

Retrospectiva investigativa y docencia sobre iluminación natural en arquitectura

*Pilar de Oteiza
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Universidad Politécnica de Madrid

RETROSPECTIVA INVESTIGATIVA Y DOCENCIA SOBRE ILUMINACIÓN NATURAL EN ARQUITECTURA

Resumen

El objetivo de este artículo es proponer nuevas líneas de investigación -sobre la aplicación de la energía solar en Arquitectura- en continuidad con proyectos y trabajos realizados en la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad del Zulia. Vale destacar que estos estudios han sido desarrollados en la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid. El estado actual del arte en energía solar hace que sea la iluminación natural el campo de investigación más afín y de más posibilidades para las nuevas generaciones de arquitectos; toda vez que, actualmente, físicos e ingenieros prestan su atención, formación y conocimiento a la evaluación y al comportamiento energético de la radiación solar.

Palabras clave: Arquitectura Sostenible, Arquitectura Bioclimática, Radiación Solar, Iluminación Natural.

INVESTIGATIVE RETROSPECTIVE AND TEACHING ABOUT NATURAL LIGHTING IN ARCHITECTURE

ABSTRACT

The main purpose of this article is to propose new research lines – about the application of solar energy in Architecture – along with projects and works done at the Architecture and Design Faculty of Universidad del Zulia. Indeed, these studies have been developed at the School of Architecture of Universidad Politécnica de Madrid. The state-of-the-art in solar energy makes natural lighting be the research field most similar and the one with more possibilities for the new generations of architects, since nowadays, physicists and engineers pay attention, training and knowledge to the evaluation and energy behavior of solar radiation.

Keywords: sustainable architecture, bioclimatic architecture, solar radiation, natural lighting.

*DE OTEIZA SANJOSÉ, Pilar

Doctora Arquitecta por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 1991. Profesora Titular de Universidad del Departamento de Física e Instalaciones Aplicadas a la Arquitectura, al Medio Ambiente y al Urbanismo, de la ETSAM. Especialista en Iluminación Natural en el ámbito del Acondicionamiento Ambiental en la Arquitectura.

3 RETROSPETTIVA INVESTIGATIVA E INSEGNAMENTO SULL'ILLUMINAZIONE NATURALE IN ARCHITETTURA

RIASSUNTO

L'obiettivo di questo articolo è di proporre nuove linee di ricerca – sull'applicazione dell'energia solare in Architettura- in continuità con progetti e lavori fatti presso la Facoltà di Architettura e Disegno della Universidad del Zulia. Vale dire che questi studi sono stati sviluppati nella Scuola di Architettura della Universidad Politécnica di Madrid. Lo stato attuale dell'arte in energia solare fa dell'illuminazione naturale il campo di ricerca più vincolante e con più possibilità per le nuove generazioni di architetti perché attualmente, fisici e ingegneri fanno attenzione, training e coscienza alla valutazione e al comportamento energetico della radiazione solare.

Parole chiave: architettura sostenibile, architettura bioclimatica, radiazione solare, illuminazione naturale

1. INTRODUCCIÓN

La investigación científica tiene por objetivo fundamental producir modelos teóricos que nos permitan influir y cambiar el medio natural, haciéndole, sosteniblemente, más adecuado a nuestras necesidades. Y siendo así, es de primordial importancia mantener el registro, la vigencia y la disponibilidad de todos los resultados obtenidos en etapas precedentes para no estar eternamente condenados, cual nuevos *sísifos*, a reinventar continuamente aquello que ya alcanzamos y tenemos disponible.

Por esto, en esta primera colaboración en la revista, se considera de primordial importancia:

- I. Retomar, de forma resumida, los proyectos más relevantes desarrollados en la Facultad de Arquitectura de la Universidad del Zulia,

para inventariar el material que está disponible, es útil y aún está vigente en el medio ambiente venezolano.

- II. Exponer la actividad realizada en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, para mostrar cómo un proyecto de actividad profesional puede ir de lo más general: “Clima y Arquitectura” a lo más particular: “Dispositivos prefabricados para el cerramiento de huecos en fachada que favorezcan la iluminación natural”.
- III. Concluir que ha sido especialmente útil y vigente la formación adquirida en la Universidad del Zulia, tanto en el desarrollo de investigaciones propias como en la dirección y tutoría de trabajos de máster y doctorado.

