



## **TÉCNICAS DE SIMULACIÓN EN LABORATORIO EN EL PROCESO DE DISEÑO PARA LA CALIFICACIÓN DE SUSTENTABILIDAD EN ARQUITECTURA**

**Julian Evans; Silvia de Schiller**

Centro de Investigación Hábitat y Energía. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires. CIHE-FADU-UBA, Pabellón 3, piso 4, Ciudad Universitaria, C1428BFA, Buenos Aires, Argentina. E-mail: [evansjulian@hotmail.com](mailto:evansjulian@hotmail.com) ; [schiller@fadu.uba.ar](mailto:schiller@fadu.uba.ar)

### **RESUMEN**

El objetivo del trabajo es demostrar la aplicación de técnicas y ensayos de simulación espacial en el proceso proyectual y documentar estudios realizados en el Laboratorio de Estudios Bioambientales, CIHE, FADU, UBA. Dichos ensayos permiten evaluar las decisiones de diseño en las condiciones ambientales de edificios y demuestran la manera en que contribuyeron al desarrollo de proyectos, mejorando la calidad ambiental, controlando impactos climáticos adversos y proporcionando bases cuantificables de apoyo al proceso proyectual. Los proyectos de arquitectura, generalmente concebidos, desarrollados y definidos como objetos visuales, comunican su forma tridimensional con dibujos y maquetas. El énfasis visual en el proceso de diseño resta importancia a los impactos ambientales del proyecto. Sin embargo, forma arquitectónica y detalles constructivos influyen en las pérdidas de calor en invierno o captación excesiva en verano. Las condiciones ambientales edilicias y el consumo de energía para calefacción, refrigeración e iluminación artificial son el resultado directo de las decisiones de diseño. La calidad ambiental en espacios interiores y exteriores depende de factores no visibles o difíciles de visualizar, de formas edilicias y características tridimensionales del tejido urbano. En este contexto, se plantea la necesidad de desarrollar técnicas de ensayo que permitan visualizar y estudiar los fenómenos ambientales.

### **ABSTRACT**

The aim of this paper is to demonstrate the implementation of techniques and spatial simulation during the design process and to document studies carried out in the Laboratory of Environmental Studies, CIHE, FADU, UBA. These studies, allow the design team to evaluate initial design decisions, improving design features and construction characteristics contributing to sustainable buildings. This process strengthens sustainability issues by controlling climatic impacts and assessing results at early design stages. Architecture projects are generally conceived, defined and developed as visual objects, expressing their three-dimensional shape through drawings and models. Visual emphasis in the design process minimizes the importance of environmental impacts. Morphology and construction details have great influence in the conditions of the building: solar impact, daylighting, running costs, natural ventilation, right to light, thermal performance, internal comfort. Life cycle analysis, energy consumption for heating, refrigerating and illumination, and sustainable characteristics of the building are a direct result of design decisions. Environmental quality of interior and exterior spaces depend on visible elements as well as factors difficult to visualize, resulting from building shape and threedimensional characteristics of the urban tissue. In this context, there is a need to develop techniques, allowing to visualize and study environmental phenomena.

### **1. INTRODUCCION**

El objetivo de este trabajo es demostrar, a través de una serie de estudios realizados durante los últimos años en el LEB, Laboratorio de Estudios Bioambientales, CIHE, FADU, UBA, la aplicación de técnicas y ensayos de simulación espacial en el proceso proyectual. Dichos ensayos permiten

evaluar la influencia de las decisiones de diseño en las condiciones ambientales de los edificios y realizar recomendaciones para lograr mejoras o confirmar dichas decisiones.

El estudio demuestra la manera en que los ensayos en el LEB han contribuido al desarrollo de los proyectos, mejorando la calidad ambiental, controlando los impactos climáticos adversos y proporcionando bases cuantificables para apoyar el proceso proyectual. Los trabajos presentados corresponden a distintas situaciones y contextos: asesoramiento a terceros, cooperación, investigación y docencia.

**Asistencia técnica:** a profesionales en el marco del Programa de Asistencia Técnica en Arquitectura Bioambiental, realizadas a través de la Secretaría de Relaciones Institucionales y Extensión.

