

# XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos

Badajoz 8, 9 y 10 de julio de 2009



## “EL SOL DE BURKINA FASO” – UN COMPLEJO EDUCATIVO INTEGRAL SOSTENIBLE

*Daniel García-Almiñana\**, *Jordi García Almiñana\*\**, *Jordi Macià\*\*\**, *Adrià Belmonte\*\*\**

\* Departament de Projectes d'Enginyeria  
Universitat Politècnica de Catalunya

\*\* Facultat d'Informàtica de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya

\*\*\* Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de  
Terrassa

**ÁMBITO TEMÁTICO** : DESARROLLO RURAL, PROYECTOS DE COOPERACIÓN AL DESARROLLO SOSTENIBLE

**PALABRAS CLAVE** : PROYECTOS DE COOPERACION, ARQUITECTURA BIOCLIMATICA, ILUMINACION NATURAL, ENERGIAS RENOVABLES

### RESUMEN:

En la presente comunicación se presenta el diseño del complejo educativo “La Luz de Burkina Faso” que se ha desarrollado en base a tres Proyectos Finales de Carrera de estudiantes de Ingeniería Industrial de la Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa (Universitat Politècnica de Catalunya).

Será un complejo integral y modular en el que se desarrollarán actividades formativas y alimentarias para 50 alumnos, ampliables a 200, y en cuyo diseño se han considerado todos los aspectos que configuran un desarrollo humano sostenible : empleo de materiales locales, arquitectura bioclimática, iluminación natural, empleo de energías renovables, cocina solar apoyada por biomasa, ciclo integral del agua y cultivos autóctonos, además de aplicar metodologías de formación abierta para los alumnos.

El concepto global de “La luz de Burkina” es el de un centro abierto, en el que se ofrecerá una alimentación equilibrada en el marco de actividades formativas (educación primaria) y sociales (actividades en el barrio). El complejo, dispuesto modularmente para una fácil adaptación hacia otras localidades, es asimismo una muestra de desarrollo sostenible ya que su construcción y operación es igualmente una actividad formativa pensada para romper el círculo vicioso que supone la subvención y dependencia del exterior, para conseguir la generación de conocimiento, empleo y recursos de forma local, lo que redundará como un elemento de fijación sobre el territorio.

## **"THE SUN OF BURKINA FASO" – A SUSTAINABLE INTEGRAL EDUCATIONAL COMPLEX**

**KEYWORDS** : COOPERATION PROJECTS, BIOCLIMATIC ARCHITECTURE, NATURAL LIGHTING, RENEWABLE ENERGY

### **ABSTRACT:**

This paper shows the design of the educational complex "The Light of Burkina Faso" that has been developed on the basis of three Final Degree Projects conducted at the Technical University of Catalonia.

It will be an integral-modular complex in which nutritional and formative activities for 50 students, expandable to 200, will be developed. In its design all human sustainable development aspects have been considered such as: local materials usage, bioclimatic architecture, natural lighting, renewable energies, solar-biomass kitchen, integral cycle of water and native cultivations as far as open formation for the students.

The global concept for "The Sun of Light" is that of an open center, in which a stable diet in the framework of formative (primary education) and social activities (in the neighborhood) will be offered. The complex, modularly arranged for an easy adaptation toward other places, is an example of sustainable development since its construction and operation is itself a formative activity designed to break the vicious circle that supposes subsidy and dependence from abroad, in order to generate knowledge, employment and resources in a local form, what additionally acts as a fixing element to the country.

## 1. Introducción

El desarrollo de Proyectos Finales de Carrera en el marco de Proyectos de Cooperación es una actividad creciente en nuestra Universidad y es el reflejo del cada vez mayor compromiso social de buena parte del estudiantado y profesorado de la misma.

Históricamente, una parte significativa de los proyectos de desarrollo rural han venido, en buena medida, promovidos por acciones puntuales de donación-subvención que han generado un cierto impacto sobre el territorio pero que, también en buena parte, han requerido y requieren de una aportación constante y continua de fondos desde los países del Norte para su mantenimiento y consolidación.

La consecuencia de dicho enfoque ha sido que, en escenarios de crisis y retracción de la economía, aquellos proyectos se han visto frenados, suspendidos o incluso han desaparecido como resultado de una aproximación global no totalmente sostenible.

En esta comunicación se presentan los resultados de tres proyectos finales de carrera, integrados en un proyecto global de mayor envergadura, en los que el diseño sostenible y la implicación local han sido tomados en cuenta desde el primer instante con el fin de proyectar un complejo educativo modular e integral, que pueda sostenerse en el tiempo y que sirva de punto de partida para otros proyectos de desarrollo rural sostenible en la zona.

