

# SIMULACIÓN ARQUITECTÓNICA Y SOSTENIBILIDAD

José M. CABEZA-LAINEZ Dr. Arquitecto.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Sevilla, Grupo de Investigación Karma, Av. Reina Mercedes 12, 41012, Sevilla, España, [wrzescz@gmail.com](mailto:wrzescz@gmail.com)

Palabras clave: simulación, forma arquitectónica, intercambio radiante, pioneros del movimiento moderno, proyectos y soluciones contemporáneas.

## Resumen

Durante más de una década los programas de simulación han estado a disposición de los diseñadores y arquitectos. La predicción de la respuesta climática o energética de las estructuras edificatorias ha sido más rápida y fiable. Los nuevos procedimientos de monitorización integrados con una instrumentación inteligente han permitido una plétora de nuevas soluciones de diseño. La sostenibilidad es finalmente un factor técnico y electrónico de cualquier repertorio de arquitectura.

Sin embargo, la cuestión es aún ampliamente ignorada tanto por los profesionales como por los políticos, lo que en nuestra opinión ha producido consecuencias negativas. Al estudiar la situación desde el punto de vista filosófico la hemos llegado a definir en uno de nuestros libros como “el espíritu de la tragedia”. Las implicaciones de la simulación arquitectónica tienen un largo alcance, sus costes son casi despreciables. De la falta de predicción del ambiente interior en los espacios arquitectónicos sólo pueden derivarse errores y excesos de consumo de energía, especialmente en un mercado de la construcción contemporáneo donde no existe una tradición de cuidado por el medio ambiente entre los constructores o los propios usuarios.

Más aún, los concursos de arquitectura principalmente basados en esquemas obsoletos que no requieren ninguna demostración ni seguimiento del resultado energético o ambiental de las propuestas, cada vez más nos recuerdan a pases de modelos o simples actos de fe puesto que no se espera ni se demanda ningún compromiso entre los diseñadores y los usuarios finales del proyecto arquitectónico. Incluso, a menudo, compañías extranjeras consiguen los encargos si ninguna experiencia sobre el clima local o los problemas ecológicos de la región y con frecuencia se refieren a sus proyectos como “rompedores” o “catalizadores” o “provocativos”.

No es necesario insistir en que no creemos que se deba provocar a la naturaleza sino que por el contrario debemos buscar una simbiosis con los entornos naturales de modo inteligible, para que cualquier persona pueda entender y comprobar por sí mismo este objetivo, a este proceso le denominamos precisamente en ciencia “simulación”. Adoptar este tipo de actitudes en el proceso de toma de decisiones resulta urgente a no ser que nos conformemos con llegar demasiado tarde a la verdadera sostenibilidad en el sector de planeamiento urbano y de la construcción. Esto es lo que pretendemos poner de manifiesto con la presente contribución.

## 1. Precedentes modernos de una arquitectura orientada hacia la simulación

La idea según la cual la propia arquitectura en su conjunto o al menos las partes más importantes de la misma puede ser modeladas o simuladas hasta cierto punto no es nueva. Al evolucionar las ciencias naturales, la arquitectura que había estado tradicionalmente conectada con esos desarrollos también se benefició de estas novedosas aproximaciones y trató de extenderlas dentro del dominio de la construcción.

Las cuestiones estructurales y ambientales eran casos típicos en los que el objetivo de predecir el comportamiento futuro del edificio se buscaba con insistencia.

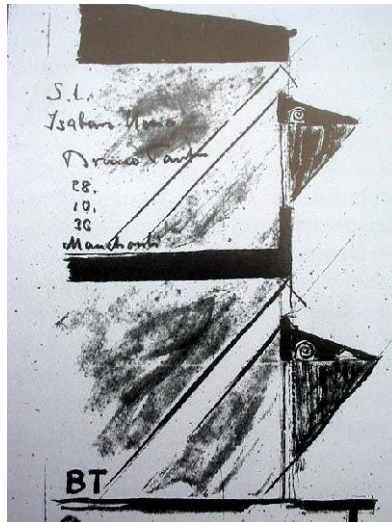
Ya en 1815 Sir John Soane dijo en su famosa conferencia número 8 que: “quizá en ninguna otra área de nuestro arte se puede aprender tan poco de los antiguos como en la cuestión del debito calentamiento de...las habitaciones” y trató de los medios mediante los cuales se podría controlar el ambiente térmico de un edificio.