**Convenios:** entre la FADU y otras instituciones, incluyendo la Municipalidad de la Ciudad de Buenos Aires, Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo, Fundación Vida Silvestre Argentina.

**Trabajos de alumnos de grado:** de la Carrera de Arquitectura, de las materias Diseño, Introducción al Diseño Bioambiental e Introducción a la Arquitectura Solar.

**Trabajos de alumnos de posgrado:** del Taller de Integración Proyectual del Programa de Actualización en Diseño Bioambiental.

**Investigaciones:** de becarios de la SECyT, UBA y del Fondo Nacional de las Artes.

**Estudios de pasantes:** estudiantes de la FADU, pasantes Programa FOINDI, y de estudiantes pasantes de universidades del país y del exterior.

**Ensayos:** en el marco de proyectos de investigación acreditados.

## 2. ESTUDIOS EN EL LABORATORIO

Los estudios presentados corresponden a diferentes escalas: urbana, arquitectónica y constructiva, en el marco de las actividades que se realizan en el CIHE. Las problemáticas analizadas requerían distintos tipos de ensayos, y fueron realizados en forma individual o combinando uno o más elementos del equipamiento: túnel de viento, heliodón y/o cielo artificial.

Los ejemplos analizados corresponden en algunos casos, a proyectos en desarrollo y propuestas iniciales. En otros, se estudiaron obras realizadas y refuncionalización de edificios existentes. También se incluyeron estudios llevados a cabo en el marco de proyectos de investigación, así como proyectos de Taller de Arquitectura y trabajos de materias varias. La Tabla I compendia los diversos casos y alternativas.

Es importante notar que la gran mayoría de los ensayos realizados en el Laboratorio cuentan con estudios complementarios de simulaciones de diverso tipo y envergadura, según lo requiera la situación planteada y el problema a resolver: Simulaciones numéricas de iluminación natural, simulaciones térmicas, simulación de sombras, simulación de niveles de ruido. Asimismo, la diversidad de los ejemplos presentados en diferentes ubicaciones geográficas, con marcadas características climáticas, como son los distintos climas de Argentina y otros países, incluyendo España y Uruguay, indican la importancia y amplitud de estudios realizados.

## 3. PROBLEMÁTICA

Según la práctica convencional de diseño, los proyectos de arquitectura son generalmente concebidos, desarrollados y definidos como objetos visuales, y documentados a través dibujos y maquetas que comunican su forma tridimensional. A veces, este énfasis visual en el proceso proyectual resta importancia a otras características del proyecto y al impacto de las decisiones de diseño sobre el ambiente interior y exterior. De esta manera, se puede evaluar, por ejemplo, si el diseño de la forma edilicia favorece la captación de sol en invierno, o proporciona sombras favorables en verano; si canaliza brisas refrescantes en épocas de calor o provoca aceleraciones y turbulencias de viento en épocas frías.

La forma arquitectónica y los detalles constructivos influyen en las pérdidas de calor en invierno o la captación excesiva en verano. Las condiciones ambientales en el interior de los edificios, el consumo de energía para calefacción, refrigeración e iluminación artificial son el resultado directo de las decisiones de diseño.

La calidad ambiental de los espacios urbanos exteriores también depende del diseño apropiado de las formas edilicias y las características tridimensionales del tejido urbano. La calidad ambiental de los espacios interiores y exteriores depende de factores no visibles o difíciles de visualizar. Por eso, la necesidad de desarrollar técnicas de ensayo que permitan visualizar y comprender los fenómenos ambientales para contribuir a la mejora en las decisiones de diseño y a los cambios microclimáticos requeridos para lograr adecuados niveles de confort y habitabilidad.

Así, los ensayos de los proyectos en el laboratorio pueden lograr mejor control de las condiciones ambientales, mayor aprovechamiento de la iluminación natural (Evans, J. M, Baroldi, G., y Marmora, M. I., 1997), eficiencia en el uso de energía, y confort para los ocupantes. Con el humo en el túnel de viento se puede visualizar el flujo de aire alrededor de edificios o en los espacios interiores. Las sombras en el heliodón indican zonas sin radiación directa, según hora del día, época del año y latitud.

