

# Conclusiones sobre la participación de la Universidad Politécnica de Madrid en la segunda edición del concurso internacional *Solar Decathlon 2005*

CÉSAR BEDOYA FRUTOS  
JAVIER NEILA GONZÁLEZ  
Madrid (España), septiembre de 2006.

**Resumen:** La participación de la Universidad Politécnica de Madrid en el segundo concurso internacional *Solar Decathlon* ha supuesto un reto, tanto a nivel teórico como práctico. Fue celebrado en Washington en septiembre y octubre de 2005, y el objetivo era el desarrollo, diseño y construcción de un prototipo de vivienda unifamiliar alimentada por energía solar. El proyecto de la UPM presentado al concurso, llamado *Magic Box*, ha conseguido poner en marcha una experiencia interdisciplinar muy enriquecedora, con la participación de instituciones universitarias del campo de la arquitectura, la ingeniería y la innovación tecnológica: el Instituto de Energía Solar (IES) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones, la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM) y el Centro de Domótica Integral (CEDINT).

<b>Preámbulo</b>	<b>255</b>
<b>Resumen de las actividades realizadas</b>	<b>255</b>
Introducción: el concurso <i>Solar Decathlon</i> . . . . .	255
La propuesta de la Universidad Politécnica de Madrid . . . . .	257
Plan de trabajo . . . . .	258
Resultados del concurso . . . . .	260
<b>Descripción de las actividades logísticas</b>	<b>264</b>
Transporte de la vivienda hasta Baltimore (EEUU) . . . . .	264
Envío 1. Marítimo: piezas especiales . . . . .	264
Envío 2. Marítimo: contenedores . . . . .	265
Envío 3. Aéreo: muros . . . . .	265
Envío 4. Aéreo: herramientas y equipos (protección personal, medida), material de oficina . . . . .	265
Envío 5. Aéreo: vidrios y equipos repuestos . . . . .	265
Envío 6. Aéreo: material de oficina y publicidad . . . . .	265
Logística en España . . . . .	265
Recepción de mercancías en EEUU . . . . .	265
Logística en Estados Unidos . . . . .	265
Montaje de la vivienda en Washington . . . . .	265
Desmontaje y retorno al almacén . . . . .	266
Retorno a España de materiales y equipos . . . . .	266
Viaje y estancia del equipo UPM . . . . .	266
<b>Conclusiones</b>	<b>266</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>267</b>
<b>Lista de participantes</b>	<b>268</b>
Autores . . . . .	268
Coautores . . . . .	268
Resto del equipo Solar Decathlon 05 . . . . .	268

## Preámbulo

La Universidad Politécnica de Madrid ha sido la única representante europea en la segunda edición del concurso internacional Solar Decathlon (SD), promovido por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, cuya fase final se celebró entre los días 29 de septiembre y 19 de octubre de 2005 en la ciudad de Washington.

El evento, que reunió a 18 equipos representantes de universidades americanas y europeas, consiste básicamente en el diseño y construcción de una vivienda unifamiliar alimentada exclusivamente por energía solar, que responda a las necesidades de un hogar del siglo XXI y permita demostrar el uso práctico de las energías renovables en la vida cotidiana.

## Resumen de las actividades realizadas

### Introducción: el concurso *Solar Decathlon*

El concurso *Solar Decathlon* tiene por objetivo mostrar la posibilidad de conciliar las buenas prácticas arquitectónicas con un uso racional de la energía a través del aprovechamiento de los recursos naturales locales (el sol en este caso) y la utilización de tecnologías eficientes existentes en el mercado.

La denominación «decathlon» responde a las características del concurso, formado por diez pruebas en las que los participantes, denominados *decathletas* —estudiantes de las universidades participantes—, deben demostrar a profesionales de los ámbitos de la arquitectura, la ingeniería, a los medios de comunicación y al público en general, en la fase final de demostración de los prototipos (que se celebra en el *National Mall* de Washington), la viabilidad de realizar tareas cotidianas. Las diez pruebas que conforman el concurso están basadas en tres principios básicos que sustentan el espíritu de la competición:

1. Suministrar la energía necesaria para llevar a cabo tareas cotidianas (alimentación, limpieza, ocio, trabajo, transporte, etc) con un nivel de confort aceptable y haciendo uso exclusivo de la energía solar captada por la vivienda durante los siete días que dura la competición.
2. Demostrar a la sociedad, de una forma práctica, la existencia de principios de diseño arquitectónico que hacen uso de tecnologías solares y, a través de ellas, sus beneficios de tipo estético y energético.
3. Estimular la investigación y el desarrollo relacionados con las energías renovables y la eficiencia energética, especialmente en el sector de la edificación.

El Cuadro 1 resume el contenido de las pruebas, que son básicamente de dos tipos:

- Valoración de aspectos relacionados con el diseño, la construcción y el funcionamiento de la vivienda (cumplimiento de normativas, grado de aceptación social, etc) por parte de jurados integrados por profesionales de distintos sectores (construcción, ingeniería, medios de comunicación) y por el público visitante.
- Realización de determinadas tareas que son valoradas, bien cualitativamente por jurados integrados por profesionales de distintos sectores y el público visitante, bien de forma cuantitativa mediante la realización de medidas específicas relativas al comportamiento de la vivienda (temperatura, humedad, iluminación) y a la satisfacción de las necesidades energéticas diarias.