Cuando la arquitectura racional posteriormente llamada objetiva o “sachlichkeit” del siglo veinte se estableció con firmeza, varios pioneros bien conocidos del movimiento moderno mostraron su adhesión por esta actitud. Especialmente, podríamos mencionar a Hannes Meyer y a Bruno Taut.

Bruno Taut tuvo buenas ocasiones de experimentar con las ideas antes mencionadas al estar obligado a exiliarse en Japón donde no se había establecido ningún tipo de arquitectura moderna predefinida y el clima no se adecuaba a los patrones de las zonas europeas. Por ello adujo: “Por lo tanto Japón no puede poseer su propia arquitectura si esta no se desarrolla de acuerdo con su clima. Sin embargo esto es muy difícil e incluso imposible para los propios japoneses. Algunos siglos pueden pasar antes de que estén preparados para actuar de este modo sin la ayuda de técnicos extranjeros.”



Figura 1. Bruno Taut sentado en su “tokonoma” en Shôrin-san cerca de Takasaki (Japón)



*Figura 2. Bruno Taut, boceto sobre como controlar la luz y el deslumbramiento mientras que se permite la ventilación de la sección del espacio*

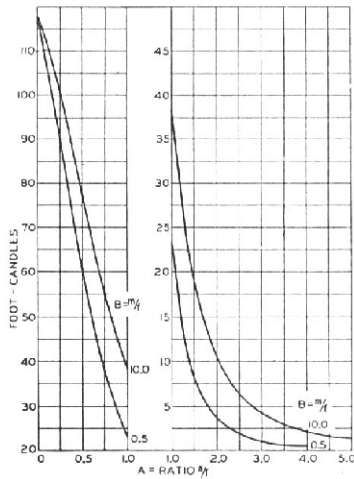
En un famosos boceto fechado en 1936 y dibujado en el tren de Manchuria, discute una solución que aumentaría los niveles lumínicos en los planos superiores de las habitaciones y requeriría un uso mayor de los muebles de estilo europeo diseñados y vendidos por él mismo. Igualmente la fachada se mantiene en sombra y está protegida de lluvias intensas sin impedir una adecuada ventilación.



*Figura 3. Detalle de la ventana plegable diseñada por Taut en la casa Hyûga de Atami (Japón)*

Otros elementos para una fenestración ligera y adaptable se implementaron en las casas Hyûga y Okura mostrando una impresionante preocupación por las demandas ambientales en un país que no era el suyo propio. Estos elementos pueden ser justamente considerados, a pesar de la escasez de sus medios, como precedentes de una arquitectura orientada a la simulación.

En el caso de Hannes Meyer es sabido que habría incluido consideraciones sobre la iluminación y el confort térmico y acústico en algunos proyectos bien conocidos como el de Peterschule de Bassel de 1927, y en el edificio para las Naciones Unidas. El currículo que propuso como uno de los últimos directores del Bauhaus, habla claramente a favor de sus tendencias hacia la predicción ambiental. Cuando también él se ve obligado a dejar Europa y establecerse en México durante muchos años sus ideas sobre simulación climática adquieren una utilidad insospechada.



*Figura 4: Detalle de los cálculos de iluminación presentados en el proyecto de Peterschule para Basel (Suiza); se basan en el trabajo entonces reciente de los ingenieros Higbie y Levin de Michigan (USA) y resulta muy sorprendente que fueran conocidos y usados en Alemania sólo un año después de su publicación.*