Con instrumentos de medición, tales como el luxómetro, fotómetro, piranómetro o anemómetro, se puede cuantificar las variables ambientales que afectan nuestra sensación de confort y bienestar. El LEB, Laboratorio de Estudios Ambientales, cuenta con equipamiento, instrumental y programas de simulación numérica que permite experimentar y simular el comportamiento de proyectos, utilizando maquetas en escala y maquetas virtuales durante el proceso de diseño. También utiliza instrumental para verificar el comportamiento de edificios existentes.

El desarrollo de programas de simulación numérica permite medir y visualizar fenómenos tales como el impacto del movimiento del sol y viento, el comportamiento térmico, energético, acústico y lumínico de edificios. Sin embargo, la calibración y verificación de estos programas es posible solo con la medición de los fenómenos físicos. Sin mediciones y ensayos espaciales, los programas de simulación pueden ofrecer resultados convincentes pero totalmente erróneos.

Ello demuestra la importancia de complementar estudios con el apoyo de ensayos en el Laboratorio de Estudios Bioambientales, desarrollado con el fin de proporcionar equipamiento para investigación, docencia y extensión.

Desde un comienzo, se hizo fuerte énfasis en:

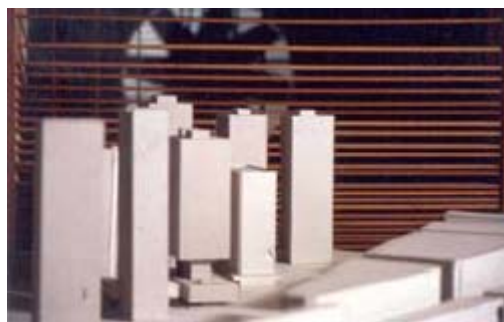
- facilidad de uso por parte de los alumnos y docentes.
- importancia de la comprensión visual y espacial de los fenómenos observados.
- capacidad de modificación del fenómeno en el proyecto.
- incorporación de la práctica de ensayos en las etapas iniciales de diseño.
- uso del laboratorio como herramienta proyectual, no solo para verificar condiciones en proyectos consolidados.
- participación grupal en ensayos, para favorecer la enseñanza.

#### 4. EQUIPAMIENTO DEL LABORATORIO

Los elementos principales que componen el equipamiento del LEB, Laboratorio de Estudios Bioambientales del CIHE, Centro de Investigación Hábitat y Energía, son los siguientes:



**Heliodón:** simulador del movimiento aparente del sol; estudios de asoleamiento, proyección de sombras y protección solar.



**Túnel de Viento:** se utiliza para estudios de protección de viento, aprovechamiento de brisas y ventilación en espacios interiores.



**Cielo Artificial:** estudios de iluminación natural en interiores con condiciones de cielo nublado.



**Mini-data logger:** equipos de reducido tamaño, registros automáticos de temperatura, humedad relativa y niveles de luz.



**IMAP:** Instrumento portátil de medición y verificación de sombras puntuales in-situ para cada latitud. Producido por el CIHE

El Laboratorio cuenta con instrumental complementario para mediciones de velocidad de aire, niveles de iluminación, reflectividad de materiales, etc.:

- Anemómetro de hilo caliente: medición de velocidad de viento alrededor de maquetas o en su interior, de alta precisión con bajas velocidades de aire, entre 0,3 y 2 metros por segundo. Este instrumento contiene un hilo de alambre fino calentado por corriente eléctrica y una termocupla para medir la temperatura, que indica la velocidad de viento según su capacidad de enfriamiento.
- Anemómetro de vanos: para medición de velocidad en espacios exteriores y en la salida de conductos de ventilación. Los vanos giran según la velocidad de viento, con un rango entre 0,60 y 10 metros por segundo aproximadamente.
- Luxómetro: para medición de niveles de luz natural o artificial en el interior de maquetas en el cielo artificial o en edificios existentes.
- Lámpara de cuarzo: estas lámparas de 500 watts, con pie de altura ajustable, son utilizadas para lograr buena iluminación del humo en el túnel de viento. También permiten lograr mayor intensidad de luz para fotografiar sombras en maquetas y simular radiación solar en ensayos de cocinas solares.
- -Fotómetro: para medición de niveles de luz natural o artificial con mayor precisión, especialmente con altos ángulos de incidencia. Los fotómetros también ofrecen mejor respuesta al espectro visible.
- Reflectómetro: equipo portátil desarrollado en el CIHE para medir la reflectividad de materiales con superficie mate; por ejemplo, pisos y paredes en edificios existentes o papeles de color utilizados en la construcción de maquetas para el cielo artificial. El CIHE posee tres de estos equipos que utilizan dos luxómetros para las mediciones.