## 2. Antecedentes

Burkina Faso es uno de los países más pobres del mundo. Antiguamente llamado República del Alto Volta, Burkina Faso (también llamado Burkina) es un país de África Occidental, sin acceso al mar, y que limita con Benín, Costa de Marfil, Ghana, Mali, Níger y Togo.

Su economía se basa en la agricultura y la ganadería, aunque la escasez de recursos, unida al alto índice de crecimiento poblacional determina su elevado índice de pobreza. Según el índice de desarrollo humano (HDI), publicado en 2005 por las Naciones Unidas [1], Burkina ocupa el tercer lugar empezando por la cola, lo que lo convierte en un caso especialmente delicado.

Sin embargo, su situación política es relativamente estable. Diferentes reformas políticas iniciadas por el anterior presidente, Thomas Sankara, han dado resultados esperanzadores y sitúan a Burkina como un país con posibilidades para el desarrollo.

Las Naciones Unidas definieron, en el año 2000, los Objetivos de Desarrollo del Milenio [2], entre los cuales la educación básica ocupa un lugar destacado. En la actualidad, la tasa de alfabetización en Burkina sigue siendo la más baja del mundo, a pesar de haber pasado del 12.8% en el año 1990 al 25.3% en el año 2008.

Es por este motivo que, en el año 2004, la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) inició un proyecto de cooperación con la *Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso* (UPB) a nivel de estudios de ingeniería en informática. Este proyecto sigue vigente en la actualidad, pero a raíz de esta colaboración inicial se han desarrollado nuevas líneas de trabajo, entre las cuales cabe destacar la planificación de un complejo educativo integral sostenible, llamado El sol de Burkina Faso.

Se trata de un centro abierto, situado en la ciudad de Bobo-Dioulasso, orientado a los niños de la calle sin recursos que les proporcionará educación básica, alimentación y formación profesional. La principal característica de este centro es la sostenibilidad. La gestión del centro será autosuficiente, ya que se basa en la implicación activa y el fomento del voluntariado de diferentes estamentos de la comunidad: la administración,

las empresas locales, los vecinos y los estudiantes universitarios de la UPB. Se realizarán también actividades de fomento del compromiso social y se proporcionará una formación profesional que permita una integración verdadera con el tejido social del país. De la misma forma, el diseño arquitectónico del complejo será proyectado siguiendo criterios bioclimáticos sostenibles.

### 3. El Proyecto – Construcción bioclimática

#### 3.1 Introducción

Los proyectos final de carrera desarrollados consisten en un estudio de aplicación de criterios bioclimáticos y energías renovables para el diseño de una escuela rural en Burkina Faso.

Este estudio se divide en dos partes bien diferenciadas: en una de ellas se estudian soluciones arquitectónicas orientadas a conseguir el confort de los usuarios del edificio mediante la gestión de los recursos climáticos naturales de la zona (arquitectura conocida como bioclimática). En la segunda parte del estudio se hace una evaluación de los recursos energéticos que debe disponer el edificio para una correcta actividad docente y se dimensiona una instalación solar fotovoltaica capaz de suplir la demanda global del edificio, así como un diseño de iluminación natural, recuperación de aguas pluviales...

Las especificaciones de diseño para la escuela se presentan en la *tabla 1*.

Concepto	Especificación
<b>Ocupación</b>	50 alumnos inicialmente, ampliable a 200
<b>Espacios necesarios</b>	5 aulas docentes, 1 aula de informática, 3 talleres de formación profesional, 1 sala de actos, lavabos, despacho de profesores, zona de recreo, sala de mantenimiento, cocina, comedor, alojamiento para cuidadores
<b>Horario</b>	Se prevé un uso de la escuela desde las 9 de la mañana hasta las 17 horas
<b>Suministro de electricidad</b>	Debe ser un sistema autónomo de generación de energía eléctrica renovable

Tabla 1: Especificaciones del edificio

#### 3.2 Ubicación

La escuela se proyecta en la ciudad de Bobo Dioulassou, dentro de la región de Hauts-Bassins. Esta localidad está en el sur-oeste del país, y es la segunda ciudad más grande del país, tras la capital Ouagadougou. La ciudad tiene unas coordenadas geográficas de 11°11' norte y 4° oeste. Su latitud tropical y el hecho de que Burkina Faso sea un país subsahariano hacen que el clima de todo el país sea extremo. En el norte del país, más cercano al desierto, el clima es seco y desértico la mayor parte del año, con frecuentes tormentas de arena y en continuo proceso de desertización. Bobo Dioulassou, que se encuentra algo más alejado del desierto, tiene un clima igualmente cálido y desértico durante parte del año. Sin embargo, las fuertes lluvias veraniegas cambian el paisaje totalmente, y aún manteniéndose las altas temperaturas, el paisaje cambia su color de marrón desértico a verde. Esta vegetación sin embargo no soporta la sequía de los meses siguientes, por lo que no hay abundancia de bosques, volviendo en invierno al paisaje desértico.