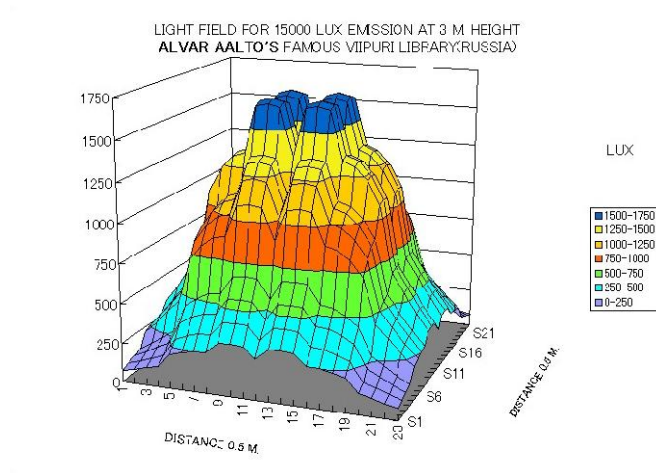
Meyer desarrolló la mayor parte de su carrera en México en un clima totalmente diferente al de Europa Central y es comprensible que tuviera que confiar en los métodos científicos de predicción para asegurar un adecuado comportamiento de su edificio, pero también era necesaria la voluntad y la disposición para seguir esta tendencia ambiental.

Tal fue el ejemplo de muchos otros como Otto Koenisberger, quien huyó del régimen nazi y estableció su estudio en Bangalore (India) Ladislav Hudec en Shanghai y Antonin Raymond en Japón.

## 2. Cautelas y errores más frecuentes

Pronto llegó a ser común que los arquitectos introdujesen soluciones vernáculas típicas en toda clase de proyectos exóticos, Le Corbusier, Utzon, Kahn, Aalto, Sert, los Smithsons, Jane Drew y Maxwell Fry, y Minette de Silva son algunos de los muchos autores que adoptaron convincentemente tales ideas.

Muchos de sus primeros intentos se desarrollaron por intuición y algunos de los proyectistas que abogaron por la introducción de la ciencia en los procesos de diseño no eran personalmente hábiles como científicos, lo que consecuentemente les llevó a considerables errores y en algunos casos produjo que abandonaran completamente las ayudas de cálculo en proyectos posteriores como es el caso paradigmático del muy destacado maestro Oscar Niemeyer



LIBRARY IN SECTION SIDE WALL  
SKY WITH DIRECT SUN VALUES IN LUX  
OUTSIDE ILLUMINANCE: 13068.36 LUX  
DIRECT ILLUMINANCE: 70449.72 LUX

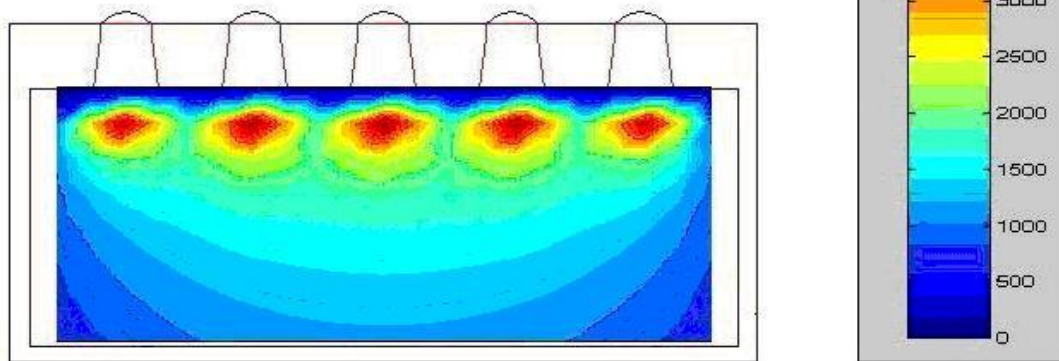


Figura 5. Simulación desarrollada por los autores de los famosos lucernarios cónicos de la biblioteca Viipuri de Alvar Aalto. Esta celebrada solución para conseguir iluminación natural uniforme sin deslumbramientos en todas las épocas del año sin embargo presenta ciertas inconsistencias e inconvenientes si se analiza desde el punto de vista científico.

### 3. Necesidad de una nueva aproximación al problema

Para evitar la repetición contraproducente de las anteriores disfunciones, nos permitimos sugerir que el apoyo científico debería ser un requisito en todos los proyectos orientados hacia el medio ambiente. Este apoyo debería aparecer bajo la forma de herramientas para ordenador asequibles al usuario o consultores y técnicos expertos si esas herramientas no están disponibles. Los progresos en diseño y simulación deberían ser llevados a cabo en paralelo y los resultados deben contrastarse durante y después de la construcción incluyendo encuestas sobre el nivel de satisfacción de los usuarios.