El equipo ganador es el que más puntos consiga en el conjunto de las diez pruebas.

El calendario definitivo que rigió la fase final del concurso SD se muestra a continuación. Como puede observarse, los equipos dispusieron de una semana para la construcción y puesta en marcha de sus prototipos. Las viviendas fueron objeto de las pruebas anteriormente mencionadas durante siete días (más tres jornadas de *puertas abiertas*, de apertura final al público) y se desmontaron en otros tres días. El calendario definitivo fue:

- 26 y 27 de septiembre: llegada de equipos.
- 28 de septiembre: registro de equipos.
- 29 de septiembre a 3 de octubre: construcción de los prototipos.
- 4 y 5 de octubre: puesta en marcha de los prototipos.
- 6 de octubre: ceremonia de apertura.
- 7 a 14 de octubre: pruebas y apertura al público.
- 15 y 16 de octubre: apertura al público.
- 17 a 19 de octubre: desmontaje.

Las universidades participantes fueron:

- California Polytechnic State University, San Luis Obispo.
- Carnegie Mellon, Art Institute & University of Pittsburgh.
- Concordia University & Université de Montréal.

CUADRO 1: Pruebas del concurso *Solar Decathlon 2005*

Prueba	Nombre-Descripción	Máxima puntuación
1	<b>Arquitectura.</b> En qué medida la vivienda satisface las necesidades humanas de confort, demuestra una buena organización de espacios y es visualmente atractiva.	200
2	<b>Atractivo.</b> Grado de aceptación de la vivienda desde la perspectiva de la demanda social (mercado).	100
3	<b>Desarrollo del Proyecto.</b> Nivel de calidad de los documentos relativos al diseño, construcción y coste de la vivienda, así como el modelado energético de su comportamiento.	100
4	<b>Comunicaciones.</b> Elaboración de contenidos para explicar las particularidades de la vivienda (principios de diseño, tecnologías empleadas) y presentación del equipo a los visitantes (organizadores, profesionales de distintos sectores, colegios, medios de comunicación, usuarios de internet).	100
5	<b>Confort.</b> En qué medida la vivienda proporciona niveles adecuados de temperatura, humedad relativa y calidad del aire.	100
6	<b>Equipamiento.</b> Funcionamiento diario de electrodomésticos empleados habitualmente (lavadora, lavavajillas, microondas, nevera, televisión, video, ordenador...)	100
7	<b>Agua caliente.</b> Suministro diario de determinada cantidad de agua caliente sanitaria.	100
8	<b>Iluminación.</b> En qué medida la vivienda proporciona niveles adecuados de iluminación natural y artificial, utilizando tecnologías eficientes.	100
9	<b>Balance energético.</b> En qué medida la energía solar es capaz de suministrar la electricidad requerida para satisfacer las necesidades de la vivienda.	100
10	<b>Movilidad.</b> Una vez satisfechas las necesidades diarias de electricidad, suministro de electricidad sobrante para alimentar un coche eléctrico con el que realizar determinados recorridos.	100

- Cornell University.
- Crowder College.
- Florida International University.
- New York Institute of Technology.
- Rhode Island School of Design.
- Universidad Politécnica de Madrid.
- University of Colorado, Denver & Boulder.
- University of Maryland.
- University of Massachusetts. Dartmouth.
- University of Michigan.
- University of Missouri, Rolla & Rolla Technical Institute .
- Universidad de Puerto Rico - Mayagüez.
- University of Texas at Austin.
- Virginia Polytechnic Institute & State University.
- Washington State University.

## La propuesta de la Universidad Politécnica de Madrid

La participación en un concurso de las características del *Solar Decathlon* presenta para la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) una serie de retos, derivados tanto de la propia filosofía del concurso —las viviendas deben construirse en los Estados Unidos y cumplir, consecuentemente, normativas diferentes de las europeas—, como de tipo logístico —transporte de la vivienda y el equipo hasta Washington—, que representan, en la práctica, dificultades añadidas al ya de por sí ambicioso objetivo de diseñar y construir una vivienda solar autosuficiente.

En este sentido, el objetivo que inspira de la propuesta española de vivienda solar autosuficiente participante en el concurso *Solar Decathlon*, bautizada como *Magic Box*, es el de la calidad de vida. Así, se ha prestado especial importancia a aspectos tales como la calidad del aire, el confort térmico, la humedad y la adecuada distribución de temperaturas en el interior. De gran relevancia igualmente, dadas las características del concurso —limitación de la fuente de energía utilizable a la solar captada por la vivienda—, es la minimización de las necesidades energéticas mediante la aplicación de principios de diseño bioclimáticos procedentes de la arquitectura vernácula española, optimizados gracias a la integración de tecnologías actuales disponibles para el acondicionamiento y la producción de electricidad y agua caliente sanitaria (sistemas de energía solar fotovoltaica y térmica). El uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones para el mantenimiento de las variables de confort y la gestión energética de los consumos constituye un tercer elemento innovador que contribuye al objetivo planteado.