Así pues, el clima viene marcado en parte por su ubicación geográfica tropical, que hacen que el sol esté todo el año en una posición muy vertical y hagan de la radiación solar la principal fuente de calor, y por otra parte debido a su proximidad al desierto, de altas temperaturas en las que se hace difícil resguardarse de la radiación solar.

### 3.3 Construcción bioclimática

Por lo visto anteriormente, el clima de Bobo-Dioulassou se caracteriza por una sensación de los habitantes de la zona de exceso de calor, por lo que las estrategias arquitectónicas pasan por conseguir el confort térmico aislando a los usuarios del edificio de la radiación solar y proporcionándoles aire fresco. A continuación se describen las soluciones propuestas para estos fines.

#### Orientación de los edificios

Con el fin de minimizar la radiación incidente sobre los edificios, estos deben construirse de forma que las fachadas que más radiación reciban sean las menores. La radiación en las fachadas sur y norte son variables, y a medida que aumenta una disminuye la otra. Esto es debido a que en verano la declinación de la tierra hace que el sol, en lugar de verse hacia el sur, se ve hacia el norte, por lo que durante esta temporada disminuye la radiación incidente en la fachada sur y aumenta la incidente en la fachada norte. Aún así, debe considerarse que en media anual, las fachadas que más radiación reciben son las fachadas este y oeste. Considerando además que esta radiación sucede durante medio día, la mayor intensidad de radiación se da en estas fachadas. Así, el edificio debe tener orientación sur, con las fachadas sur y norte alargadas y las este y oeste reducidas al mínimo.

#### Separación de edificios

Con el objetivo de mantener la edificación más compacta, se separan los principales espacios en cinco edificios distintos, agrupando los espacios según los usos que tengan, que se describen en la *tabla 2*.

Edificio	Espacios)
Bloque 1	Aulas, sala de profesores, lavabos
Bloque 2	Comedor, cocina, lavabos
Bloque 3	Taller de artesanía, de mecánica y de carpintería, lavabos
Bloque 4	Sala de actos, lavabos
Bloque 5	Hogar para cuidadores

Tabla 2. Edificios que componen la escuela

Compactando los edificios se consigue reducir los espacios por los que entra el calor del exterior y, de cara a una refrigeración nocturna, se favorece la ventilación del interior del edificio.

#### Distribución de los espacios interiores

Para maximizar el confort de los usuarios del edificio, los espacios están ubicados dentro de los edificios según sea su uso y las condiciones climáticas. Así por ejemplo, en la fachada sur, que es la más calurosa por la intensidad de radiación que percibe, se ubican lavabos y otras zonas de uso intermitente. Las aulas y aquellos espacios que son más usados y por lo tanto deben ser más frescos, se ubican en la fachada norte y este, para aprovechar la iluminación natural que proporcionan las primeras horas de sol. Asimismo, la cocina se encuentra en la fachada sur, para la aplicación de un reflector solar parabólico (cocina solar).

#### Cerramientos

Otra estrategia para aislar térmicamente el edificio de las altas temperaturas exteriores consiste en tener una gran masa térmica de cerramiento. Esto se consigue con

materiales constructivos como el adobe. Este material, de fácil construcción, es abundante y proporciona unas características como cerramiento que lo hacen idóneo para estos usos. Los cerramientos de la escuela deben consistir en un muro de adobe de 30 centímetros de espesor. Este espesor amortigua la diferencia las temperaturas exteriores y atrasa el aumento de temperaturas en la cara interior del muro. Adicionalmente, para proteger la cara exterior del muro de adobe de las fuertes lluvias en verano, se recubre esta cara con una capa de mortero de adobe mezclado con cal apagada en pasta, que actúa como capa impermeable y retrasa las tareas de mantenimiento de los muros.