Siguiendo este procedimiento hemos completado recientemente algunos proyectos de edificios nuevos y rehabilitados en diversas zonas climáticas. A continuación describimos muy brevemente algunas de nuestras simulaciones para la transferencia radiante, térmica, luminosa o acústica y más en concreto nuestra herramienta de simulación Diana X.

La ecuación que rige estos procesos es la clásica:

$$d^2\phi = E_{bi} * \cos\theta_1 * \cos\theta_2 * \frac{dA_1 * dA_2}{\pi * r^2}$$

Admitiendo que  $E$  (la emitancia o la iluminación) no es constante pero puede ser considerada como tal para la mayoría de las superficies de edificación

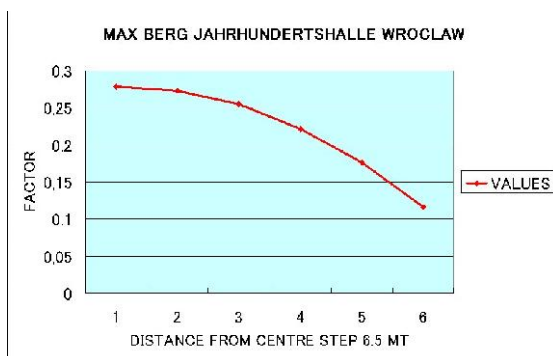
$$E_{bi} = E(\theta_1, \theta_2) \neq cte.$$

La solución típica para materiales difusores es,

$$E = \frac{L}{2} \left[ \arctan \frac{b}{D} + \frac{a \cos \varphi - D}{\sqrt{a^2 + D^2 - 2aD \cos \varphi}} * \arctan \frac{b}{\sqrt{a^2 + D^2 - 2aD \cos \varphi}} + \frac{b \cos \varphi}{\sqrt{b^2 + D^2 \sin^2 \varphi}} * \left\{ \arctan \frac{a - D \cos \varphi}{\sqrt{b^2 + D^2 \sin^2 \varphi}} + \arctan \frac{D \cos \varphi}{\sqrt{b^2 + D^2 \sin^2 \varphi}} \right\} \right]$$

# EJEMPLOS DE PATRIMONIO, OBRA NUEVA Y CONCURSO

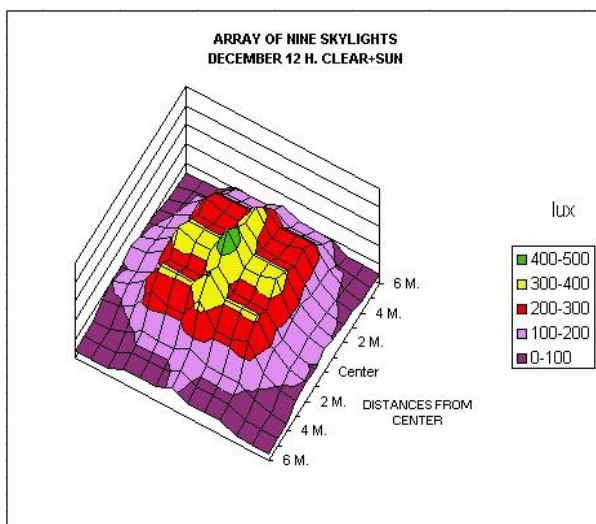
## 3.1 El Hala Stulecia de Max Berg en Wroclaw (Polonia)





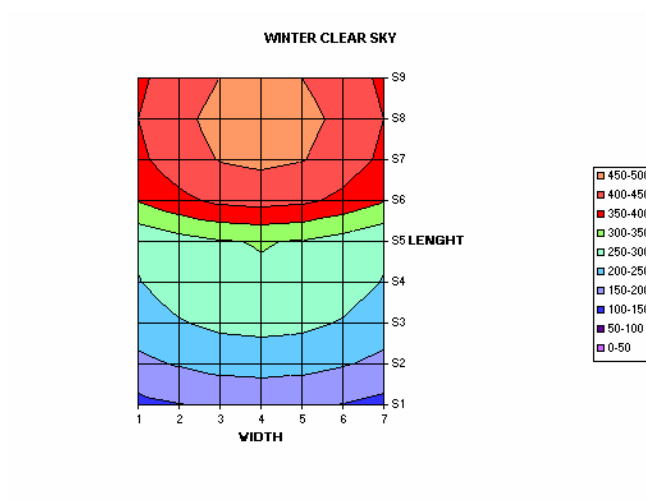
### 3.2 Nuevos lucernarios en la Escuela de Egebjerg (Denmark)