Conviene mencionar en este punto que el equipo coordinador del proyecto ha compartido desde sus inicios el deseo de que la participación de la UPM en el concurso *Solar Decathlon* trascienda los aspectos meramente derivados de las pruebas a superar, y constituya una experiencia lo más enriquecedora posible para el conjunto de nuestra universidad y de la sociedad en general. Así, el equipo participante en el concurso SD ha constituido un claro ejemplo de trabajo multidisciplinar, con el que se ha potenciado la sinergia derivada de unir el conocimiento y la experiencia de escuelas, institutos y centros de investigación, con la ilusión y el trabajo de sus estudiantes. El resultado, presentado en diversas jornadas, foros y ferias, y difundido por numerosos medios de comunicación ha supuesto un excelente ejemplo de lo que la colaboración universidad-empresa puede lograr, dada la excelencia científica y tecnológica existente en España en las disciplinas involucradas.

En este sentido, se han definido grupos de trabajo especializados en las tres grandes áreas que definen la propuesta *Magic Box*:

- **Grupo de Arquitectura**, responsable del diseño y construcción de una vivienda bioclimática que represente lo mejor de la tradición constructiva mediterránea e integre de forma atractiva tecnologías activas de aprovechamiento solar (energía solar fotovoltaica y energía solar térmica).

- **Grupo de Sistemas Fotovoltaicos**, responsable del suministro de la electricidad demandada por la vivienda y el coche eléctrico mediante una instalación solar fotovoltaica eficiente.
- **Grupo de Domótica**, responsable del equipamiento doméstico, el diseño de una página web explicativa de nuestra propuesta, así como el sistema de control para el uso adecuado de la energía en la vivienda, aprovechando las ventajas que ofrecen actualmente las tecnologías de la información y las comunicaciones.

Las funciones de coordinación que desempeñan los centros participantes de la UPM son las siguientes:

- Instituto de Energía Solar (IES), coordinador técnico y del Grupo de Sistemas Fotovoltaicos. Establecido en 1979 a partir del Laboratorio de Semiconductores de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros (ETSI) de Telecomunicación y confirmado como instituto universitario en 1993, tiene por objetivo investigar los aspectos asociados al desarrollo de la electricidad solar fotovoltaica. En particular, su *Programa de Sistemas Fotovoltaicos* está especializado en el estudio de los problemas asociados a la ingeniería de los sistemas fotovoltaicos, tanto aislados como conectados a la red eléctrica. El IES tiene, asimismo, una extensa experiencia docente en la ingeniería de los sistemas fotovoltaicos (desde 1985 en la ETSI de Telecomunicación y desde 1999 en la ETS de Arquitectura, así como en cursos de máster y posgrado organizados por la UPM y otras entidades).
- Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM), coordinador del Grupo de Arquitectura. Es un centro de la UPM que combina los aspectos formales de escuelas clásicas de arquitectura con aspectos técnicos de escuelas de ingeniería civil. De particular interés es el *Máster en Medio Ambiente y Arquitectura Bioclimática*, y todos los cursos de posgrado que le antecedieron organizados por el Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas (DCTA), que cuentan con más de trece años de experiencia y gran prestigio en el continente americano. Asimismo, el DCTA imparte, desde el año 2003, una asignatura de grado relacionada con la arquitectura bioclimática.
- Centro de Domótica Integral (CEDINT), coordinador del Grupo de Domótica. Es un centro de investigación creado en 2003 que agrupa a profesores de distintos centros de la UPM (ETSI de Telecomunicación, ETSI de Industriales, ETS de Arquitectura y Facultad de Informática) y plantea una visión multidisciplinar e integradora de un conjunto de tecnologías tradicionalmente asociadas a los ámbitos de la construcción, las comunicaciones, la ingeniería industrial o las aplicaciones informáticas, y actualmente integradas en los sectores doméstico e inmótico. Su planteamiento, además de la investigación, incluye actividades de difusión y formación, de entre las que cabe destacar el *Máster en Domótica* que comenzó a impartirse en el curso académico 2004–2005.

Cabe destacar la participación de las Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros de Telecomunicación e Ingenieros Agrónomos, centros que han proporcionado soporte logístico (cesión de espacios e infraestructuras) a las oficinas del proyecto, así como para la construcción de los prototipos en Madrid antes de su traslado a los Estados Unidos, que ha tenido lugar en las instalaciones de la ETSI Agrónomos. La ETSI de Telecomunicación, por su parte, ha proporcionado un importante apoyo en tareas de comunicación.