Finalmente se proponen las líneas de investigación que son de actual interés y, quizás, para los jóvenes arquitectos pueden ser un estimulante reto. Entre ellas:

- Iluminación y climatización
- Nuevos materiales transparentes
- Vidrios con agua
- Celosías reflectantes

2. INVESTIGACIÓN SOBRE ARQUITECTURA ADAPTADA AL CLIMA EN LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA, EN MARACAIBO (VENEZUELA)

La Universidad del Zulia a través del Instituto de Investigaciones de Arquitectura y Sistemas Ambientales, fue pionera, entre las universidades

latinoamericanas, en vincular la arquitectura y el urbanismo con el medio ambiente. En 1978 promovió estudios de postgrado en Acondicionamiento Ambiental dirigidos por los mejores profesionales de la especialidad. Los conocimientos y las técnicas aprendidas en el curso permitieron emprender y concluir el PROYECTO CLIMA Y ARQUITECTURA que, dirigido por Elke Hinz, integraron Eduardo González, Carlos Quirós y Pilar de Oteiza.

El objetivo del proyecto de investigación respondía a la necesidad de ahorrar energía en las edificaciones, específicamente las situadas en clima cálido y húmedo, como el de la región Zuliana y gran parte del territorio venezolano.

Tuvo carácter documental y se desarrolló sobre cuatro áreas relacionadas:

- el bienestar térmico del hombre y las condiciones climáticas;
- las recomendaciones de diseño para el clima de la región;
- el enfriamiento pasivo del aire como tecnología para la construcción y
- la creación de herramientas gráficas para predecir los efectos del soleamiento.

El proyecto dio lugar a diversas publicaciones que aun hoy son referencias bibliográficas de artículos y publicaciones indexadas. En la Editorial Gustavo Gili, se publicó el libro *Proyecto Clima y Arquitectura* (González et al, 1986) y varios capítulos del *Manual uso racional de energía en viviendas y edificaciones* (Mascaró et al, 1987), editado por la Organización Latinoamericana de la Energía, son partes del proyecto. Y, específicamente, para el clima de Maracaibo se realizaron varias publicaciones internas de la Facultad de Arquitectura, que describían variables fundamentales a considerar

en el diseño arquitectónico: temperatura y humedad relativa del aire, velocidad y dirección del viento (Oteiza, 1983-1986).

Los resultados anteriores marcaron la necesidad de profundizar en la búsqueda de una envolvente edificatoria que respondiera adecuadamente al medio exterior; que se concretó en un nuevo proyecto financiado por el CONDES: REDUCCIÓN TÉRMICA A TRAVÉS DE LA ENVOLVENTE EN EDIFICACIONES SITUADAS EN BAJAS LATITUDES. El objetivo fue profundizar en la definición de la cubierta y de los cerramientos verticales, con el fin de seleccionar los más apropiados para el clima de la región zuliana.

Con base en esta investigación, se elaboró el artículo, publicado en la revista *Arquiluz*, *Consideraciones climáticas para una arquitectura apropiada en Maracaibo* (Oteiza, 1987), en el que se muestra la variación de la temperatura y de la velocidad del viento, a lo largo del día, así como su incidencia sobre el confort en la edificación; el artículo de la revista *Tecnología y Construcción*, *La orientación óptima de los edificios en Maracaibo para evitar el soleamiento y aprovechar el viento* (Oteiza, 1994), también incluye resultados de la misma investigación; contiene un análisis bioclimático que da lugar a una herramienta gráfica para seleccionar la mejor orientación de las ventanas, teniendo en cuenta la indispensable protección solar y la permeabilidad a las brisas.

3. LA LUZ NATURAL Y LA ARQUITECTURA

La incidencia del soleamiento en la edificación, que ya se había estudiado en Maracaibo, presenta nuevas implicaciones en una región templada como la de

Madrid, por lo que se convierte en objeto de interés en estudios de Doctorado en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Se amplía el campo de estudio a la luz natural en relación con la arquitectura, pues, hasta entonces, sólo se había tratado la radiación solar en su condición de energía calorífica que era necesario captar o evitar; sin embargo, nada se decía de la parte de luz visible que es consustancial a la radiación solar.

