
				Características tipológicas técnico-constructivas de edificios en altura construidos en las ciudades de Corrientes y Resistencia.
2008-2010	Evaluación térmico-energética de equipamientos habitacionales sociales en las ciudades de Corrientes y Resistencia.	Estudiar viviendas sociales tipológicas características de Resistencia y Corrientes, y generar "Bases de Datos" según su desempeño energético, determinado mediante Auditorías Energéticas Simples. Elaborar propuestas técnico-constructivas mejoradoras para las tipologías de viviendas estudiadas que optimicen sus condiciones de habitabilidad, y minimicen su consumo energético para climatización.	Comportamiento térmico-energético de viviendas de interés social en la región NEA por medio de la aplicación de la herramienta informática ECOTECT	Principios de materialización tecnológica sostenible de viviendas colectivas en Resistencia y Corrientes mediante la aplicación del programa de simulación ECOTECT.
			Análisis de viviendas urbanas del sector privado en el AMGR a partir de 1920. Verificación de condiciones higratérmicas.	Desarrollo de Banco de Datos de Viviendas de Interés Social de las ciudades de Corrientes y Resistencia.
				Comparación de resultados arrojados por tres programas de simulación de comportamiento térmico de edificios aplicados a una vivienda.
				Predicción de comportamiento térmico de una vivienda social mediante programa Simedif. Comparación con datos medidos.

2 0 1 1 - 2 0 1 4	Evaluación térmico-energética de las sedes edilicias de las facultades de Arquitectura y Urbanismo, y de la de Ingeniería de la UNNE.	Realizar un estudio, análisis y diagnóstico de las situaciones tecnológico-constructivas de edificios de la FAU y de la FI (UNNE) y de las condiciones higrotérmicas y de consumo energético resultantes. Proponer soluciones constructivo-tecnológicas mejoradoras para futuros emprendimientos y para sentar las bases de políticas institucionales de la UNNE para implementar el Uso Racional de la Energía en su edificación.	Evaluación energética del edificio sede de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo-UNNE con la herramienta informática específica ECOTECT.	Determinación y análisis de la carga térmica de climatización de edificios en altura de Resistencia y Corrientes. Identificación de factores clave y propuestas de reducción.
			Análisis higrotérmico comparativo de las cubiertas de los edificios de las facultades de Ingeniería y de Arquitectura de la UNNE según normas IRAM. Valoración económica e higrotérmica.	Monitoreo experimental del jardín materno infantil de la UNNE, como caso de buen desempeño higrotérmico.
			Desempeño higrotérmico de carpinterías de los edificios de las facultades de Arquitectura e Ingeniería de la UNNE. Diagnóstico y criterios de optimización según eficiencia energética y valoración económica.	Jardín materno infantil de la UNNE: mediciones de iluminancia y verificación de bienestar visual, según la orientación de sus aventanamientos.
			Evaluación de mejoras de la aislación de la envolvente de aulas del sector antiguo del edificio de la FAU-UNNE, aplicando el <i>software</i> "RETSCREEN".	Calibración de sistema de medición de temperaturas para su aplicación en trabajos de monitoreo experimental.
			Herramientas informáticas para toma de decisiones en proyectos arquitectónicos de eficiencia energética: aplicación del <i>software</i> "RETSCREEN" a aulas del sector nuevo del edificio de la FAU-UNNE.	
			Condiciones de iluminación natural y artificial en el edificio de la Facultad de Arquitectura de la UNNE. Análisis y diagnóstico según normativa vigente y "URE".	Evaluación de iluminación en el edificio de la FAU-UNNE mediante monitoreo y simulaciones con ECOTECT. Diagnóstico y propuestas de optimización.
			Análisis del sistema "LEED" de evaluación y certificación de sustentabilidad de edificios. Factibilidad de aplicación a casos locales.	Desarrollo de indicadores para el análisis de diseño sustentable. Aplicación al edificio de la Facultad de Arquitectura de la UNNE.
			Ahorro de energía en refrigeración y etiquetado de eficiencia energética de calefacción de edificios. Estudio de normas IRAM vigentes y desarrollo de aplicaciones informáticas para su verificación.	Estudio y aplicación de metodologías de eficiencia energética en edificios públicos. El caso del edificio de la Facultad de Arquitectura de la UNNE.
			Aislación térmica de edificios mediante el uso de celulosa. Propuesta de aplicación a la	

			realidad tecnológico-constructiva y económica del NEA.	
			Sistemas de aislación térmica para rehabilitación energética de muros de edificios existentes. Materiales disponibles en el NEA y criterios de soluciones tecnológico – constructivas de aplicación	Rehabilitación energética de cubiertas de edificios existentes mediante sistemas de aislación térmica. Desarrollo de soluciones tecnológico-constructivas aplicables en el NEA.

Tabla 1. Síntesis de los proyectos de investigación desarrollados por el equipo de la cátedra Estructuras II, FAU-UNNE (período 2000-2014)

jora de su desempeño ambiental. Ello representaría instancias iniciales dentro de un proceso mucho más amplio de generación de las bases de políticas institucionales, locales y regionales, tendientes al URE y a la sustentabilidad en la edificación del NEA.