### **Color de los cerramientos**

Para proteger el edificio de la alta irradiación solar, una de las estrategias a seguir es considerar el color exterior de los cerramientos. En este caso, se han estudiado los efectos del color natural del adobe frente a otras alternativas que pasan por pintar los muros, y se ha llegado a la conclusión que manteniendo los muros del color del adobe hay una reflexión suficiente de los rayos solares, es decir, que aún pintando los muros de blanco, no se aprecia una diferencia significativa de temperaturas en el interior del muro. La cubierta, sin embargo, sí debe estar pintada de blanco, puesto que el espesor de ésta es menor para minimizar los esfuerzos que deben soportar las estructuras de los edificios, y para compensar el efecto de la disminución de grosor la alternativa es pintarla de blanco, con lo que se consigue un aislamiento similar.

### **Pórticos**

Todos los edificios incorporarán pórticos en sus fachadas norte y sur, que estarán dimensionados para proteger estas fachadas de la radiación solar directa todos los días del año.

La inclusión de los pórticos permite la ubicación de ventanas en las zonas que quedan resguardadas por la sombra del mismo. Estas ventanas permiten la iluminación natural de los espacios interiores a partir de luz difusa, por lo que se reduce el flujo de calor hacia el interior del edificio a través de las ventanas.

Los pórticos incorporan unas aperturas que permiten la ventilación natural del aire encerrado entre el éste y la fachada, que se va calentado debido a la convección con el propio pórtico. Este detalle se muestra en la *imagen 1*.

Así, los pórticos cumplen una doble función, por una parte aíslan los muros de la radiación directa, permitiendo la ubicación de ventanas, y por otra disipa el aire caliente cercano a los muros.

### **Aperturas para la convección natural del aire**

Aprovechando la bajada de temperaturas que se produce en la zona durante la noche, se ha pensado un sistema pasivo para favorecer la refrigeración nocturna de los edificios. Los cerramientos exteriores incorporaran unas ranuras en su parte inferior y superior. Así, abriendo estas ranuras durante la noche, y debido a la diferencia de densidades del aire frío y caliente, se va a producir una renovación natural del aire en el interior del edificio, absorbiendo el aire fresco durante la noche y expulsando el aire caliente del interior. La *imagen 2* muestra el efecto buscado.

Esta solución, sumada a las comentadas anteriormente, permitirá tener un ambiente fresco dentro del edificio durante el día.

## Ventanas

Las ventanas instaladas en el edificio serán de doble vidrio, con capa de aire entre los mismos. De esta forma se limita la entrada de calor al edificio por convección del aire exterior, permitiendo sin embargo el paso de la luz a través de ventanas, lo que ahorra energía en concepto de luminarias.

Además, las ventanas estarán equipadas con persianas, que cumplirán dos funciones básicas. Por una parte, permitirán al usuario del edificio regular la cantidad de luz que quiere dejar pasar al interior del edificio, y por otra, gracias a la orientación de sus lamas y su color reflectante, difundirá la luz incidente hacia el techo, proporcionando una iluminación más repartida y homogénea.