La tesis doctoral *Estudio combinado de iluminación natural y ganancia solar térmica pasiva en edificios docentes* (Oteiza, 1991) tuvo por objetivo realizar el estudio teórico y experimental de la luz natural y comprobar su aplicación en la iluminación de un espacio real. Con medidas de la fase experimental se elabora, para la revista *Informes de la Construcción*, el artículo *La eficacia luminosa de la radiación solar en Madrid* (Oteiza et al, 1992) que contiene los primeros resultados, para una localidad española, de las medidas de eficacia luminosa de la radiación solar global; esta relación entre la iluminación y la radiación solar permite hacer estimaciones de disponibilidad de luz natural en lugares donde solo se registran valores de radiación solar. Por otra parte, las medidas realizadas para la tesis sirvieron para la participación en Third European Conference on Architecture, con la ponencia *Outdoor and indoor measurements of global and diffuse illuminances at Madrid* (Oteiza y Soler, 1993), donde se analizan tres de los métodos de predicción de iluminación interior para, comparándolos con medidas instantáneas registradas en maquetas, establecer su validación.

Cuando la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE), por la escasez de datos básicos, promovió un programa dedicado al estudio de la luz natural, el

grupo de iluminación natural de la ETSAM (Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid) se sumó a esa iniciativa con el conjunto de instrumentos de medida de radiación solar e iluminación natural de que disponía. Desde ese momento, se realizaron numerosos trabajos de investigación que han supuesto un avance del conocimiento en relación con la luz natural, la radiación solar y la arquitectura. Los conocimientos generados se han ido transmitiendo como actividad docente, tanto en cursos de máster como en asignaturas que forman parte de diferentes programas de doctorado.

EL ESTUDIO DE LA ILUMINANCIA Y LA EFICACIA LUMINOSA RECIBIDAS EN SUPERFICIES DE DIFERENTES INCLINACIONES Y ORIENTACIONES, fue el primer proyecto de investigación financiado por la Universidad Politécnica de Madrid y estuvo dirigido por Alfonso Soler. Su objetivo fue el de estudiar la disponibilidad de luz natural en Madrid y la relación que se podía establecer entre la iluminación y la radiación solar recibidas simultáneamente. Sus resultados se difundieron en *Renewable Energy, A search for the best relation to be used to estimate monthly mean daily diffuse solar radiation on a horizontal surface for Europe* (Soler y Oteiza, 1994) en el que se demuestra que la declinación solar media mensual es una nueva variable para predecir, más fácilmente, la radiación solar difusa sobre superficie horizontal. En el VII Congreso Ibérico de Energía Solar, en la ponencia *Eficacia luminosa de la radiación solar global para superficie horizontal en Madrid* (Oteiza y Soler, 1994), se demuestra la dependencia entre la altura solar y las distintas eficacias horarias para cielos despejados.

Como el clima de Madrid hace necesaria la captación solar en invierno y la protección en verano, se inicia el proyecto INFLUENCIA DE LAS PROTECCIONES SOLARES EN EL AMBIENTE LUMÍNICO DE ESPACIOS INTERIORES EN REGIONES TEMPLADAS CON UNA IMPORTANTE ESTACIÓN CÁLIDA, financiado por la Universidad Politécnica de Madrid. La dirección de este proyecto tenía por objetivo analizar el comportamiento luminoso de varios dispositivos de protección solar, para seleccionar y recomendar los que interceptaban la radiación solar térmica y favorecían la entrada de la parte visible del espectro solar. En *Renewable Energy* (Oteiza y Soler, 1994) y en *Architectural Science Review* (Oteiza y Soler, 1995), se publicaron algunos de los resultados de esta investigación, que se realizó efectuando medidas continuas y simultáneas de iluminancia global horizontal, en el interior de cinco modelos a escala. Los modelos tenían iguales las dimensiones y la reflectancia interior, pero diferían en el tipo de dispositivo de protección solar. Estudiando la dependencia de las medidas con la altitud y el acimut solares, se seleccionó el dispositivo más favorable desde el punto de vista de la distribución de la iluminación interior: una lama horizontal interior-exterior o repisa de luz (light-shelf).