En colaboración con Cenergia Energy Consultants

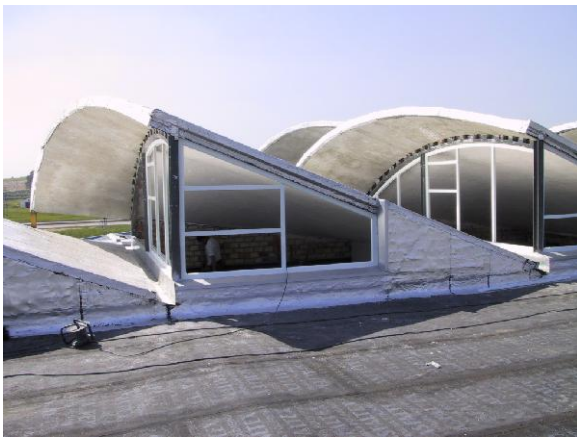




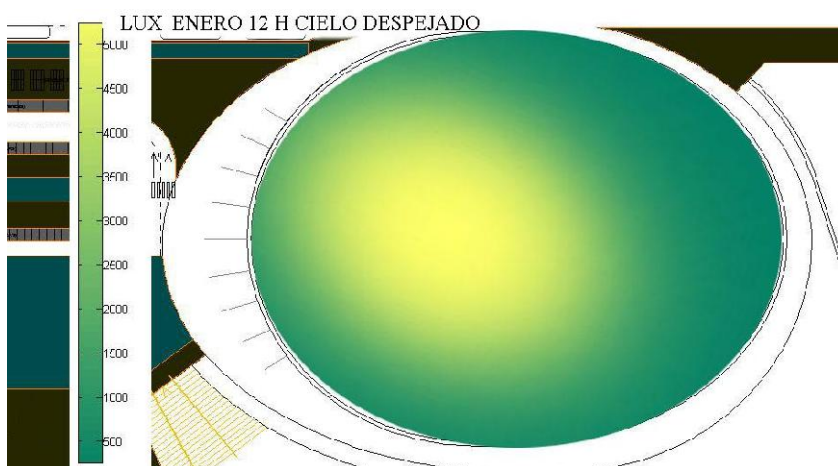
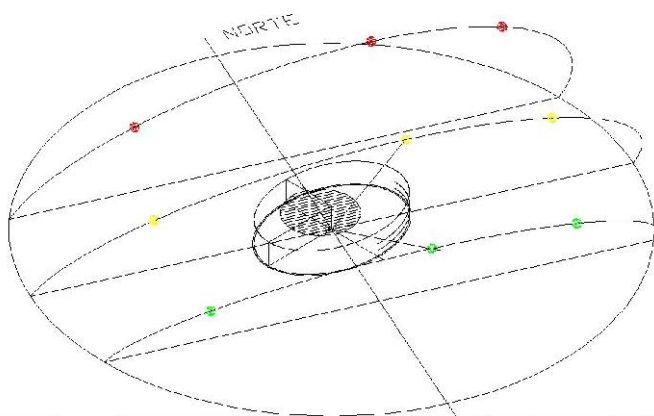
### 3.3 Rehabilitación del museo arqueológico de Sevilla (España)