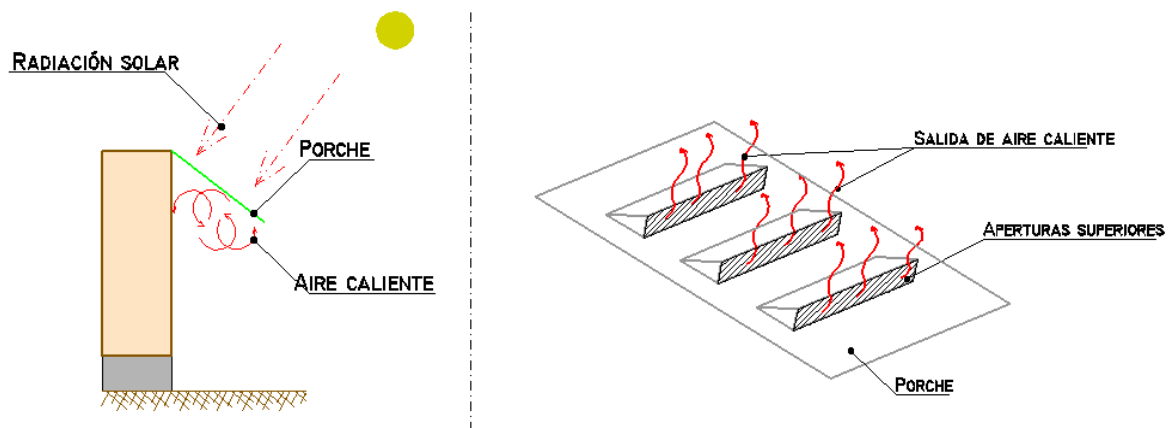


Imagen 1. Detalle de las aperturas de los porches

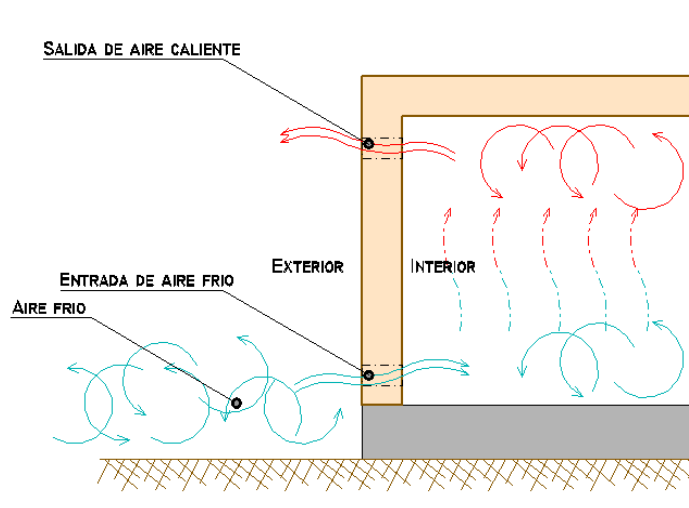


Imagen 2. Renovación natural del aire caliente durante la noche

## Cerramiento automático de puertas

Con el fin de aislar mejor el edificio del aire caliente del exterior, y para evitar al máximo las pérdidas de aire fresco del interior, las puertas que comuniquen interior con exterior irán equipadas con un juego mecánico de muelles que cerrarán las puertas automáticamente tras usarse. De esta forma, se impide que un usuario deje involuntariamente la puerta abierta, teniendo que forzarse ésta para mantenerse abierta.

## Recogida de las aguas pluviales

Teniendo en cuenta que durante la mayor parte del año el contexto global de la zona es de sequía, se ha creído conveniente aprovechar la temporada estival de fuertes lluvias para almacenar las aguas pluviales.

Para ello, la cubierta de los edificios tendrá una pendiente de 1,5% hacia sus laterales, lo que conducirá el agua de la lluvia a través de los laterales. Estos conductos transportarán el agua hacia unos depósitos dispuestos en las cercanías de los edificios, que tendrán la capacidad de filtrar el agua antes de ser almacenada, con el fin de eliminar impurezas de tamaño medio.

El sistema está dimensionado con el fin de que durante los meses de verano puedan llenarse totalmente los depósitos, y durante los meses de sequía se pueda aprovechar el agua almacenada para usos no potables, como limpieza, agua para retretes o riego.

## 3.4 Estudio energético

### Evaluación y optimización de la demanda energética

Antes de determinar a partir de qué fuente energética, de qué potencia y de qué características se suministrará la energía, se determinará a qué demanda tiene que adecuarse.

Esta demanda será estimada a partir de una propuesta inicial de perfil de consumo y de un proceso de optimización posterior, hasta obtener un perfil lo más regular y minimizado posible.

#### a) Obtención del perfil de demanda

Para empezar se estimarán todas las necesidades energéticas de cada pieza de la edificación de cada uno de los bloques: aulas, comedor, talleres, sala de actos y vivienda, en función de su uso y dimensiones. Esto incluye:

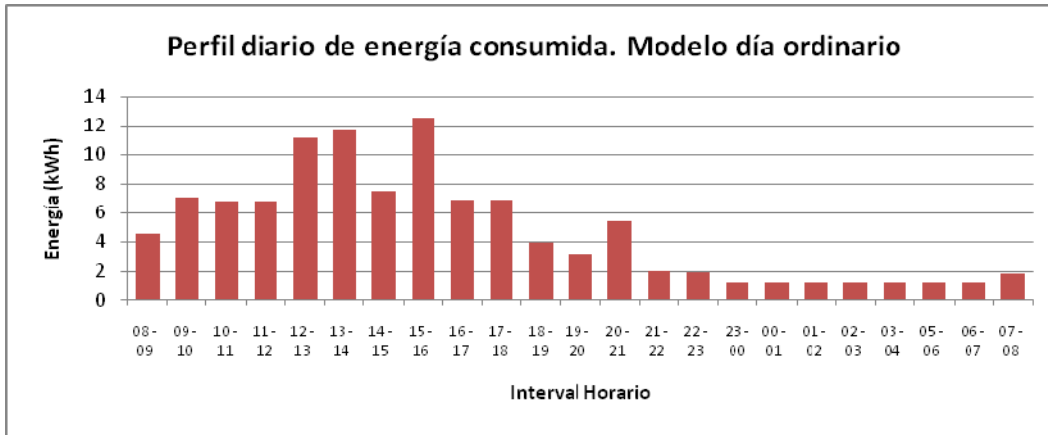
- Potencia lumínica de la pieza. Determinada por el nivel de iluminancia que requiera la actividad que se lleve a cabo.
- Cargas específicas de la pieza, por ejemplo la maquinaria del taller, los ordenadores del aula informática o el frigorífico de la cocina.
- Aparatos de consumo domésticos, esto equivale a instalar 2 enchufes extra, con una potencia total de 500 W en cada pieza, para poder enchufar todo tipo de electrodoméstico, como son aparatos de CD, proyectores o un ventilador.
- Horario normal de uso. Se determinará el horario de uso de las cargas a lo largo del día.