Por ello, en *Dependence on solar elevation of the performance of a light shelf as a potential daylighting device* (Soler y Oteiza, 1996), se hace el análisis específico del dispositivo de protección solar que había dado los mejores resultados de iluminación interior. Para los puntos más alejados de la ventana, y para días con cielos despejados, se muestra la dependencia de la altura solar

con el cociente entre la iluminancia medida en el modelo con repisa de luz y la iluminancia del modelo que sirve de referencia.

Conocer la fiabilidad de alguno de los métodos de predicción de iluminación fue el propósito del trabajo *Experimental analysis for Madrid of a simple graphic daylight calculation method based on the CIE overcast sky* (Oteiza y Soler, 1997), en el que se muestran los resultados de comparar las medidas reales del factor de luz de día (FLD) en el interior de un modelo a escala, con las estimadas mediante un método gráfico de cálculo de iluminación interior. Los resultados demostraron que el método CIE no predice la iluminación interior en Madrid, ya que los resultados de las medidas estuvieron muy alejados de los valores calculados.

En *Light shelf performance in Madrid, Spain* (Soler y Oteiza, 1997), se muestran más resultados experimentales de la repisa de luz. Con un año de medidas horarias se concluye que el mejor comportamiento de la repisa de luz, ocurre con cielo despejado y se incrementa con la altura solar; además los valores máximos se producen con el sol situado entre 60 y 70° de acimut.

Otros proyectos de investigación, en el contexto del Programa Internacional de Medidas de Iluminación Natural promovido por la Agencia Internacional de la Energía (IEA), fueron: INVESTIGACIÓN SOBRE LA ILUMINACIÓN DIRECTA NORMAL Y LA DISTRIBUCIÓN DE LA LUMINANCIA CELESTE e INVESTIGACIÓN DEL CLIMA LUMINOSO PARA APLICACIONES A LA ARQUITECTURA, que estuvieron financiados por el Ministerio de Educación y

Ciencia y fueron dirigidos por Alfonso Soler. El objetivo común, siguiendo las directrices de la Agencia Internacional de la Energía sobre la iluminación natural de edificios, fue analizar con precisión el cielo de Madrid. Se estudió, junto a la iluminancia recibida por distintas superficies, la luminancia emitida por distintos puntos de la bóveda celeste, todo ello teniendo en cuenta que la luz natural, además de proveer altos niveles de iluminación para realizar las tareas, permite una excelente reproducción y discriminación de los colores; condiciones imprescindibles para una buena visión de los objetos . Sin embargo, la luz natural también puede producir incomodidad visual por deslumbramiento que es causado por la existencia de fuertes contrastes de luminancia en el campo de la visión. Todos estos factores deben ser considerados en el diseño de la iluminación natural que incide a través de los huecos en los edificios.

Con estos proyectos se participó en varios congresos de Arquitectura y Ahorro de Energía, como el Passive Low Energy in Architecture, PLEA 96 (Oteiza et al, 1996), donde se muestran algunos de los resultados obtenidos, dentro del Programa Internacional de Medidas de Iluminación Natural y de la Tarea 21: Iluminación natural en edificios, de la Agencia Internacional de la Energía (IEA).

Los resultados están referidos a:

- Valores de eficacia luminosa de la radiación solar global y difusa sobre superficies horizontales y verticales;
- Estimaciones de iluminancia en superficies inclinadas en Madrid, con el método simplificado de Pérez y usando coeficientes locales y
- Comparación entre diferentes dispositivos de protección solar.

En *Métodos experimentales, utilidades informáticas y dispositivos para la iluminación natural de los edificios* (Soler y Oteiza, 1996), se presenta el estado de la investigación, el desarrollo y la puesta en funcionamiento de distintos elementos arquitectónicos que pueden mejorar la iluminación de los recintos. En el World Renewable Energy Congress VII con la ponencia *Glare protection in a great opening with different orientation in Madrid* (Oteiza, 2002), se hace una valoración de la luminancia del cielo que es percibida a través de un gran ventanal, en función de la orientación y de la posición de las personas que lo observan; todo ello con la finalidad de facilitar la selección de la protección contra el deslumbramiento.