3. Contribuir al estudio y aplicación de metodologías para determinar la calidad energética en edificios, tanto públicos como privados, considerando su diseño arquitectónico, emplazamiento, características constructivas y servicios, a fin de optimizar su gestión energética.

Mediante la síntesis de los resultados de las investigaciones realizadas —y la ponderación de su significatividad—, se desarrollaron metodologías de abordaje del problema del diseño tecnológico-constructivo edilicio y de su consecuente rendimiento higrotérmico y energético y se aplicaron diversas herramientas de análisis (de la cuestión termofísica de las envolventes o “pieles” constructivas, así como del consumo resultante de energía para mantener el confort interior y del desempeño ambiental edilicio). Entre dichas herramientas, pueden mencionarse las siguientes:

1. La verificación, mediante normativa vigente, de los parámetros higrotérmicos fundamentales de las envolventes constructivas edilicias.
2. El análisis de desempeño energético y de ciclo de vida (ACV) de los materiales principales empleados en

la construcción del edificio, para la determinación de su eficiencia ambiental.

3. La simulación dinámica de desempeño higrotérmico, lumínico y de consumos eléctricos de edificios, mediante programas informáticos específicos.

4. El monitoreo experimental de fluctuaciones de temperatura, humedad y lumínicas de los espacios interiores de los edificios, como herramientas de diseño, diagnóstico, verificación y rediseño, y como instancia necesaria de validación de los programas de simulación dinámica utilizados.

El universo de análisis se circunscribe al ámbito edilicio, tanto residencial —de producción mediante iniciativas estatales oficiales— (figura 1), como también, aunque en menor medida, institucional de los mencionados centros urbanos, especialmente de Corrientes y Chaco. El último de los edificios indagados, cuyas instancias finales de análisis se están desarrollando actualmente, es el de la FAU-UNNE (figura 2), del Campus de la UNNE de Resistencia (Chaco).

Considerando que los edificios públicos, ya sean nacionales, provinciales o municipales, representan un potencial de ahorro energético equiparable en determinados casos al del sector comercial (PACHECO ET AL., 2008), se infiere que hacer un uso eficiente de la energía en los sectores residenciales, comercia-

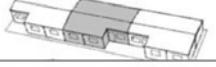
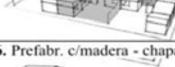
PROVINCIA DE CORRIENTES			PROVINCIA DE CHACO		
Denominación agrupamiento viviendas	Nomenclatura en Base de Datos	Localidad	Denominación agrupamiento viviendas	Nomenclatura en Base de Datos	Localidad
250 VIVIENDAS, GRUPO 2	C.1. Ladr. comunes - chapa 	Ctes., Cap.	CIR.SU.SE.PE.FA	R.1. Ladr. comunes - chapa 	Resistencia
17 DE AGOSTO	C.2. Ladr. cerám. huecos - chapa 	Ctes., Cap.	MUPUNNE	R.2. Ladr. comunes - chapa 	Resistencia
EX AERO CLUB	C.3. Ladr. cerám. huecos - chapa 	Ctes., Cap.	LOS TRONCOS	R.3. Ladr. cerám. huecos - chapa 	Resistencia
LAGUNA SECA (DUPLEX 2D -MODELO 1).	C.4.a. Lad. cerám. huecos - chapa 	Ctes., Cap.	VILLA ELISA - 100 VIV. UPCP	R.4. Ladr. cerám. huecos - chapa 	Resistencia
LAGUNA SECA (DUPLEX 2D -MODELO 2).	C.4.b.	Ctes., Cap.	BARRIO ITALIA	R.5. Ladr. comunes - chapa 	Resistencia
LAGUNA SECA (DUPLEX 3 D).	C.4.c.	Ctes., Cap.	VIVIENDAS SEMINARIO "LA ENCARNACION"	R.6. Prefabr. c/madera - chapa 	Resistencia
LAGUNA SECA (DUPLEX 4 D).	C.4.d.	Ctes., Cap.	BARRIO 78 VIVIENDAS (Sta. Rita II)	R.7.	Resistencia
LAGUNA SECA (PLANTA BAJA).	C.4.e.	Ctes., Cap.	LOTEO LINDERO A CEMENTERIO JUDÍO	R.8.	Resistencia
LAS TEJAS - EX AERO CLUB	C.5. Lad. cerám. huecos - tejas 	Ctes., Cap.	BARRIO LOS TEROS	R.9.	Resistencia
SAN ANTONIO	C.6. Ladr. comunes - chapa 	Ctes., Cap.	VILLA DON RAFAEL	R.10.	Resistencia
SAN GERÓNIMO	C.7. Lad. cerám. huecos - chapa 	Ctes., Cap.	VIV. MZ. e / Avdas. Lavalle - Ávalos y calle Formosa)	R.11.	Resistencia

Figura 1. Planilla de una muestra de viviendas (individuales y agrupadas) analizadas

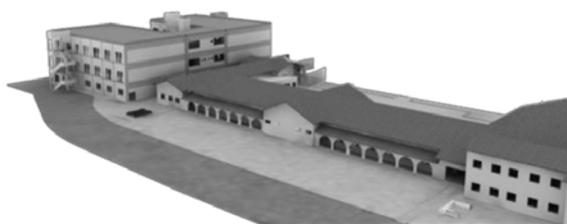
les y públicos merece ser prioritario dentro de las políticas energéticas de una nación. En este marco, el Estado Argentino implementó, en el año 2007, el Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía, mediante el cual se dispuso que los diversos organismos oficiales del Estado participen de él y se adecuen a las directivas que surjan. Así, el Ministerio de Educación y Cultura de la Nación invitó a las universidades nacionales a implementar políticas e instrumentos institucionales para el Uso Racional de la Energía (URE), y dispuso que se implementen pautas de diseño y mantenimiento tendientes a optimizar el uso de la energía requerida en edificios educacionales, tanto en proyectos para ejecutarse como en los existentes.