**Tabla 1. Presenta los ensayos de proyecto de investigación y de estudiantes.**

Estudio	Escala			Equipamiento				Clima			Estudio		
	U	A	C	H	TV	CA	O	C	T	F	I	E	P
Maquetas obra Arq. Baliero		•		•					•			•	
Maqueta Museo Fundación Miró, J. Sert		•		•					•			•	
Maqueta Escuela Alem. Soto y Rivarola		•		•	•	•		•				•	
Maquetas casas Vladimiro Acosta		•		•					•			•	
Maqueta casa Curuchet, Le Corbusier		•	•	•					•			•	
Maqueta Intervención Urbana en Barracas	•								•				•
Maqueta cocinas solares			•	•					•		•		
Maqueta Puerto Madero	•			•					•		•	•	
Maqueta Banco Tokio	•			•					•		•	•	
Maqueta Edificio La Buenos Aires	•			•					•		•	•	
Maqueta Edificio Banco de Tokio, Ciudad de Bs. As.	•	•		•	•				•		•	•	
Maqueta Torre La Buenos Aires, Ciudad de Bs. As.	•	•		•	•				•		•	•	
Maqueta Edificio Conurban, Ciudad de Bs. As.	•	•		•	•				•		•	•	
Maqueta Manzanas de Buenos Aires	•	•		•	•				•		•	•	
Maqueta Colegio en Barracas		•		•					•				•
Maqueta Escuela Técnica en Barracas		•		•					•				•
Maquetas viviendas bioclimáticas en Argentina		•		•				•	•	•	•		

**Tabla 2 - Presenta los ejemplos analizados en las fichas y los estudios realizados en cada caso.**

Estudio	Escala			Equipamiento				Clima			Estudio		
	U	A	C	H	TV	CA	O	C	T	F	I	E	P
Torre José Hernández, Belgrano, Buenos Aires	•			•				•					•
Palacio de Justicia, Las Palmas, España	•	•	•	•	•	•	•	•					•
Edificio Greenpeace, Buenos Aires		•	•	•		•	•	•					•
Reserva de Biosfera, Yabotí, Misiones		•	•	•	•		•	•					•
Universidad de La Pampa	•	•	•	•	•	•	•	•				•	•
Casa Fuentes López, Bariloche		•	•	•						•			•
Boulevard, Ex AU-3	•			•	•		•						•
Catalinas Norte (posgrado)	•			•	•				•		•	•	
Tejido urbano, Buenos Aires	•	•		•	•				•		•	•	
Centro de Interpretación, Reserva Ecológica		•	•	•		•	•	•			•		•
Centro Cultural, Punta del Este	•	•		•			•	•					•
Aeropuerto, Ezeiza		•		•					•				•
Desarrollo Ecológico, Merlo	•	•		•					•				•
Palacio de Justicia, Neuquén	•	•	•	•	•	•				•			•
Consejo de Educación, Neuquén	•	•		•	•					•			•
Torre, Banco de Galicia	•	•	•	•		•	•		•				•
Casa Curutchet, La Plata		•	•	•					•		•	•	
Casa, Tandil		•	•	•					•				•
Legislatura, Gob. Ciudad de Bs. As.		•	•	•					•			•	
Hospital de Caleta Olivia		•		•	•					•			•
Hospital de San Juan		•		•	•			•					•
Barrio Arturo Illia, CMV	•	•		•	•				•		•	•	
Casa del Escritor		•		•	•				•				•
Shopping Avellaneda		•	•	•					•				•
Laboratorios Roemmers		•		•					•				•
Centro de comunicaciones, Star-tel		•		•					•				•
Torres en Barcelona	•			•					•				•
Aguas de Pilar		•	•	•					•				•
5.1.1.1.1 Otras consultas y proyectos, sin ensayos en laboratorio													
Centro Cultural, Nueva Delhi		•						•					•
Archivo General de la Nación		•	•						•				•
Cortijo Grande, Andalucía		•						•					•