En resumen, desde la década de los setenta del siglo pasado se ha venido trabajando en los efectos del soleamiento en la edificación; a su estudio se han sumado profesionales de disciplinas diferentes a la arquitectura, que siguen adelante con la investigación básica del fenómeno, liberando a los arquitectos del análisis detallado del cómo se produce el soleamiento y dejarnos el cómo utilizar e integrar eficientemente, en la arquitectura, la extraordinaria fuente de energía que es el sol.

El Grupo ABIO (Arquitectos Bioclimáticos) de la Universidad Politécnica de Madrid promovió el proyecto titulado INDUSTRIALIZACIÓN DE VIVIENDAS SOSTENIBLES. SISTEMAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO EFICIENTE DE LAS VIVIENDAS, que estuvo financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y fue dirigido por Javier Neila (Neila,

2004). Tuvo por objetivo general mejorar el nivel tecnológico y la productividad en el sector de la construcción, así como aumentar el nivel de eficiencia energética y el confort para el usuario de la vivienda en España. Sus objetivos específicos fueron los siguientes:

- Desarrollo de nuevos procesos constructivos y optimización de los existentes, promoviendo la industrialización del proceso global.
- Definición y desarrollo de nuevas soluciones técnicas sostenibles que pudieran ser incorporadas en las viviendas mejorando su eficiencia de uso, su mantenimiento y reduciendo el impacto ambiental.
- Definición de unos diseños tipológicos basados en criterios de alta industrialización y sostenibilidad, maximizando la flexibilidad y el confort y presentando a su vez dimensiones basadas en un claro convenio modular que permita altos niveles de estandarización en cuanto a los elementos constructivos que incorporen.

En el desarrollo de este proyecto se estudió la OPTIMIZACIÓN DE LA ILUMINACIÓN NATURAL con el diseño y construcción de una ventana industrializable que contenía todos los elementos para captar y distribuir la luz natural de forma óptima, proporcionando visuales con el exterior, a la vez que protegiendo del exceso de soleamiento y reduciendo las pérdidas de calor. Se diseñó una ventana con una modulación de 60 cm (adaptada a la industria de la construcción en España) denominada Ventana Modular, constituida por tres partes:

- la superior de 40 cm, para introducir la luz natural por reflexión en el techo y así alcanzar las zonas más profundas de la habitación;
- la central, de 120 cm, para favorecer las visuales y el control del soleamiento y,
- la inferior, de 90 cm, para situar los elementos de almacenamiento y control térmico.

Se presentó en varios congresos, como el Environmental Protection Beyond 2020 con la ponencia *Modular window, a sustainable and industrialized solution* y el Primer Congreso de Arquitectura Sostenible-Valladolid (Oteiza et al, 2009), donde se describen, tanto el funcionamiento de los elementos de protección solar e iluminación natural, como las características técnicas de la ventana. En las Terceras Jornadas sobre Investigación en Arquitectura (Higueras, 2009) así como en la conferencia Sustainable Building Conference 2010 (Oteiza et al, 2010), se exponen las ventajas de la ventana Modular para mejorar las condiciones lumínicas y térmicas, cuando es utilizada en la rehabilitación de edificios. En el World Renewable Energy Congress XI (Oteiza et al, 2011) se muestra el estudio realizado con Ecotect-Radiance para seleccionar el tamaño del hueco superior de la ventana y mejorar el equilibrio entre captación luminosa y protección solar.

Resultado concreto de los trabajos básicos de investigación fue, también, el convenio firmado entre la Agencia Andaluza de la Energía, Ruiz-Larrea Arquitectos y el Departamento de Física e Instalaciones Aplicadas a la Arquitectura, al Medio Ambiente y al Urbanismo, de la Universidad Politécnica

de Madrid, que dio lugar al ESTUDIO DE LA ILUMINACIÓN NATURAL PARA EL PROYECTO DE LA SEDE DE LA AGENCIA ANDALUZA DE LA ENERGÍA. En él se evaluó y rediseñó el lucernario central del proyecto del edificio a partir de los ensayos experimentales con una maqueta de estudio. Se lograron así, aumentar los niveles de iluminación natural recibidos y proporcionar una correcta distribución de la iluminancia en el interior. Los resultados se presentaron en el World Renewable Energy Congress X (Oteiza y Bugueño, 2008).