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y METODOLOGÍAS

Actualmente se trabaja en la sistematización de métodos y técnicas empleadas y en la síntesis del cuerpo de resultados (y sus interpretaciones e implicancias) de los trabajos desarrollados, a efectos de profundizar en el desarrollo y aplicación de una metodología general de valoración y certificación de la eficiencia energética en la edificación. Teniendo en cuenta que los principales factores que afectan al consumo de energía son la demanda y la eficiencia en sistemas de acondicionamiento, los desarrollos llevados a cabo (que aquí se comentan en forma general) plantean la posibilidad de hacer un modesto aporte en lo referente al

Figura 2. A la derecha, dos vistas aéreas del conjunto edilicio del Campus de la UNNE (Resistencia, Chaco). En la del extremo derecho, se han destacado —en negativo— los edificios de las cuatro facultades.

A la izquierda, volumetría del edificio de la FAU-UNNE



diagnóstico de la demanda de un amplio espectro de edificios tomados como "caso" de análisis, con eventuales propuestas de medidas para disminuirla. Considerando el clima y las variables de uso y ocupación como variables fijas para condiciones de confort específicas, la única variable controlable de la demanda es la envolvente, y las modificaciones sobre esta tienen mayor garantía sobre la vida útil del edificio (IDAE, 1999; en COMPAGNONI Y DELBENE, 2009).

Sin embargo, se trabajó desde la perspectiva según la cual la eficiencia energética no puede determinarse solo a partir de la elección de un sistema constructivo que cumpla con las normas, sino que es necesario verificar su adecuación a la envolvente del edificio y del conjunto (COMPAGNONI Y EVANS, 2005; en COMPAGNONI Y DELBENE, 2009), ya que depende tanto de variables tecnológicas como morfológicas y climáticas. Las diferentes instancias de indagación, que constituyen un denominador común en los proyectos llevados a cabo, configuran los puntos fundamentales de una metodología para la evaluación y calificación energética edilicia. Dichas instancias incluyen los siguientes procesos:

1. Estudio de métodos de evaluación y de calificación o valoración energética de edificios (con énfasis en aquellos utilizados en España, referencia cultural dentro de la Comunidad Europea, y experiencias en Latinoamérica, por afinidad sociocultural con la región).
2. Definición y adaptación del método de evaluación energética edilicia que aplicar y procedimiento de valoración posible. Aplicación del método al "caso de estudio" (edificio particular bajo análisis).
3. Completamiento y unificación de los relevamientos y legajos de cada edificio analizado. Rutinas de recorridos y entrevistas con los usuarios.
4. Verificaciones generales y normativas del comportamiento energético edilicio, mediante el estudio de diferentes parámetros de este y sus diagnósticos particulares:

4. a. Diagnóstico de niveles de asoleamiento invernal y protección solar estival de los edificios.
4. b. Diagnóstico de condiciones de ventilación y protección de vientos.
4. c. Diagnóstico del cumplimiento de las Normas IRAM según zonas bioambientales y condiciones de habitabilidad.
4. d. Campañas de mediciones de comportamiento higrotérmico y lumínico de los sectores principales de cada edificio.
4. e. Aplicación de programas simuladores de desempeño higrotérmico y consumos energéticos. Diagnóstico general comparativo de mediciones y de simulaciones.
4. f. Diagnóstico de niveles de iluminación de los locales del edificio y su adaptación a la normativa vigente IRAM AADL.
4. g. Encuestas a los usuarios del edificio sobre condiciones de confort térmico y lumínico.
4. h. Análisis de consumos de energía eléctrica y de agua potable (según facturación oficial) de los edificios estudiados.
5. Elaboración de un diagnóstico energético y ambiental global del edificio estudiado según las verificaciones y diagnósticos particulares del punto anterior. Calificación inicial energética y ambiental del edificio de acuerdo con el sistema propuesto.
6. Propuesta de criterios de optimización morfológico-técnico-constructiva y de patrones de uso de las instalaciones del edificio, las cuales podrán discriminarse en aquellas que no requieran inversión, relacionadas con aspectos socioculturales (como hábitos de los usuarios) y aquellas que requieran una inversión económica.
7. Determinación de la factibilidad económica de la implementación efectiva de tales propuestas.