### 3.4 Edificio de oficinas en Gelves (Sevilla/España)



### 3.5 Nuevo intercambiador Modal de Transportes (Barcelona/España)



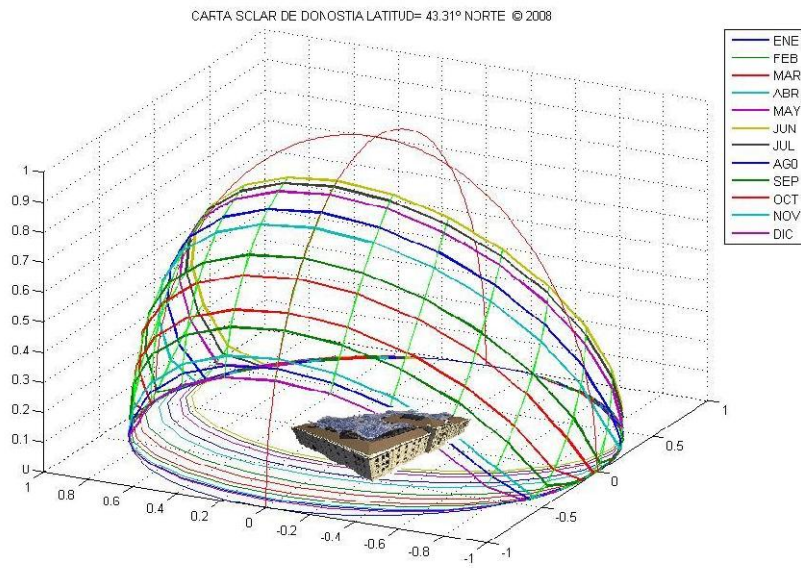


GRÁFICOS DE REALIDAD VIRTUAL





### 3.6 Nuevo Centro Cultural Tabakalera (SanSebastián/España)





(C) 2008

DISTRIBUCIÓN DE RADIACIÓN VERTICAL EN LUX INVIERNO

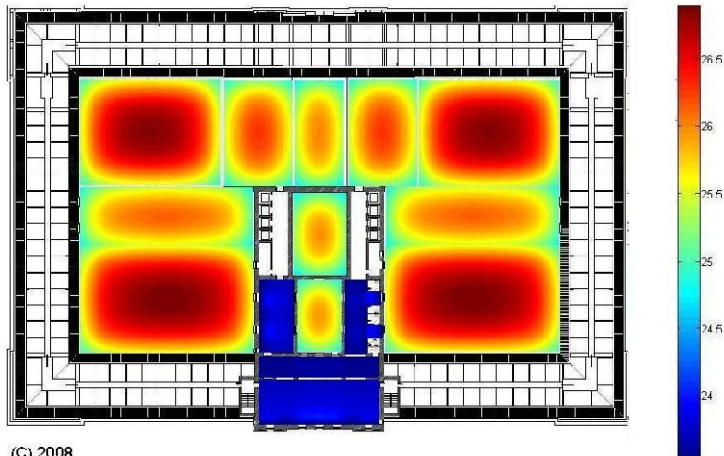


(C) 2008

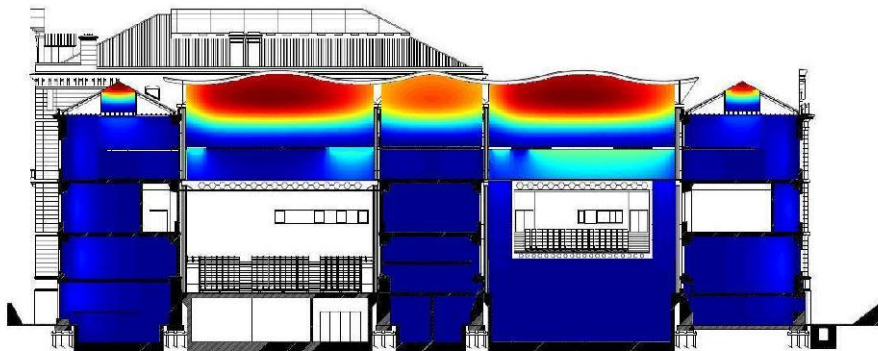
DISTRIBUCIÓN DE RADIACIÓN VERTICAL EN LUX VERANO



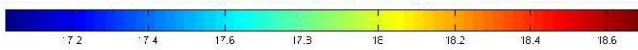




(C) 2008  
DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN °C VERANO SEGÚN RADIACIÓN PLANTA 3



(C) 2008  
DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN FUNCIÓN DE LA RADIACIÓN VERTICAL EN °C INVIERNO



#### 4. Conclusiones

Dado el creciente deterioro de los recursos ambientales es urgente que revitalicemos la tendencia a evaluar los resultados futuros de cualquier producto arquitectónico mediante la simulación. Esto debe de ser llevado a cabo con suficiente antelación a la construcción de las diversas instalaciones y debe de ser demandado a escala global mediante regulaciones, principalmente aplicables a los países en desarrollo.