## Plan de trabajo

El plan de trabajo diseñado, que se extiende desde finales de 2003 hasta finales de 2005, se ha dividido en cinco fases descritas a continuación:

1. **Análisis de mercado y estudio de normativas** (diciembre 2003-abril 2004). Estudio de mercado de materiales, equipamiento, sistemas energéticos solares y normativa aplicable del concurso SD. Es de resaltar la obligatoriedad de cumplir con normativa americana (constructiva, eléctrica, de seguridad, etc), hecho que ha representado una complejidad añadida para el equipo de la UPM.
2. **Diseño preliminar de la vivienda** (mayo-octubre 2004). Incluye la totalidad de elementos arquitectónicos (tanto de exterior como de interior), elementos de captación y generación energética solares, electrodomésticos, instalación eléctrica interior y sistemas de monitorización y gestión (sensores, toma de datos, herramientas de evaluación y gestión) necesarios para la supervisión de la vivienda.
3. **Construcción de los prototipos en las instalaciones de la UPM** (noviembre 2004-junio 2005). Acopio de materiales, adquisición y caracterización de los electrodomésticos y sistemas de generación energética solares (térmica y fotovoltaica), y construcción de dos prototipos de la vivienda en las instalaciones de la ETSI Agrónomos:

- El primer prototipo, cuya construcción se inició en noviembre de 2005, permitió la identificación de aspectos técnicos susceptibles de mejora (estructurales fundamentalmente), así como la realización de pruebas y ensayos sobre el sistema energético alimentado por energía solar, destinado a la producción de electricidad para abastecimiento de los consumos eléctricos de la vivienda (electrodomésticos, iluminación, sistemas bioclimáticos y de supervisión, etc), así como el coche eléctrico. La Lámina 1 muestra una imagen tomada el día de su inauguración oficial, el 18 de mayo de 2005.

Este primer prototipo está siendo objeto de investigaciones en el contexto del Proyecto de Investigación *Heliodomo: nuevo concepto de vivienda autosuficiente*, perteneciente al *Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (2004–2007)* del Ministerio de Educación y Ciencia.



FIGURA 1: Vista general del primer prototipo de *Magic Box* (18 de mayo de 2005)

- El segundo prototipo fue iniciado en febrero de 2005. La decisión de construir un segundo prototipo se tomó una vez que la UPM recibió la invitación de participar en el *Salón Inmobiliario de Madrid* (SIMA 2005) —una de las mayores citas del sector inmobiliario en Europa—, y ante las dificultades de involucrar a empresas españolas como patrocinadores del proyecto, para muchas de las cuales el mercado estadounidense no presentaba apenas atractivo. De este modo, la presencia de la UPM en el SIMA 2005 significó un incremento considerable en el patrocinio logrado, en su mayor parte en la forma de donación de numerosos materiales y equipos, o descuentos considerables en el suministro de los mismos. Cabe destacar la importancia de esta presencia en la identificación de los principales problemas asociados al montaje y la logística, con vistas a la participación en el concurso.

Conviene resaltar, como otro de los resultados de la presencia de la UPM en el SIMA 2005, el interés mostrado por el Instituto Español de Comercio Exterior (ICEX) en la participación de la UPM en el evento *Future House Expo* (en Pekín), proyecto de demostración promovido por el Ministerio de la Construcción Chino a través del organismo *Future Housing Real Estate*, consistente en la exhibición de viviendas tecnológicas avanzadas de diversos países (entre ellos España) que hacen un uso extensivo de las energías renovables. Fruto del éxito obtenido, está prevista la participación del prototipo de vivienda desarrollado por la UPM en el mencionado evento, que se inaugurará a finales de 2006.

4. **Pruebas y ensayos** (marzo-septiembre 2005). Ensayos de montaje, equipamiento y puesta a punto de la vivienda. Esta fase finalizó en su mayor parte en julio de 2005, con el objeto de iniciar el transporte de la vivienda (*prototipo 2*) hasta Washington, lo que supuso una nueva dificultad añadida para el equipo de la UPM, quien dispuso de menos tiempo que el resto de competidores (1–2 meses) en el envío de la vivienda. No obstante, el *prototipo 1* permitió la extensión de algunas de las pruebas (relativas al sistema solar fotovoltaico) hasta el mismo mes de septiembre.
5. **Concurso *Solar Decathlon* y evaluación final** (julio- diciembre 2005). Incluye las actividades relacionadas con el viaje y estancia del equipo, y traslado de materiales hasta Washington, la participación en el concurso (construcción, demostración y desmontaje), así como las tareas de transporte de materiales de regreso a España, y puesta en marcha del prototipo *Magic Box* una vez finalizado el concurso.

Las Láminas 2 a 7 muestran diversas imágenes de la participación de la UPM en el concurso. En lo referente a la puesta en marcha de la vivienda en España una vez finalizado el concurso, se ha enviado el *prototipo 2* a China para la participación en el evento *Future House Expo* (en Pekín). En cambio, es el primer prototipo el que se ha trasladado a un nuevo emplazamiento para la realización de las actividades de investigación contempladas en el proyecto *Heliodomo: nuevo concepto de vivienda autosuficiente*. El traslado y construcción desde su emplazamiento inicial (ETSI Agrónomos) hasta el lugar definitivo (ETSI de Telecomunicación) se ha realizado entre los meses de diciembre de 2005 y julio de 2006.