PRINCIPALES RESULTADOS. SISTEMATIZACIÓN

Se verificaron, tanto en forma teórica como mediante monitoreos experimentales in situ, las condiciones higrotérmicas, energéticas y ambientales de las envolventes constructivas y de los espacios interiores de diversas tipologías edilicias, tanto dentro del ámbito residencial (viviendas individuales y colectivas, bajas y en altura), como del institucional (Banco del Chaco, Ex Banco de Corrientes y actualmente el mencionado edificio de la FAU-UNNE). Dichas condiciones configuran un diagnóstico de consumo energético intensivo para el rubro de climatización de los edificios. Esto sucede a pesar de existir, desde hace casi cuarenta años, normas que buscan regular la calidad térmica edilicia, pero que al no estar avaladas por leyes y códigos de edificación, no son de cumplimiento obligatorio. En la gran mayoría de tipologías de los edificios analizados (aun dentro del ámbito estatal), dichas normas no se verifican.

En todos los casos, tras los diagnósticos globales de desempeño energético edilicio, se plantearon diferentes propuestas correctivas de las situaciones existentes (ejemplos en tabla II), que fueron verificadas a través de simulaciones dinámicas (y validadas mediante mediciones experimentales). Se lograron mediante dichas propuestas ahorros energéticos para climatización del orden del 35 % del consumo total registrado en la situación real, aun cuando las propuestas de optimización se mantienen únicamente dentro del ámbito de los sistemas pasivos (tales como aumentar niveles de aislación térmica en la envolvente, hermeticidad a infiltraciones, masa térmica y ganancia o protección solar). Así, sería posible aumentar los períodos anuales de verificación de las condiciones mínimas de habitabilidad de los espacios con un menor consumo de energía, lo que posibilitaría una reducción global de la demanda energética en porcentajes cercanos al 40 %. Si es-

tos porcentajes de ahorro de consumo de electricidad se extrapolan al período de servicio para el que las edificaciones fueron proyectadas, se obtiene un significativo ahorro de energía (mediante reducción sustancial de la demanda), altamente favorable para la economía regional.

Si bien los incrementos del costo inicial que demandaría la implementación de las propuestas de mejoramiento de las envolventes constructivas edilicias pueden resultar muy significativos, deberían ser considerados como una inversión inicial amortizable en el corto plazo, por medio del ahorro energético que se lograría a través de su implementación. Nótese, a modo de ejemplo, los resultados obtenidos para caso puntual del edificio de la FAU-UNNE, en cuanto al incremento de los porcentajes anuales de tiempo de permanencia de los locales en las condiciones de confort mínimas (figura 3). Dichos incrementos fueron logrados al simular las propuestas de optimización tecnológico-constructiva desarrolladas para la envolvente perimetral del edificio, consistentes en aumentar la resistencia térmica de muros y cubiertas. Al mejorar los muros, haciéndolos más aislantes de la temperatura y la humedad, se consiguieron notables mejoras teóricas, que reducirían el consumo energético en hasta un 50 % con respecto a la situación actual real. Estas medidas de reducción del consumo serían posibles sin perder de vista la calidad de vida de los usuarios, ya que apuntan a lograr las condiciones de confort establecidas mediante la adecuación bioclimática de la construcción, el uso racional de la energía y el uso de ciertos materiales disponibles y de menor contenido energético a lo largo de su ciclo de vida.

A partir de los desarrollos realizados con el espectro de edificios considerados, se encaró la tarea de recoger y sistematizar los resultados de las evaluaciones, para emplearlos en el planteo y delineación de los distintos ítems que requeriría la aplicación de metodologías de valoración de la eficiencia energética edilicia, de modo de aportar a un diagnóstico global,

CUBIERTAS DE LA FAU : SITUACIÓN REAL Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO . Verificación de parámetros higrotérmicos							
Tipología de Techo	Material	Situación real existente	Ubicación	Parámetros Higrotérmicos Verificados (transm. térmica y riesgo condens. Invernales)	Material	Propuesta de mejoramiento	Parámetros Higrotérmicos Verificados (transm. térmica y riesgo condens. Invernales)
Plano, de Hormigón Armado	1. Losa Pre-Tensada con Tejuelines tipo Sombrilla		Sobre talleres FAU	Nivel "A" (óptimo) K=0,48. Nivel "B" (medio) Nivel "C" (mínimo) Fuera de Normativa (K muy alto) Con Riesgo de Condensaciones Invernales	Losa pre-tensada convertida en terraza "verde".		K=0,23. Nivel "A" (óptimo) Nivel "B" (medio) Nivel "C" (mínimo) % reducido de "K" a partir de las mejoras Sin riesgo de Condensaciones Invernales
	2. Losa Alivianada de Viguetas Pre-Tensadas y ladrillos Cerámicos		Sobre sectores FAU	Nivel "A" (óptimo) Nivel "B" (medio) Nivel "C" (mínimo) K=1,41. Fuera de Normativa (K muy alto) Con Riesgo de Condensaciones Invernales	Losa alivianada de viguetas mejorada con agregado de cubierta superior tipo "sombra".		Nivel "A" (óptimo) K=0,50. Nivel "B" (medio) Nivel "C" (mínimo) % reducido de "K" a partir de las mejoras Sin riesgo de Condensaciones Invernales
En pendiente	3. Tejas Tipo Colonial con estructura de madera		Sobre Pasillos, Biblioteca, aulas y área Administr. FAU	Nivel "A" (óptimo) Nivel "B" (medio) Nivel "C" (mínimo) K=1,29. Fuera de Normativa (K muy alto) Con Riesgo de Condensaciones Invernales	Cubierta de tejas coloniales mejorada con agregado de poliuretano proyectado del lado interior.		Nivel "A" (óptimo) K=0,46. Nivel "B" (medio) Nivel "C" (mínimo) % reducido de "K" a partir de las mejoras Sin riesgo de Condensaciones Invernales
	4. Cubierta metálica y estructura metálica		Sobre área institutos IPUR y el IIDVI (FAU)	Nivel "A" (óptimo) Nivel "B" (medio) Nivel "C" (mínimo) K=1,08. Fuera de Normativa (K muy alto) Sin riesgo de Condensaciones Invernales	Cubierta de chapa mejorada con agregado de poliuretano proyectado del lado interior.		Nivel "A" (óptimo) K=0,43. Nivel "B" (medio) Nivel "C" (mínimo) % reducido de "K" a partir de las mejoras Sin riesgo de Condensaciones Invernales