Existen hoy los suficientes datos climáticos y la tecnología informática adecuada como para que este proceso resulte asequible y rentable al mismo tiempo. La industria de la construcción no puede permanecer por más tiempo aislada en el proceso de la lucha contra el cambio climático y los desastres naturales, o en otras palabras, no tenemos otro remedio que resistir la presión siempre en aumento de la especulación urbana con la ayuda de la ciencia si la humanidad pretende luchar por el objetivo común de la sostenibilidad.

#### Referencias

- Almodóvar Melendo, J. M. Desarrollo de Métodos de Simulación Arquitectónica. Aplicación al análisis ambiental del Patrimonio (In Spanish). Colegios de Arquitectos de Sevilla. Fidas. 2003.
- Ashdown I. Radiative Transfer Networks Revisited. Proceedings of IESNA, Paper 8. 2001
- Cabeza Lainez, J. M. Fundamentals of Luminous Radiative Transfer. Crowley Editions. Sevilla. 2006.
- Cabeza Lainez, J.M., Almodóvar Melendo, J.M. The Architect Roberto Rivero and Daylighting Research. PLEA 2003. Santiago de Chile
- Cabeza Lainez, J.M., Almodóvar Melendo, J.M. Influencia del color de las Protecciones Solares sobre la Iluminación Natural de los Espacios Arquitectónicos (In Spanish). VII Congreso Nacional de Color. Pamplona. 2004
- Cabeza J.M.; Almodovar J.M. et al. (1999) Scientific designs of sky-lights. Passive and Low Energy Architecture (PLEA). Brisbane. Australia.
- DiLaura D. L. New procedures for Calculating Diffuse and Non-Diffuse Radiative Exchange Form Factors. Proceedings of ASME 1999
- Galison P., Thompson Emily (editors). The Architecture of Science. The MIT Press. Cambridge. 1999.
- Hamilton, D. C. y Morgan, R. W. Radiant Interchange Configuration Factors. Technical Note 2826, Nation Advisory Committee for Aeronautics, Washington D. C., 1952
- Higbie, H. H. Lighting Calculations. John Wiley and Sons. New York. 1934
- Holman, J.P. Heat Transfer. Mac Graw-Hill. 1997. New York.
- Hopkinsons, R. G.; Petherbridge, P.; Longmore, J. 1966 Daylighting. London. Heinemann.
- Lambert J. H. Photometria. sive de mensura et gradibus Luminis, Colorum et Umbrae. Editor. D. DiLaura. IESNA. 2001
- Moon, P. H; Spencer D. E. *The Photoc Field*. 1981. The MIT Press. Cambridge. Massachussets.

Moore, F. *Concepts and Practice of Architectural Daylighting*. Van Nostrand Reinhold. New York. 1991.

Robbins, C. L. *Daylighting. Design and Analysis*. Van Nostrand Reinhold. (1986). New York.

Shukuya M, (1993) *Hikari to Netsu no Kenchiku Kankyogaku* –The environmentally conscious architecture of light and heat- (in Japanese). Maruzen. Tokyo

Watsuji Tetsuro. *Fûdo*. (Climate and culture) 1979.

Willmert Todd, Heating Methods and their Impact on Soane's Work. JSAH LII: 26-58. 1993.

Yamauchi, Z. *The Light Flux Distribution of a System of Interreflecting Surface*. Researches of the Electrotechnical Laboratory. January 1927. No. 190. Tokyo. (In Japanese).

Yamauchi, Z. *The Amount of Flux Incident to Rectangular Floor through Rectangular Windows*. Researches of the Electrotechnical Laboratory. January 1929. No. 250. Tokyo.

Yamauchi, Z. *Theory of Field of Illumination*. Researches of the Electrotechnical Laboratory. 1932. Tokyo. No. 339