*Referencias:* **Escala:** U: Urbana; A: Arquitectónica; C: Constructiva / **Equipamiento:** H: Heliódón; TV: Túnel de Viento; CA: Cielo Artificial; O: Otros / **Clima:** C: Cálido; T: Templado; F: Frio / **Estudio:** I: Investigación; E: Edificio Existente; P: Proyecto; C: Concurso

## 5. PRACTICA DE ENSAYOS

### 5.1 Ensayos en el desarrollo de proyectos y en concursos:

#### Consejo Provincial de Educación, Neuquén

Estudio de Asoleamiento en el Heliodón, sombras permanentes del edificio y barrera de árboles. Verificación del asoleamiento en espacios públicos y su incidencia en el entorno. Análisis morfológico del edificio y carácter del espacio exterior.



#### Complejo Ecológico, Merlo, San Luis

Estudio de los condicionantes topográficos en el proceso arquitectónico. Análisis y verificación del entorno y su influencia en el proyecto.



#### Centro Cultural, Punta del Este, Uruguay

Verificación y estudio de la incidencia solar en techos vidriados y su influencia en las condiciones de habitabilidad interior. Análisis de alternativas.

Análisis de la protección solar en espacios públicos de acceso.



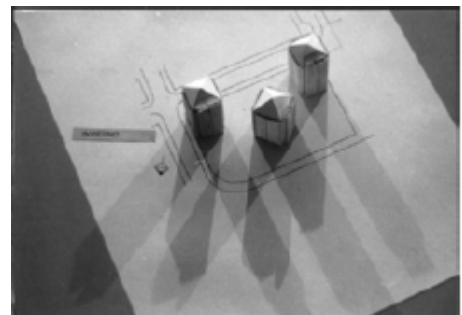
#### Aeropuerto de Ezeiza, Buenos Aires

Estudio de asoleamiento en edificios de gran escala. Estudio de las soluciones constructivas y su impacto en el funcionamiento y habitabilidad del edificio.



#### Torres en Barcelona, España

Estudios de sombras y su influencia en el entorno urbano. Análisis de la importancia de la verificación proyectual y morfológica, tanto para su impacto entre edificios como para su entorno.



### **Reserva Ecológica Costanera Sur, Buenos Aires**

Estudio de asoleamiento. Verificación del impacto en el edificio, su incidencia horaria sobre fachadas y espacios exteriores.



### **Torre Banco Galicia, Buenos Aires**

Estudio de asoleamiento. Análisis del impacto de la necesidad de protección solar en verano. Verificación de las condiciones de habitabilidad interior y su influencia en el entorno urbano.



## **6.2 Ensayos en edificios existentes:**

### **Pabellón de Barcelona, España**

Verificación de la protección solar y condiciones de iluminación interior de lumiductos a través de un estudio de Asoleamiento en el Heliodón.



### **Casa en Colonia, Uruguay**

Estudio de asoleamiento. Verificación de la protección solar en galerías y asoleamiento en espacios abiertos. Condicionantes proyectuales en la disposición proyectual de los elementos arquitectónicos.



### **Casa Curutchet, La Plata**

Verificación y estudio de la disposición de los elementos arquitectónicos de protección solar en fachadas (parasoles) y en espacios abiertos (baldaquino). Análisis morfológico del edificio y de sus elementos constructivos y cualidades espaciales.



### **Fundación Miró, Barcelona, España**

Verificación de la calidad y utilidad de los elementos proyectados para permitir el paso de luz natural según su uso y orientación.