Tabla II. Propuestas de mejoramiento de las cubiertas del edificio de la FAU-UNNE, en sus distintos sectores, y mejoras comparativas en los parámetros higrotérmicos según normativa, respecto de las situaciones originales existentes. Fuente: BORGES Y ALÍAS, 2013

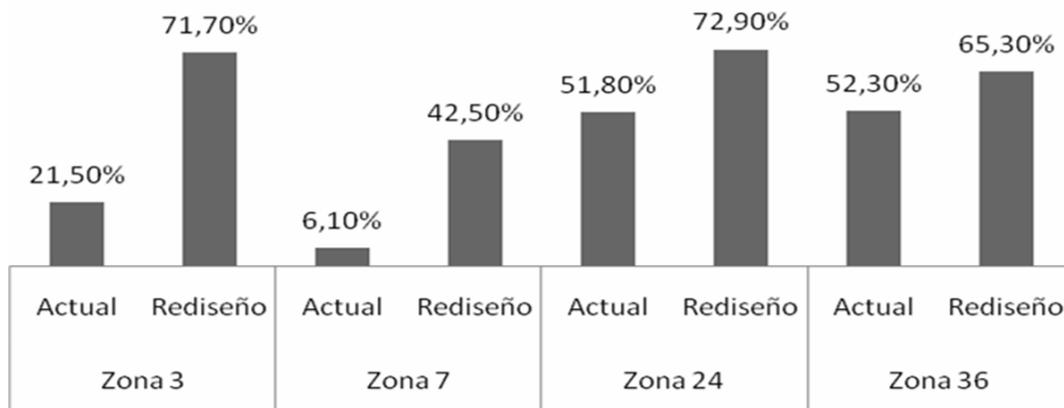


Figura 3. Comparación entre los porcentajes de confort anual obtenidos mediante la simulación con ECOTECT del edificio de la FAU-UNNE, tanto para la situación real existente como para la situación optimizada propuesta, basada en aumentar la resistencia térmica de muros y cubiertas. Fuente: CORONEL GARECA, 2011

a la vez que a la sistematización de los datos generados durante varios años de investigación.

A partir de los resultados más significativos surgidos a través de la aplicación de las principales herramientas mencionadas para el abordaje de la cuestión higrotérmico / energético / ambiental de los edificios analizados, pueden hacerse las siguientes consideraciones:

1. En función de la verificación, mediante normativa vigente, de los parámetros higrotérmicos fundamentales de las envolventes edilicias, se advirtió en general un bajo nivel, sobre todo en lo referente a valores de transmitancias térmicas "K", ya que los valores obtenidos fueron muy altos, lo que sitúa a los componentes analizados en un nivel "C" (mínimo aceptable, según categorización propuesta por IRAM 11605/96) o bien fuera de toda categoría por ser demasiado altos. Solo en casos aislados se presentan niveles medios