Habiendo establecido el consumo energético de cada una de las piezas en un día, se crean distintos modelos de día de funcionamiento de la escuela, entendiendo que todas las piezas no funcionarán según su horario simultáneamente. Así pues se crean 5 modelos de día diferentes, para acoger las distintas actividades: día ordinario de clase, día de sesión en los talleres, día con uso de la sala de actos, día de uso nocturno de la instalación, día de vacaciones.

Con los modelos obtenidos, se calcula el consumo a partir de las **matrices de uso** y las **matrices de uso simultáneo de potencia**, que se obtienen de cruzar las cargas de cada pieza con las horas del día, y escribir en su intersección el **factor de uso horario**, que es la fracción de la hora durante la cual se usa la carga, o a qué fracción de la potencia es usada.

A continuación se presenta el perfil de consumo de un día ordinario.





Combinando los modelos de día, se crean 2 modelos de mes: mes del curso y mes de vacaciones. A partir de 10 meses de curso y 2 meses de vacaciones se obtiene el perfil de consumo energético del año.

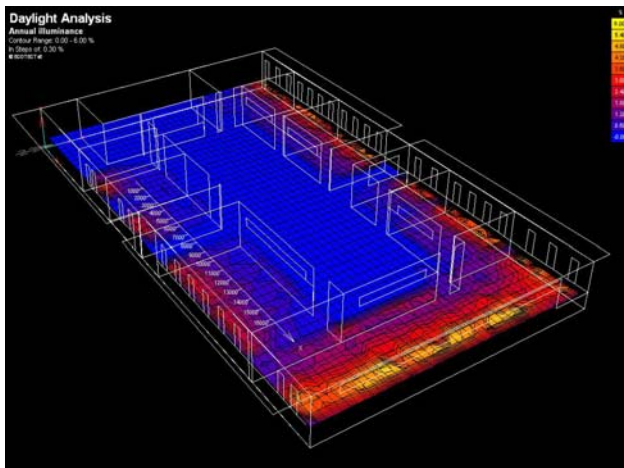
El resultado obtenido fue de **13,8 kWh/m<sup>2</sup>-año** por una potencia instalada de **9,7 W/m<sup>2</sup>**. A pesar de ser una cifra aceptable, en comparación con las escuelas de la UPC, según las que por la misma potencia instalada, les correspondería un consumo de 18,3 kWh/m<sup>2</sup>-año. El perfil obtenido tiene picos de consumo pronunciados (sobre todo al mediodía) y tratándose de una instalación de cooperación en la que los sobredimensionados incorpora un coste a menudo difícil de aceptar, el perfil es sometido a un proceso de iteración y optimización para reducirlo y uniformizarlo.

Y este es el resultado final:

<b>Total año</b>	<b>24.560 kWh/any</b>
<b>Superficie total ocupada</b>	2474 m <sup>2</sup>
<b>Relación consumo por superficie y año</b>	<b>9,9 kWh/m<sup>2</sup>-any</b>
<b>Relación potencia instalada por superficie</b>	<b>8,0 W/m<sup>2</sup></b>

#### b) Optimizado lumínico

Parte del proceso de optimización mencionado en el apartado anterior, se basa en el ahorro de consumo lumínico, basado en aprovechar la luz del día difusa entrante por las ventanas. El dimensionado convencional de iluminación en edificios no tiene en cuenta la luz del sol, dicho de otro modo, es un dimensionado nocturno. En ésta escuela, el dimensionado seguirá siendo nocturno, pero se calculará cual debe ser su uso, para que el aporte de energía para iluminar, sea el justo para alumbrar las zonas oscuras donde no llegue la luz de las ventanas.