FIGURA 2: Montaje de *Magic Box* en el concurso *Solar Decathlon* (del 29 de septiembre al 3 de octubre de 2005)



FIGURA 3: Ceremonia de apertura (6 de octubre de 2005)

## Resultados del concurso

La posición obtenida por la Universidad Politécnica de Madrid en el concurso SD ha sido la novena de un total de 18 participantes, según muestra el Cuadro 2, con los resultados oficiales de la competición. Merece la pena destacar las escasas diferencias de puntuación entre los equipos situados en las posiciones 7-9 (menos de 14 puntos de diferencia sobre un máximo de 1.100); de hecho, los resultados estuvieron muy reñidos hasta el último momento. Las puntuaciones obtenidas por la UPM en las distintas pruebas se muestran en el Cuadro 3.

La valoración que para el equipo de la UPM merecen los resultados obtenidos es positiva, si bien las condiciones en las que se desarrolló el concurso no fueron, lamentablemente, las ideales para una exhibición solar. En ningún momento, durante la semana de exhibición, exposición al público y desarrollo de las pruebas, salió el sol. Más bien abundaron la lluvia y el mal tiempo.

Todo esto que, evidentemente, afectó a todos los concursantes, perjudicó la brillantez del evento en general. No obstante, algunas de las propuestas fueron más perjudicadas que otras. Así, aquellas que realizaban grandes aportaciones de desarrollo, creación y aprovechamiento energético estuvieron más perjudicadas, al no poder demostrar sus innovaciones. Aquellas otras propuestas más convencionales, que no tenían nada que demostrar, no tuvieron tantos perjuicios. De igual modo, las propuestas de peor nivel tecnológico aprovecharon mejor las condiciones del mal tiempo, frente a las propuestas con innovaciones tecnológicas que integraban sistemas de alto aprovechamiento energético.

Nosotros optamos, como se ha comentado, por hacer funcionar la casa en casi todos los aspectos. Por tanto nuestro balance fue negativo, llegando a casi vaciar las baterías al final del concurso.



FIGURA 4: Aspecto del *National Mall* durante la exhibición (7–16 de octubre de 2005)



FIGURA 5: Interiores *Magic Box* durante el concurso (7–14 de octubre de 2005)



FIGURA 6: Exteriores: vista general

CUADRO 2: Solar Decathlon Scores and Standings

Team	Overall Points	Overall Standings
Colorado	853.716	1
Cornell	826.039	2
Cal Poly	809130	3
Virginia Tech	784.501	4
NYIT	745.614	5
Texas	721.235	6
Missouri Rolla	718.059	7
Maryland	708.592	8
Madrid	704.844	9
Pittsburgh	653.575	10
Puerto Rico	626.605	111
Crowder(MD)	625.423	12
Florida Intl	608.009	13
Canada	586.383	14
Washington State	575.215	15
RISD	571.492	16
Michigan	545.568	17
U Mass Dartmouth	326.755	18

The final results are in after two years of preparation and a week of competition, the University of Colorado won the 2005 Solar Decathlon. Below are the scores and standings.

CUADRO 3: Scores of UPM in Solar Decathlon

Contests	Milles/Currents Points	Currents Standing
Architecture	154.000	7
Dwelling	75.000	9
Documentation	89.040	2
Communication	69.650	15
Comfort Zone	55.845	11
Appliances	64.517	6
Hot Water	72.583	4
Lighting	87.912	3
Energy Balance	0,000	6
Getting Around	36.297	7

There are the final scores for the 2005 Solar Decathlon. The results were announced on Friday, Oct, 14, 2005, at 2 p.m.

En ese sentido, la propuesta de la UPM fue de las más castigadas por el mal tiempo —el transporte produjo daños importantes en algunas secciones de la casa que, no obstante, se lograron reparar—, a pesar de lo cual el equipo optó por hacer funcionar la casa en casi todos los aspectos (en detrimento del *Balance Energético*, pero con el objeto de mostrar las innovaciones incorporadas). El resultado es, creemos, ciertamente brillante, como muestran la segunda posición en la prueba de *Documentación* [Documentation]: los planos y especificaciones elaborados fueron los mejor valorados; la tercera en *Iluminación* [Lighting]; y la cuarta en la prueba de *Agua Caliente* [Hot Water]: el diseño del sistema fue el segundo mejor valorado por parte de los jurados.

## Descripción de las actividades logísticas

El concurso *Solar Decathlon 2005* ha planteado al equipo de la Universidad Politécnica de Madrid, como uno de los grandes retos a afrontar de todo el proyecto, el traslado de los materiales del prototipo *Magic Box* hasta Washington, ciudad en la que como se ha mencionado anteriormente, se celebró la fase final de demostración. Este hecho impuso desde los inicios del proyecto, como premisa básica, la necesidad de concebir la vivienda como desmontable en un número de elementos que permitiera su montaje en los días previstos por el concurso.