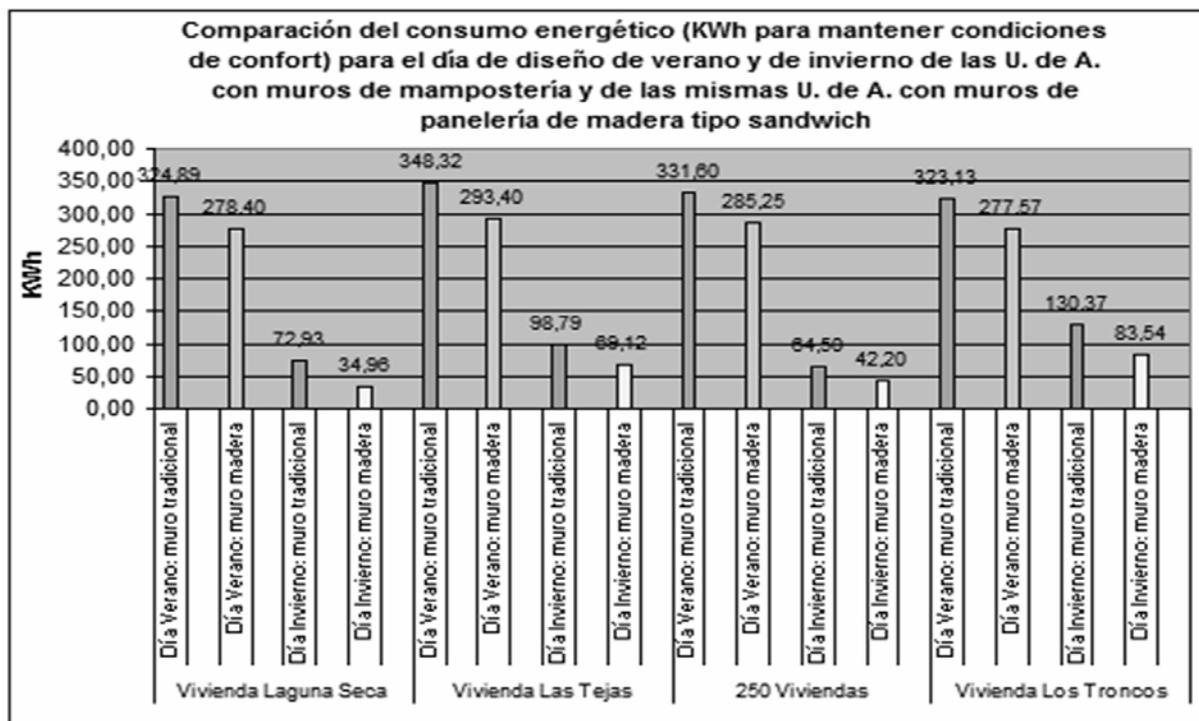


Figura 4. Comparación del consumo energético (KWh) para mantener condiciones de confort, para el día (de diseño de verano y de invierno) en viviendas construidas mediante operatorias estatales en Corrientes y Resistencia, para la situación real (con muros exteriores de mampostería), y para la situación propuesta (con muros exteriores de panelería de madera tipo sándwich). Fuente: ALÍAS, 2003

“B”. La verificación configura un pantallazo general de la calidad constructiva a nivel higrotérmico de los edificios analizados.

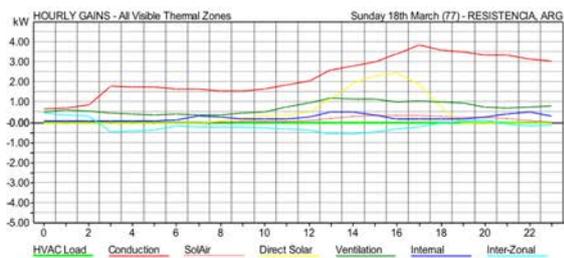
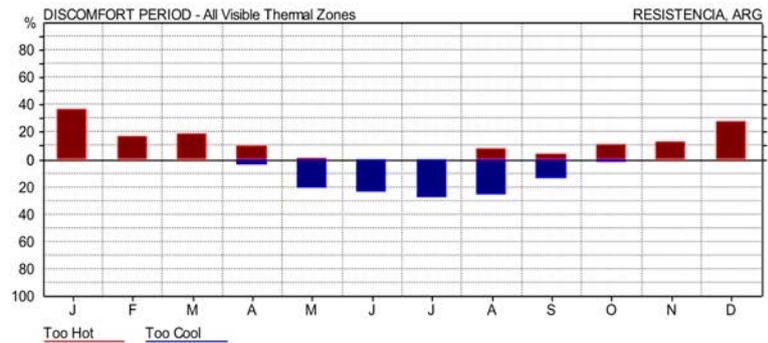
2. En cuanto al análisis de desempeño energético y de ciclo de vida de los materiales principales empleados en la construcción de los edificios analizados, para la determinación de su eficiencia ambiental, hay que remarcar que la construcción actual de edificios requiere gran cantidad de materiales, cuya fabricación determina un significativo impacto sobre el ambiente. En el NEA prevalecen las construcciones tradicionales de mampostería, de lo que se deduce la importancia de encontrar alternativas viables en este ramo de la construcción. Por eso resulta relevante la elección de los materiales que se han de utilizar en la construcción de dichos edificios, ya que pequeñas mejoras comparativas que se obtengan en ellos determinan un fuerte impacto, si se considera la gran cantidad empleada en un edificio y la gran cantidad de edificios construidos cada año. En relación con los consumos de energía asociados al material básico predominante con el que se materializa un edificio, el método del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) permitiría seleccionar los materiales con menor impacto ambiental (ARENA ET AL., 2001). Así, a partir de una mirada ambiental al tema de los materiales empleados en la construcción de edificios en la región y su impacto en el medio, la experiencia del equipo de Estructuras II incluyó investigaciones en las que se buscó comparar el desempeño energético de la construcción de muros de madera de bosques cultivados locales entre otros materiales), frente a la

construcción con otros materiales más habituales en la región (ALÍAS, 2003).