Para saber cuáles serán las zonas oscuras, se ha obtenido un mapa del nivel de iluminancia de todas las plantas de la instalación. Este mapa ha sido obtenido a partir de un programa que usa algoritmos de trazado de rayos, llamado Daysim 2.1 desarrollado por el National Research Council Canada y el Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems de Alemania, el cual a partir de un modelo en 3D de la escuela y

el modelo de radiación del país, simula la entrada del sol al interior del edificio.

La figura anterior corresponde al mapa de factor de luz del bloque de aulas.

Las zonas coloreadas en color falso a partir de violeta ( $\leq 2\%$  daylight factor) son consideradas como oscuras y deberán ser iluminadas eléctricamente.

Para hacer efectiva esta medida de uso, en cada pieza se asociarán las lámparas a dos interruptores de encendido: el primero será la encendida diurna, que encenderá solo las lámparas consideradas necesarias sin renunciar al nivel de iluminancia deseado (500 lux en las aulas) pero aprovechando la iluminación difusa entrante por las ventanas, y el segundo encenderá toda la pieza, para usos de iluminación especial o nocturna. Aplicando esa medida, los resultados obtenidos son los siguientes:

Consumo en iluminación sin medidas de aprovechamiento natural : 46.6 kWh/d

Consumo en iluminación considerando aprovechamiento natural : 28,5 kWh/d

Ahorro total : 39%

c) Medidas de concienciación y uso.

Hay que ser consciente que el perfil de consumo calculado se sostiene sobre un determinado régimen de funcionamiento - si bien el cálculo ha sido holgado a partir de una potencia extra disponible en cada pieza - muy acotado sobre qué cargas pueden funcionar y en qué momento pueden hacerlo.

Este uso podría ser fácilmente alterado si no se aplicará una doctrina de funcionamiento adecuada. Si a ello se le añade que seguramente la energía será suministrada por una instalación autónoma de energía renovable, las alteraciones en el uso pueden tener consecuencias graves de desabastecimiento.

Para asegurar ese buen funcionamiento es necesario hacer una campaña de concienciación de los usuarios que, a parte de la explicación del fundamento, se apoye de medidas activas y pasivas. Se han propuesto algunas acciones concretas como el uso de recordatorios gráficos, etiquetar los enchufes y limitar el número de éstos, usar interruptores conmutados entre piezas o temporizados, pero habrá que conocer el modo de funcionamiento real de la escuela para escoger las más efectivas y necesarias.

En el caso del ahorro de energía lumínica, uno de los pilares del ahorro de energía de la escuela, se propone etiquetar los interruptores de las dos encendidas con un sol y una luna.



### **Cobertura energética**

a) Elección de la fuente energética

Entre las fuentes de suministro más habituales en el entorno del proyecto y en el marco de la cooperación, existen 3 opciones:

- Conexión a la red local. Esta posibilidad es la más económica a corto plazo ya que no requiere instalación propia, pero el precio del kWh del país es elevado relativo al coste en Cataluña. Tampoco es la opción más sostenible, ya que toda la energía del país proviene en un 80% de centrales térmicas diesel y el

resto de hidráulica. Además esta solución no puede garantizar un funcionamiento regular de las actividades de la escuela ya que la red sufre constantes interrupciones y fluctuaciones que podrían afectar a algunos de los equipos de la escuela, como son los ordenadores.

- Instalación de un grupo electrógeno. Esta opción implica depender del precio del combustible, el cual tampoco es económico en relación al coste de la energía de la red. Además no cumple con los objetivos educativos y de sostenibilidad del proyecto.
- Instalación de paneles fotovoltaicos. Esta opción es la más plausible, ya que cumple con los requisitos educativos y medioambientales. Puede conectarse a la red para cargar las baterías en el caso que haya fallo en la entrega de la energía demandada, pero la carga no tiene porque ser simultánea al consumo. Esto supondría un suministro continuado y regular. Por lo que respecta al aspecto económico, significa una fuerte inversión inicial, pero sin cuotas posteriores, solamente de reparación. No obstante su amortización no compite con el consumo de la red por un incremento de 0,0275 € el kWh, una diferencia de 16.000€ al cabo de 25 años.

Finalmente se escoge evaluar la alternativa fotovoltaica ya que es la que mejor cumple con las especificaciones. En el proyecto habrá que evaluar la importancia de la diferencia económica con la red local. También se pueden pedir subvenciones a entidades gubernamentales universidades u ONG.