### 6.3 Ensayos en proyectos de investigación:

#### Edificio La Buenos Aires

Estudio de sombras permanentes de los edificios en la trama urbana.

Importancia del análisis preliminar en el proceso proyectual.



#### Catalinas Norte, Buenos Aires

Estudio de asoleamiento. Análisis del impacto de nuevos objetos proyectuales en la trama urbana consolidada. Influencia edilicia en el entorno urbano y en las condiciones de habitabilidad.



#### Escuela en Barracas, Buenos Aires

Análisis de proyectos de estudiantes de un edificio público. Importancia de la protección solar, ventilación e iluminación natural en aulas y espacios circulatorios.



#### Reserva Ecológica Costanera Sur

Estudio de iluminación natural. Análisis de las condiciones de iluminación interior e incorporación de elementos para mejorar la iluminación.



## 6. CONCLUSIONES

Los ensayos, compilados y documentado en fichas, permiten evaluar las decisiones de diseño en las condiciones ambientales de edificios y demuestran la manera en que contribuyeron al desarrollo de proyectos, mejorando la calidad ambiental, controlando impactos climáticos adversos y proporcionando bases cuantificables de apoyo al proceso proyectual.

Dado su amplio campo de aplicación, el uso del Laboratorio de Estudios Bioambientales (Evans, J. M, de Schiller, S., y Perea, J. C., 1988) es una herramienta proyectual muy versátil, tanto para práctica de alumnos de grado y cursos de posgrado como para consultas de profesionales. Asimismo, permite evaluar el comportamiento de edificios existentes, para analizar sus logros o para detectar falencias y realizar mejoras.

Como se desprende de los ejemplos presentados, el LEB permite realizar estudios de una amplia gama de proyectos, tanto por su escala, ubicación geográfica y condiciones de habitabilidad y calidad ambiental interior e impacto en el entorno inmediato.



Los ensayos con maquetas de edificios proyectados por grandes maestros de la arquitectura, como Le Corbusier y Mies van der Rohe, demuestran conocimientos y aplicaciones de recursos bioambientales incorporados en sus proyectos.

En el caso de los ensayos realizados en el Laboratorio de Estudios Bioambientales para proyectos en desarrollo se verificó la necesidad de iniciar los estudios en las primeras etapas y avance del proyecto.

Los proyectos de arquitectura, generalmente concebidos, desarrollados y definidos como objetos visuales, comunican su forma tridimensional con dibujos y maquetas. El énfasis visual en el proceso de diseño resta importancia a los impactos ambientales del proyecto. Sin embargo, forma arquitectónica y detalles constructivos influyen en las pérdidas de calor en invierno o captación excesiva en verano.

En algunos casos particulares, dado el desarrollo en la definición del proyecto y una tardía consulta con ensayos en el LEB, no fué posible superar los problemas detectados sin producir sustanciales cambios en el proyecto.

La relevancia de los ensayos demuestra la importancia de la evaluación de las decisiones de diseño y la capacidad de modificarlas con conocimientos precisos de los impactos que produce el edificio en su entorno y las condiciones que se logran en su interior. En ambos casos, se contempla prioritariamente la relación entre las condiciones ambientales logradas con el proyecto y la respuesta de los ocupantes y usuarios de los espacios circundantes.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

ASADES, Evans, J. M, de Schiller, S., y Perea, J. C. (1988), Equipamiento del Laboratorio de Estudios Ambiental, pp 231, Actas de la 13 Reunión de Trabajo de ASADES, Catamarca.

Evans, J. M, Baroldi, G., y Marmora, M. I. (1997) Diseño y construcción de un cielo artificial, tipo espejo, pp 121, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 1, N°1.

## **RECONOCIMIENTO**

Este trabajo fue desarrollado en el marco del Programa de Pasantías de Investigación con acreditación académica, Resolución (CS) 5060/2000, bajo la dirección del Arq. Claudio Delbene, CIHE. Corresponde al proyecto UBACYT A-022, Arquitectura Sostenible: evaluación de impactos de decisiones de diseño dirigido por la Arq. Silvia de Schiller.