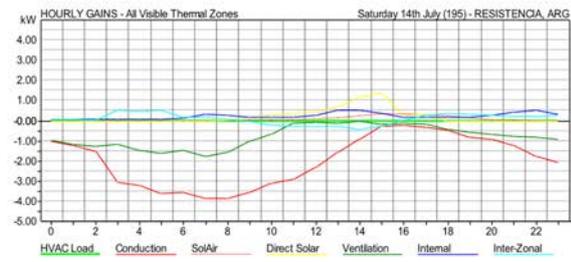
Se generaron registros comparativos de desempeño ambiental de estas alternativas tecnológicas en el clima cálido-húmedo y se plantearon recomendaciones de diseño de viviendas, tanto mediante el estudio del consumo de energía eléctrica en etapa de uso de viviendas materializadas con dichas tecnologías (figura 4), como así también mediante el método del Análisis de Ciclo de Vida. Como contribución, la hipótesis según la cual la construcción en madera (de bosques con explotación sustentable) representa una alternativa constructiva más eficiente, económica y benigna desde el punto de vista ambiental con respecto a la construcción tradicional de viviendas de interés social fue corroborada mediante las investigaciones efectuadas, en las que se obtienen porcentajes de reducción de la demanda de energía para climatización interior edilicia del orden del 40 %, en las situaciones en que la mampostería habitual empleada en las envolventes edilicias se reemplaza por papelería de madera local.

3. En cuanto a la simulación de desempeños higrotérmicos y de consumos eléctricos, así como el monitoreo experimental de fluctuaciones higrotérmicas y lumínicas de los espacios interiores de los edificios, la metodología de indagación consistió en realizar mediciones in situ de fluctuaciones de temperatura y humedad en espacios interiores de una muestra representativa de los edificios analizados (para días de

Figura 5. Periodos de discomfort para una vivienda social de la ciudad de Resistencia, en porcentajes de tiempo mensuales, según Ecotect. Fuente: ALIAS, 2010



Por equipos de acondic.: no se consideran
 Por radiación solar directa
 Por infiltración
 Por aportes internos
 Por adyacencias interzonas



Por equipos de acondic.: no se consideran
 Por radiación solar directa
 Por infiltración
 Por aportes internos
 Por adyacencias interzonas

Figura 6. Cargas térmicas horarias promedio simuladas con Ecotect para el día de verano (izq.) y para el día de invierno (der.), correspondientes a una vivienda de interés social. Fuente: ALIAS, 2010

invierno y de verano típicos en las ciudades correspondientes) y luego simular el comportamiento térmico de aquellas (para los mismos días monitoreados) aplicando los programas informáticos ECOTECT (MARSH, 2003) y QUICK II (MATHEWS, 1997). Los resultados obtenidos mediante las simulaciones dinámicas se compararon con los arrojados por las mediciones, a efectos de garantizar la confiabilidad y posibilidades de generalización de los resultados de la simulación a diferentes períodos del año y tipologías edilicias. Se obtuvo, en general, un ajuste entre las series medidas y simuladas representado por coeficientes de correlación R^2 - del orden de 0,83 en promedio, para todos los edificios estudiados.

A través de las simulaciones se obtuvieron los porcentajes de tiempo durante los cuales, para cada mes del año, las temperaturas interiores de los edificios analizados en cada caso se encuentran fuera de la banda de confort (figura 5 —sector medio—), y se registró, en general, en promedio, un predominio del discomfort “calor” (de octubre a abril, con picos en diciembre y enero) por sobre el discomfort “frío”. Las simulaciones también permiten “ensayar” la respuesta edilicia para distintas situaciones de material de la envolvente de los edificios bajo estudio, así como para distintas condiciones de orientación de estos. Se obtuvieron mediante algunos programas, como QUICK II, tanto los valores de cargas térmicas necesarias para mantener la situación de confort con medios artificiales (consumo de electricidad que demandaría un equipo electromecánico de climatización para mantener los espacios

dentro de la franja de confort preestablecida), como también las fluctuaciones de temperatura en el interior de los edificios estudiados en caso de no existir medios mecánicos de acondicionamiento térmico. Otros programas, como ECOTECT, permiten visualizar la magnitud y la procedencia de cada tipo de carga o aporte de calor para cada hora, porque actúan en las zonas térmicas de los modelos de los edificios simulados sobre un período de veinticuatro horas. En la figura 6 se muestran las ganancias de calor, según su procedencia, simuladas en una vivienda. La posibilidad de visualización de estas variables resulta de gran utilidad como herramienta de diseño, a la hora de manipular distintas opciones de emplazamiento y orientación edilicia, de materialización de las envolventes constructivas, de la disposición y superficie de vanos y áreas acristaladas y de sus protecciones externas, entre otros parámetros, para —luego de un balance— priorizar aquellas de mayor incidencia en el desempeño energético edilicio.

El rol de las mediciones in situ de los parámetros y variables de frecuencia horaria en los espacios interiores y exteriores de los edificios (temperatura, humedad, radiación solar, etc.) consiste en el aporte de los datos reales que se registran y con los que interactúan los edificios, para luego compararlos con los resultados aportados por las simulaciones y validar estas últimas.

A partir de la metodología de simulación validada mediante monitoreos, se verificó el amplio campo de posibilidades existente para evaluar el comportamiento térmico edilicio, así como las posibilidades de

eventual optimización del comportamiento de cada zona modelizada, y se ensayaron varios materiales de envolvente, orientaciones, disposiciones de vanos y tecnologías constructivas en general, metodología que representa una herramienta muy útil como apoyo a las decisiones de diseño, ya que posibilita la evaluación de alternativas en las etapas iniciales del proyecto.