Por otra parte, siempre se tuvo la intención de que las piezas resultantes tuvieran la proporción y las medidas adecuadas para su transporte en contenedores estándar, del tipo de los empleados habitualmente en el transporte marítimo. Sin embargo, la experiencia ganada con la participación en el SIMA 2005 —en particular con el transporte, montaje y desmontaje— reveló la dificultad de realizar el montaje en el tiempo objetivo. Por ello, y aunque las piezas eran todas de tamaño adecuado para su transporte en contenedor, se decidió dejar premontados algunos de los sectores, concretamente el salón-caja desplazable, el cuarto de baño, la cubierta (dividida en tres grandes segmentos) y los cuatro muros principales.

La necesidad anterior, combinada con la compleja logística del traslado del prototipo desde Madrid a Estados Unidos, y una vez allí, hasta el *National Mall* de Washington (lugar perteneciente a la Red de Parques Nacionales), planteó enormes dificultades a la hora de encontrar una empresa con capacidad y recursos, tanto en España como en Estados Unidos, y conocimientos adecuados para abordar semejante reto.

Seguidamente se describen las actividades logísticas asociadas a la participación de la UPM en el concurso SD: transporte de los materiales a EEUU, tareas de montaje y desmontaje en el *National Mall*, traslado de materiales a Baltimore (importación a España) y viaje del equipo.

## Transporte de la vivienda hasta Baltimore (EEUU)

Todos los envíos se realizaron bajo la modalidad de «Exportación temporal para Exhibición», siendo la figura exportadora la Universidad Politécnica de Madrid y la importadora, la filial de la empresa patrocinadora principal del proyecto en EEUU. En total se realizaron seis envíos de material (comenzando por las piezas de mayor tamaño y peso, críticas para la planificación del proceso) que, una vez en EEUU,

fueron almacenados en Baltimore hasta su posterior traslado al *National Mall* de Washington. Se incluye a continuación una descripción de los distintos envíos, las tareas de logística en España y la recepción de los envíos en los EEUU. Conviene resaltar la enorme complejidad del proyecto en lo referente a la logística, según se desprende de las 352 referencias —cada una de ellas correspondiente a un material distinto— incluidas en los *Parking List*.

### **Envío 1. Marítimo: piezas especiales**

Se realizó el transporte de las tres secciones de las que consta la cubierta, así como de los módulos formados por el salón-caja desplegable y el cuarto de baño (total cinco piezas, con un volumen de 286,626 m<sup>3</sup>). Los materiales salieron de Madrid el 5 de agosto de 2005, y fueron embarcados en el puerto de Valencia, de donde salieron rumbo a Baltimore el 8 de agosto, llegando a su destino el 14 de septiembre.

### **Envío 2. Marítimo: contenedores**

Se realizó el transporte de la mayor parte de materiales y equipos del prototipo (incluyendo estructuras para exteriores), en un total de cinco contenedores de 40 pies (tres *High Cube* y dos *Open Top*, total 255 referencias). Los contenedores se llenaron en el almacén de Madrid, y fueron embarcados en el puerto de Valencia, de donde salieron rumbo a Baltimore el 30 de agosto, llegando a su destino el 12 de septiembre.

### **Envío 3. Aéreo: muros**

Se realizó el transporte de los cuatro muros, premontados —recubrimientos interiores y exteriores incluidos— y debidamente protegidos mediante estructuras diseñadas específicamente para tal fin. Debido a las dificultades para encontrar transporte marítimo que admitiera la carga y que asegurase la llegada dentro de los plazos requeridos, fue necesario realizar el transporte en avión. Los muros salieron de Madrid el 5 de septiembre, y llegaron a Baltimore el día 9.

### **Envío 4. Aéreo: herramientas y equipos (protección personal, medida), material de oficina**

Se realizó el envío de herramientas, equipos de protección personal, material de oficina y algunos equipos que estuvieron probándose hasta el mes de septiembre, pertenecientes a la instalación solar fotovoltaica. La mercancía salió el 19 de septiembre de Madrid.

### **Envío 5. Aéreo: vidrios y equipos repuestos**

Se realizó el envío de vidrios, así como algunos equipos que fueron robados del emplazamiento donde se encontraba el prototipo durante el mes de agosto, y que hubo que reponer convenientemente. La mercancía salió el 22 de septiembre de Madrid.

### **Envío 6. Aéreo: material de oficina y publicidad**

Se realizó el envío de material de oficina y publicidad sobre el proyecto para ser entregada durante el concurso. La mercancía salió el 27 de septiembre de Madrid.

## **Logística en España**

Los envíos anteriores requirieron de la preparación de los materiales y su traslado a los almacenes para su agrupación y en ocasiones *paletizado*.

Además de los materiales de embalaje empleados, habitualmente, hubo que fabricar otros a medida —caso del embalaje de los cuatro muros premontados—, así como materiales para el refuerzo especial de ciertas piezas, estructuras de exteriores y equipos.

## **Recepción de mercancías en EEUU**

Por otra parte, las mercancías se recibieron en los EEUU (trámites aduaneros) y se trasladaron a los almacenes contratados, situados en Baltimore.

## **Logística en Estados Unidos**

A continuación se resumen las actividades logísticas asociadas al montaje de la vivienda para el concurso, y su posterior desmontaje y traslado hasta el almacén de Baltimore, una vez finalizado éste.