4. TRANSMISIÓN DE LOS RESULTADOS INVESTIGACIÓN: DOCENCIA EN POSTGRADO

Más importante, siempre, que los resultados inmediatos y directos de un proyecto, son las líneas de investigación y diseño que, a futuro, dan continuidad al trabajo inicial. Así, en varias asignaturas se aprovechan y difunden los trabajos desarrollados en investigación. Con ellas se hace tomar contacto a los alumnos, ya profesionales, con los aspectos técnicos de la iluminación natural que, habitualmente, no son tenidos en cuenta durante la carrera. Se propone, con modelos experimentales, evaluar sistemas de captación y protección cenital diseñados por los participantes.

En los últimos años, junto con Guillermo Yáñez -autor de varios libros relacionados con la arquitectura solar y la iluminación natural (Yáñez, 1982, 1988, 2008)- se han tutelado trabajos de investigación que han estado dirigidos hacia la consecución de proyectos de arquitectura sostenible. Y el Máster en Medio Ambiente y Arquitectura Bioclimática (MAYAB), que se está impartiendo

desde 1996, ha dado continuidad a la transmisión y difusión de toda la información generada a lo largo de estos años de investigación.

La participación activa de los alumnos, siempre de interés con sus trabajos de grupo, está publicada en revistas y congresos: *Lucernarios y protección solar* (Oteiza et al, 1999) muestra el potencial de iluminación interior que presentan tres tipos de lucernarios que, siendo diferentes en su configuración, proporcionan la misma protección solar interior; *Daylight reflectance and skylights* (Oteiza y Prieto, 2000) explica, mediante un estudio experimental, que en todos los lucernarios la recepción de la luz reflejada en la cubierta influye claramente en la mejora de la iluminación interior; *Experimental study about skylight in the School of Architecture of Madrid* (Oteiza et al, 2001), expone los diferentes niveles de iluminación interior que proporcionan siete lucernarios que tienen la misma protección solar; *Daylighting analysis with scale models for architecture students in Madrid* (Oteiza, 2006), presenta cómo realizar un estudio experimental con maquetas para introducir, a los estudiantes, en el campo de la experimentación con la luz natural y la arquitectura.

Para mostrar la metodología seguida en los cursos, se ha editado la guía *Iluminación sobre superficies horizontales y verticales en Madrid* (Oteiza y Pérez-Burgos, 2012) que propone un procedimiento para, por un lado, calcular la iluminación natural exterior si se tienen datos de radiación solar y, por otro, determinar la iluminación natural interior que incide a través de aberturas cenitales o laterales, cuando es conocida la iluminación exterior. Las tesis doctorales, *Sistema de iluminación integrada para un espacio de oficina en el*

trópico de Costa Rica, de Andrea Ávila (Ávila, 2011) y *Optimización de la iluminación con luz natural lateral mediante sistemas integrales de captación y protección solar*, que próximamente defenderá Marlix Prieto, constituyen importantes desarrollos del conocimiento en este campo de investigación.

5. OTRAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La mayoría de los trabajos de investigación generan nuevas experiencias que favorecen el avance en un campo determinado de la ciencia. La búsqueda continua de conocimientos genera también multitud de incógnitas que es preciso desvelar para seguir avanzando de forma productiva. En el campo de estudio de la iluminación natural y la arquitectura, queda mucho trabajo por hacer y es necesario seguir profundizando, al menos, en cuatro grandes líneas de trabajo.

Una de ellas tiene que ver con los aspectos del bienestar higrotérmico (a la vez que lumínico) denominada: Climatización e Iluminación de espacios. Otra de las líneas fundamentales debería estar dirigida al estudio de nuevos materiales, que permitan el paso de la luz pero que sean opacos a la transmisión térmica: Nuevos Materiales Transparentes. Más específica, aunque con cierta vinculación a la línea de investigación anterior, está la de: Vidrios con Agua, en los que se consiguen importantes reducciones de transferencia térmica manteniendo la transparencia luminosa en un doble vidrio normal con cámara de agua. Por último, el estudio de sistemas de alta protección solar que maximicen la iluminación, parece una vía de investigación imprescindible,

sobre todo para lugares con alta radiación solar y grandes necesidades de enfriamiento; en esta línea se deben estudiar: Celosías Reflectantes.