Consideramos que el desarrollo de instrumentos de este tipo contribuye a un proceso de diseño de edificios cada vez más consciente y responsable en aspectos de sustentabilidad. Repetir esta práctica en la región NEA requiere contar con un sistema de evaluación de eficiencia y sustentabilidad de edificios que se ajuste a las condiciones y posibilidades sociales, ambientales y económicas locales. El proceso de desarrollo de estos fue el eje principal de los trabajos de investigación que venimos abordando.

PERSPECTIVAS

A partir de la revisión de las metodologías aplicadas y los resultados obtenidos, se acumuló un conjunto de experiencias para el abordaje de la cuestión de la sustentabilidad de la construcción y para la operacionalización de algunas variables relacionadas con la cuestión higrotérmica, energética y ambiental, bagaje que permite actualmente encarar la tarea de analizar, catalogar, sistematizar e interrelacionar resultados obtenidos, herramientas empleadas y desarrollos y avances generados, en pos del desarrollo y sistematización de una metodología de evaluación de la eficiencia edilicia, según criterios de sustentabilidad y desempeño energético-ambiental en el NEA.

Las metodologías y herramientas de abordaje desarrolladas representan un cuerpo conceptual —a la vez que instrumental— de utilidad en tres escalas:

- **básica**, de implementación efectiva de las mejoras propuestas a partir de los diagnósticos realizados (y los beneficios de ellas derivados);
- **intermedia**, de desarrollo de metodologías de evaluación de la eficiencia energética edilicia y de la sustentabilidad del objeto arquitectónico;
- **superior**, en el largo plazo, como puntapié inicial dentro de un proceso más amplio de generación de las bases de políticas institucionales, que podrían iniciarse desde la órbita municipal, tendientes al Uso Racional de la Energía en la edificación.

BIBLIOGRAFÍA

- ALÍAS, H. et ál.** (2012) Monitoreo y simulaciones de desempeño térmico de aulas de la Facultad de Arquitectura de la UNNE en días de verano y condiciones reales de uso. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*. Vol. 16, pp. 05.17 a 05.25. Argentina.
- ALÍAS, H. M. & JACOBO, G. J.** (2011) Eficiencia energética en viviendas sociales. Incidencia de la envolvente en el consumo eléctrico para mantener el bienestar higrotérmico en los espacios interiores. *Revista ARQUISUR*. N.º 1, 2011. pp. 76 a 89. Ediciones UNL. www.fadu.unl.edu.ar/arquisurrevista.
- ALÍAS, H.** (2010) Desempeño higrotérmico y energético del parque habitacional social de Chaco y Corrientes. En: "Premio Arquisur de Investigación 2010". Primera Mención, categoría Investigadores Formados. Tarija, Bolivia.
- ALÍAS, H.** (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. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Chaco, Argentina.
- ARENA, A. et ál.** (2001) Análisis del ciclo de vida de cubiertas alternativas utilizadas en viviendas residenciales en Mendoza (Argentina)". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, Vol. 5, N.º 1, pp. 8.73 – 8.78. Argentina.
- BORGES, R. & ALÍAS, H.** (2013). "Desempeño Higrotérmico de Cubiertas de los Edificios de las Facultades del Campus UNNE - Resistencia. Diagnóstico y Pautas de Optimización según Eficiencia Energética y Valoración Económica". Informe Final Beca Investigación. SGCyT - UNNE. Resistencia, Chaco, Argentina.
- COMPAGNONI, A. & DELBENE, C.** (2009) Análisis bioclimático, estudio de la envolvente y evaluación energética como parámetros de calificación en viviendas de interés social. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, Vol. 13, pp. 08.05 - 08.12. Argentina.
- CORONEL GARECA, C. et ál.** (2011) Evaluación energética del edificio sede de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo - UNNE (Resistencia – Chaco – Argentina) con la herramienta informática "ECOTECT". Informe Final Beca de Investigación de Pregrado – SGCyT – UNNE. Resistencia, Chaco, Argentina.
- GATANI, M. et ál.** (2008) Definición de indicadores de análisis de diseño sustentable. El caso de una vivienda serrana en Córdoba. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, Vol. 12, pp. 05.17 - 05.24. Argentina.
- JACOBO, G.** (2001) El confort en los espacios arquitectónicos de la Región Nordeste de Argentina. ITDAHU–FAU–UNNE. Moglia Ediciones SRL. ISBN: 987 – 43 – 4155 - 6. Corrientes, Argentina.
- INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (IRAM).** Normas Técnicas Argentinas: 11601: 1996; 11603: 1996; 11605: 1996; 11625: 2000. Buenos Aires, Argentina.
- MARSH, A.** (2003) ECOTECT Tutorials. Square One research Pty Ltd. Traducción propia.
- MATHEWS, E. et ál.** (1997) User's and reference manual for QUICK II. A passive thermal design tool and load calculation computer program. TEMMI. Transfer of Energy Mass and Momentum, Sudáfrica. International (Pty) Ltd. Traducción propia.
- PACHECO, C. et ál.** (2008) Estudios y aplicación de metodologías de eficiencia energética en edificios públicos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, Vol. 12, pp. 07.95 - 07.100. Argentina.