#### b) Dimensionado del sistema fotovoltaico

El dimensionado del sistema fotovoltaico se ha realizado a partir del método de simulación denominado Probabilidad de Pérdida de Carga (Loss of Load Probability, LOLP) que contrasta un perfil de irradiación solar del lugar con un perfil de demanda de energía y calcula un parámetro que da nombre al método e indica el porcentaje de energía que no será suministrada, dado que suministrar a PPC = 0% resulta muy caro. El dimensionado final ha resultado a PPC = 4,4% y la instalación consta de los siguientes componentes:

Componente / fabricante	Característica	Unidades
Paneles – Eurener	230 Wp	53
Baterías – BAE	2250 Ah a 16 V	6 en série
Regulador – Enertron	12 kW	2 en paralelo
Inversor – Solarmax	4.180 kVA	4 en paralelo
Estructuras – Atersa	alojan 3 paneles	18

#### 4. El Proyecto – Integración con la sociedad

Durante la realización de este proyecto se ha tenido en cuenta el entorno arquitectónico de la región, proponiendo un edificio que se asemeje a las construcciones de su alrededor. Con ello se pretende que la escuela quede perfectamente integrada en su barrio, sin que parezca una obra ajena. La construcción a partir del adobe, la poca altura máxima del edificio y el color de sus cerramientos son ejemplos de características que pasaran inadvertidas entre la población de la zona.

Por otra parte, se pretende que espacios como el amplio comedor social, los talleres o la sala de actos actúen como cohesores sociales en el barrio donde se construya la

escuela, proponiendo actividades que inciten a los ciudadanos a participar en proyectos conjuntos.

## 5. Conclusiones

- Se ha presentado el resultado del conjunto de tres Proyectos Finales de Carrera realizados en la titulación de Ingeniería Industrial de la Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa.
- Los objetivos planteados al inicio como son el diseño de una escuela sostenible, eficiente e integrada en su entorno se considera que han sido totalmente alcanzados.
- Puesto que se ha proyectado una escuela en diferentes edificios y con un sistema energético independiente, la obra puede ser ejecutada por fases independientes entre ellas, o incluso explotarse en entornos adaptándose a todas las necesidades o recursos económicos.
- El fomento de Proyectos Finales de Carrera en los que se persigue, más allá de una evaluación global de las competencias específicas adquiridas a lo largo de la titulación, un compromiso social, está yendo en aumento en nuestra Universidad gracias a la creciente sensibilidad social del conjunto de actores que la conforman.

## Referencias

- [1] Naciones Unidas, 2005. <http://www.undp.org/annualreports/2005/english/>
- [2] Naciones Unidas, 2005. <http://www.undp.org/mdg/>
- [3] Guillermo Yañez; *Energía Solar, edificación y clima. Tomo 1*. Ministerio de obras públicas y urbanismo. 1982.
- [4] National Reserch Council Canada. Daylighting & Sustainable Design. Daysim. 2009. [http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/lighting/daylight/daysim\\_e.html](http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/lighting/daylight/daysim_e.html)
- [5] Belmonte Gómez, Adrià. *Estudi d'aplicació de criteris bioclimatics i d'energies renovables en el disseny d'una escola rural a Burkina Faso*. Proyecto de Final de Carrera, UPC-ETSEIAT.
- [6] Macià Cid, Jordi. *Estudi d'avaluació, cobertura i optimització de les necessitats energètiques d'una escola rural a Burkina Fasso*. Proyecto de Final de Carrera, UPC-ETSEIAT.

## Correspondencia

Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Projectes d'Enginyeria. Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa. C/ Colom 11, 08222 Terrassa, Spain.

Pr. Daniel García-Almiñana / Phone: +34 937.398.921 / E-mail : [daniel.garcia@upc.edu](mailto:daniel.garcia@upc.edu)

Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Arquitectura de Computadors. Facultat d'Informàtica de Barcelona. C/Jordi Girona Salgado 1-3, edifici B6 del Campus Nord, 08034 Barcelona, Spain.

Pr. Jordi García Almiñana / Phone: +34 934.015.950 / E-mail : [jordiq@fib.upc.edu](mailto:jordiq@fib.upc.edu)

Adrià Belmonte Gómez / Phone: +34 933.579.062 / E-mail: [adriabelmonte@gmail.com](mailto:adriabelmonte@gmail.com)

Jordi Macià i Cid / Phone: +34 665.632.045 / E-mail: [jordidelmetall@gmail.com](mailto:jordidelmetall@gmail.com)