## Montaje de la vivienda en Washington

En este apartado se contemplan actividades de transporte de materiales de construcción, alquiler de maquinaria y medios de apoyo, etc, necesarias para la construcción del prototipo *Magic Box* en Washington. Se trató de una de las tareas más complejas, para la que se requirió el uso de ocho transportes *oversize* (cuatro camiones y cuatro góndolas), nueve camiones abiertos, dos tráiler y ocho servicios de pequeño transporte (camionetas), además del alquiler de cuatro torres de iluminación, dos generadores eléctricos, maquinaria y medios de apoyo para la construcción (grúas, toros y andamios).

## Desmontaje y retorno al almacén

Una vez finalizado el concurso y los días posteriores de exhibición, se procedió al desmontaje de la vivienda y al traslado de los materiales al almacén de Baltimore, para su preparación con vistas a los envíos posteriores (a China en su mayor parte, así como el retorno a España de algunos materiales y equipos).

Para estos trabajos fue necesario el uso de seis transportes *oversize* (tres camiones y tres góndolas), cinco camiones abiertos, cuatro tráiler, dos servicios de transporte menor y un camión para transporte de vidrios, así como el alquiler de torres de iluminación, generadores eléctricos, maquinaria y medios de apoyo para el desmontaje.

## Retorno a España de materiales y equipos

Diversos materiales retornaron a España tras el concurso: material de oficina, herramientas, equipos de protección personal, y equipos de medida. Estos materiales viajaron por transporte marítimo en un contenedor de 40 pies.

## Viaje y estancia del equipo UPM

El equipo de la Universidad Politécnica de Madrid que viajó a Washington ha estado compuesto por 44 personas: 7 profesores, 33 alumnos y 4 personas de apoyo en tareas diversas (comunicación, formación técnica y lingüística).

El equipo viajó a Washington en dos fechas distintas:

- Un primer grupo de siete personas viajó a Washington el 24 de septiembre de 2005, con el objeto de realizar tareas de recepción e inspección de los materiales recibidos en EEUU.
- Un segundo grupo (la mayoría, 36 personas) viajó el 27 de septiembre, en fechas ya próximas a las del inicio de la construcción.

El regreso a España se produjo, entre los días 21 y 26 de octubre (algunos estudiantes aprovecharon para quedarse unos días en EEUU, una vez finalizados los trabajos de desmontaje).

## Conclusiones

La Universidad Politécnica de Madrid ha sido la primera representante europea en participar en el concurso internacional *Solar Decathlon*. La propuesta de la UPM, con un claro enfoque multidisciplinar e integrador, ha pretendido que el proyecto *Solar Decathlon UPM 2005* trascienda los aspectos meramente derivados de las pruebas a superar en el concurso, y constituya una experiencia lo más enriquecedora posible para nuestros alumnos, el conjunto de la universidad y la sociedad en general.

Así, a lo largo de más de dos años de trabajo, las más de 50 personas que de un modo u otro han participado en el proyecto (profesores, alumnos y personal de apoyo) y han contribuido a que esta experiencia, pionera en nuestra universidad, haya tenido importantes repercusiones en distintos ámbitos:

- Cursos, congresos y jornadas técnicas: 18 ponencias presentadas por el equipo coordinador, así como la presencia del prototipo *Magic Box* en el *Salón Inmobiliario de Madrid*.
- Prensa escrita: 64 artículos (entre otros, en diarios de difusión nacional como *El País*, *El Mundo*, *La Razón*, *ABC*, etc).
- Prensa electrónica e internet: 84 artículos.

- Radio y televisión: 18 apariciones (entre otros, en medios de alcance nacional como Radio y Televisión Española, Antena 3, Tele 5, Cadena Ser, Radio Intereconomía, Radio Intercontinental, Onda cero, etc).
- Premios nacionales e internacionales: Salvá i Campillo, Holcim y Eurosolar.

Además de los resultados anteriores, un efecto inmediato del proyecto *Solar Decathlon UPM 2005* ha sido la creación de una línea de colaboración multidisciplinar en la UPM en torno a la arquitectura sostenible, las energías renovables (solar térmica y fotovoltaica) y la domótica, que ya ha dado sus primeros resultados, a través de las siguientes iniciativas:

- El proyecto de investigación *Heliodomo: nuevo concepto de vivienda autosuficiente*, del *Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (2004–2007)* del Ministerio de Educación y Ciencia, cuyos trabajos se extenderán hasta finales de 2007.
- La participación de la UPM en la exhibición *Future House Expo* de Pekín, promovida por el Instituto Español de Comercio Exterior, en la que se exhibirá el prototipo *Magic Box* por un periodo mínimo de dos años.

Otro efecto del proyecto, no tan inmediato y por tanto de difícil valoración en estos momentos, es la demostración ante las administraciones e instituciones públicas (Ministerios de Educación y Medio Ambiente, Ayuntamiento de Madrid y Empresa Municipal de la Vivienda, Instituto Español de Comercio Exterior e Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía entre otros) del potencial de la UPM para afrontar retos complejos pero de gran actualidad como son la edificación sostenible y el uso de las nuevas tecnologías.