6. CONSIDERACIONES FINALES

Dentro del campo de la Arquitectura ha venido cobrando fuerza la necesidad de realizarla de acuerdo con las condicionantes del lugar de emplazamiento. El uso más racional, tanto de los recursos materiales como de los energéticos, es necesario e imprescindible para hacer sostenibles nuestros edificios. Esto va a permitir que, las futuras generaciones, puedan disponer también de esos recursos y va a equilibrar la balanza energética entre la energía consumida y la disponible en el planeta.

Definitivamente: los estudios que, sobre Acondicionamiento Ambiental, se iniciaron en la Universidad del Zulia, han sido el origen de un conjunto de conocimientos y experiencias sobre arquitectura solar pasiva e iluminación natural y, actualmente, se nos abren líneas de investigación que son estimulantes, en campos, como Materiales y Energía, que constituyen el futuro inmediato de nuestro quehacer.

7. REFERENCIAS

Ávila, A. (2011). *Sistema de iluminación integrada para un espacio de oficina en el trópico de Costa Rica*. Madrid (España): Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, tesis doctoral.

González, E., Hinz, E., Oteiza, P., Quirós, C. (1986). *Proyecto Clima y Arquitectura*. México: Editorial Gustavo Gili, S.A.

Higueras, E., Oteiza, P., Pérez, M., Urrutia, N., Olivieri, F., Bedoya, C., Neila, J. (2009). *Ventana Modular y ventana Mirador*. Madrid (España): Terceras Jornadas sobre Investigación en Arquitectura y Urbanismo, Naturaleza

de la Investigación en Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid, ETS Arquitectura.

- Mascaró, J., González, E., Yarke, E., Oteiza, P., Hinz, E. (1987). *Manual de uso racional de energía en vivienda y edificaciones*. Quito (Ecuador): Organización Latinoamericana de Energía (OLADE),
- Neila, J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Editorial Munilla-Lería.
- Oteiza, P. (1983). *Base de Datos: La velocidad del viento en Maracaibo*. Maracaibo (Venezuela): Facultad de Arquitectura, Universidad del Zulia.
- _. (1984). *Base de Datos: La dirección del viento en Maracaibo*. Maracaibo (Venezuela): Facultad de Arquitectura, Universidad del Zulia.
- _. (1985). *La temperatura y la humedad en Maracaibo*. Maracaibo (Venezuela): Facultad de Arquitectura, Universidad del Zulia.
- _. (1986). *La orientación solar y eólica de las edificaciones en Maracaibo*. Maracaibo (Venezuela): Facultad de Arquitectura, Universidad del Zulia.
- _. (1987) *Consideraciones climáticas para una arquitectura apropiada en Maracaibo*. Maracaibo (Venezuela): Revista Arquiluz, Año 1, Nº 1.
- _. (1991). *Estudio combinado de iluminación natural y ganancia solar térmica pasiva en edificios docentes*. Madrid (España): Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, tesis doctoral.
- Oteiza, P., Soler, A., Yáñez, G. (1992). *La eficacia luminosa de la radiación solar en Madrid*. Madrid: Informes de la Construcción, Vol. 44, Nº 419, mayo/junio 1992, pp.53-57.
- Oteiza, P., Soler, A. (1993). *Outdoor and indoor measurements of global and diffuse illuminances at Madrid*. Florencia (Italia): Solar Energy in Architecture and Urban Planning, Third European Conference on Architecture. Proceedings pp. 134-137.
- Oteiza, P. (1994). *La orientación óptima de los edificios en Maracaibo para evitar el soleamiento y aprovechar el viento*. Caracas: Universidad Central de Venezuela, Tecnología y Construcción, 10/II, pp. 17-21.
- Oteiza, P., Soler, A. (1994). *Eficacia luminosa de la radiación solar global y difusa para cielos despejados*. Vigo (España): VII Congreso Ibérico de Energía Solar, pp. 189-194.