## Agradecimientos

El equipo de coordinación de la participación de la Universidad Politécnica de Madrid en el concurso *Solar Decathlon* desea manifestar su más sincero agradecimiento a instituciones y empresas que han patrocinado esta experiencia, así como a los integrantes del Comité de Honor formado por las siguientes personalidades:

- Presidente: Su Alteza Real D. Felipe de Borbón.
- La Ministra de Medio Ambiente, D<sup>a</sup>. Cristina Narbona.
- La Ministra de la Vivienda, D<sup>a</sup>. María Antonia Trujillo.
- El Ministro de Industria, D. José Montilla.
- La Presidenta de la Comunidad de Madrid, D<sup>a</sup>. Esperanza Aguirre.
- El Alcalde de Madrid, D. Alberto Ruiz Gallardón.

En total, han sido 69 empresas y 8 instituciones públicas las que han dado su apoyo a esta iniciativa, bien mediante aportaciones económicas directas, bien mediante la donación de materiales, equipos y servicios. En este sentido, cabe destacar el acto de firma del Libro de Honor, celebrado en el Paraninfo de la UPM en abril de 2005, en el que se reunió a un gran número de empresas e instituciones patrocinadoras.

En lo que respecta a los patrocinios privados más importantes, tres han sido las categorías definidas, en función de la aportación recibida:

- Patrocinador Oro y Principal: Isofotón.
- Patrocinador Plata: Intemper Española.
- Patrocinadores Bronce: Altran SdB, Banco de Santander Central Hispano, Cerámicas Gala, Cortefiel, Saint-Gobain, y Steel Built.

El resto de instituciones y empresas patrocinadoras son las siguientes: Acceda, Alcalágres, Aldis Trading, Ayuso, BJC, Belimo, BSH, Colectividades Ramiro, Cosentino, Dorma, El Corte Inglés, Enersys, Enterasys, EOI, Erco, Espa, Kotas, Fundación Rafael Escolá, Formica, Gamma Solutions, Geónica, Grupo Planner, IAU+S, Idom, Ingeniería sin Fronteras, Integral, Isoflex, J. Abad Codelco, La Ermita de

Pozuelo, MAYAB, Método Nuzzi, Moniflex, Motorota, Montura, Nueva Terrain, Optimizer Systems, Outokumpu Cooper Tubes, Peisa, Phillips, Pirelli Cables y Sistemas, Polynum, Radiotrans, Radisa, Renovador, Schneider, Siemens, Sika, Sistemas Midi, SMA Technologie, Tafibra, Tafisa, Technoplast, TED, Terreal, Thema, Trox, TVLink Europe, Up Running, US Airways, Velux y Viessmann.

La UPM desea agradecer de un modo especial la colaboración del Ministerio de Educación y Ciencia en la financiación de las actividades de transporte de la vivienda y equipo de personas, que ha hecho posible la participación de la UPM en el concurso *Solar Decathlon*.

## Lista de participantes

### Autores

- Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM): César Bedoya Frutos, coordinador SD 05. Javier Neila González, coordinador SD 05.

### Coautores

- Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid: Alfonso García Santos, coordinador SD 05.
- Instituto de Energía Solar (IES). ETSI de Telecomunicación (ETSIT): Estefanía Caamaño Martín, coordinadora Responsable SD 05. Miguel Ángel Egido Aguilera, coordinador SD 05.
- Centro de Domótica Integral (CEDINT): Francisco Javier Jiménez Leube, coordinador SD 05 Luis Magdalena Layos, coordinador SD 05.

### Resto del equipo Solar Decathlon 05

- Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM): Iván Alcantarilla Garza, Mónica Almagro Corpas, Carlos Bermejo Benito, Daniel Cardoso Montejoleta, Luis Climent Rosillo, Carlos García Trejo, José Miguel Gómez Osuna, Carolina Hernández Martínez, Joaquín Hidalgo Sánchez, Helder J. Martins Borreguero, Sofía Melero Tur, Alicia Oliver Ramírez, Rafael Palomares Bralo, Mercedes Peña Fernández, José Luis Pérez-Griffo Viqueiras, Cristina Polo López, Leticia Rojo Bermúdez, Gonzalo Used Plaza, María J. Uzquiano Barbas.
- Instituto de Energía Solar (IES). ETSI de Telecomunicación (ETSIT): Marcos Calvo Fernández, Jorge Díaz Bes, Daniel Masa Bote, Michael Moleros Cuestas, Santiago Novo de Miguel, Ricardo Orduz Marzal, José Enrique Vega Vera.
- Centro de Domótica Integral (CEDINT): Laura Díaz Casillas, Susana Fernández Martínez, Álvaro Gutiérrez Martín, Daniel Martín Gómez, Nuria Pérez Magariños, Cecilia Torralbo Gimeno.
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación (ETSIT): Jorge Mínguez Cortés, Vaishaly-Narain Mirchandani Daryanani, Gloria Morales Orozco.
- Formación: Flavio Betancourt, Técnico construcción; Carolina Leal Corredor; Abraham Ruiz Ortuño, Técnico solar; Victoria Tsvetkova, Inglés.