- _. (1994). *Influence of shading devices in the distribution of natural light within models*. Londres: Renewable Energy, Vol.5, Part III, Pergamon Press, pp. 2181-2183.
- _. (1995). *A comparison of the daylighting performance of different shading devices giving the same solar protection*. Sydney (Australia): Architectural Science Review, Vol 38, pp. 171-176.
- Oteiza, P., Robledo, L., Soler, A. (1996). *Daylight for the architecture in Madrid*. Bruselas (Bélgica): Passive Low Energy in Architecture, PLEA 96, 15-17 Julio 1996, pp. 580-586.
- Oteiza, P., Soler, A. (1997). *Experimental analysis of a simple graphic daylight calculation method based on the CIE overcast sky*. Londres: Building and Environment, Vol 32, Nº 2, pp 1-4.
- Oteiza, P., Brito, C., Prieto, I. (1999). *Lucernarios y protección solar*. Caracas: Universidad Central de Venezuela, Tecnología y Construcción, 15 II, pp. 25-29.
- _. (1999). *Skylights and solar protection*. Brisbane (Australia): Passive Low Energy in Architecture. PLEA 99, pp. 547-552.
- Oteiza, P., Prieto, I. (2000). *Daylight reflectance and skylights*. Cambridge (United Kingdom): Architecture, City, Environment, Proceedings of PLEA, 294-295.
- _. (2000). *Lucernarios, protección solar y reflectancia de las superficies*. Córdoba (España): IX Congreso Ibérico de Energía Solar III Jornadas Técnicas sobre Biomasa, 27-29, 9 p.
- Oteiza, P., Prieto, I., Vela, S., Llorente, M., Fagutini, C., Ivosevich, E. (2001). *Experimental study about skylight in the School of Architecture of Madrid*. Estambul (Turquía): International Lighting Congress, Proceedings, pp.166-173.
- Oteiza, P. (2002). *Glare protection in a great opening with different orientation in Madrid*. Colonia (Alemania): Renewable Energy. Renewables: World's Best Energy Option, World Renewable Energy Congress VII, 616-617.
- _. (2006). *Daylighting analysis with scale models for architecture students in Madrid*. Florencia (Italia): World Renewable Energy Congress, Proceedings of WREC, Editorial Elsevier, Book of Abstracts: pp. 111.
- Oteiza, P., Bugueño, H. (2008). *Design of a "Mocarabe" skylight of the energy agency of Andalusia in Seville*. Glasgow, (United Kingdom): World Renewable Energy Congress, Proceedings of WREC, Editorial Elsevier.

Oteiza, P., Pérez, M., Bedoya, C., Neila, J. (2009). *Modular window, a sustainable and industrialized solution*. Dublin (Irlanda): Environmental Protection Beyond 2020. Proceedings of the 3rd International Conference on Sustainable Energy & Environmental Protection. Part 1. Glasnevin Publishing, pp 88-93.

_. (2009). *Eficiencia de la ventana modulada*. Valladolid (España): I Congreso de Arquitectura Sostenible, pp. 144-147.

_. (2010). *La ventana Modular aplicada a la rehabilitación*. Madrid (España): Sustainable Building Conference SB10.

Oteiza, P., Orozco, S., Pérez, M., Bedoya, C., Neila, J. (2011). Optimized Modular window as a sustainable and industrialized solution for indoor daylighting. Linköping (Suecia): World Renewable Energy Congress.

Oteiza P., Pérez-Burgos, A. (2012). *Iluminación sobre superficies horizontales y verticales en Madrid*. Madrid: Cuadernos del Instituto Juan de Herrera, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid.

Soler, A., Oteiza, P. (1994). *A search of the best relation to be used to estimated monthly daily diffuse solar radiation on a horizontal surface for Europe*. Londres (UK): Renewable Energy, Vol. 5, Part II, Pergamon Press, pp.1517-1519.

_. (1996). *Métodos experimentales, utilidades informáticas y dispositivos para la iluminación natural de los edificios*. Caracas: Universidad Central de Venezuela, Tecnología y Construcción, 12/II, pp. 9-18.

_. (1996). *Dependence on solar elevation of the performance of a light shelf as a potential daylighting device*. Londres: Renewable Energy, Vol.6, Pergamon Press, pp. 198-201.

_. (1997). *Light shelf performance in Madrid, Spain*. Londres: Building and Environment, Vol. 32, Nº 2, pp. 87-93.

Yáñez, G. (1982). *Energía solar, edificación y clima*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

_. (1988). *Arquitectura solar. Aspectos pasivos, bioclimatismo e iluminación natural*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

_. (2008). *Arquitectura solar e iluminación natural*. Madrid: Editorial Munilla-Lería.

