

EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO A LA ESCALA DEL FRAGMENTO URBANO

Memoria de Máster en Ciencias y
Técnicas de ambientes urbanos
Escuela de Minas. Nantes - France



Kattia Villadiego Bernal
Mauricio Cabas García

libro digital



C O R P O R A C I Ó N
UNIVERSIDAD
DE LA COSTA
1970

**EVALUACIÓN DEL CONSUMO
ENERGÉTICO A LA ESCALA
DEL FRAGMENTO URBANO**

Villadiego Bernal, Kattia

Evaluación del consumo energético a la escala del fragmento urbano/

Kattia Villadiego Bernal, Mauricio Cabas García –

Barranquilla: Educosta, 2016

ISBN: 978-958-8921-29-7

159 páginas, gráficos, fotos, tablas (Ebook, Formato pdf)

1. Conservación de la energía 2. Utilización de la energía

3. Consumo de energía 4. Urbanismo

711 V713

Co-BrCuC

EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO A LA ESCALA DEL FRAGMENTO URBANO

Kattia Villadiego Bernal
Mauricio Cabas García



UNIVERSIDAD
DE LA COSTA
1970

2016



Evaluación del Consumo Energético a la Escala del Fragmento Urbano

Autor: **Kattia Villadiego Bernal**
Mauricio Cabas García

CORPORACIÓN UNIVERSIDAD
DE LA COSTA CUC
Barranquilla - Colombia - Sur América

ISBN: 978-958-8921-29-7

Primera Edición
Editorial Universitaria de la Costa EDUCOSTA
Corporación Universidad de la Costa CUC
Calle 58 No. 55-66
Teléfono: (575) 344 3597
educosta@cuc.edu.co

Coordinación Editorial:
Mauricio Cabas García

Corrección de estilo,
Diagramación y
Diseño de Portada:
Dolores López

Hecho el depósito que exige la ley.

® **Todos los derechos reservados, 2016**

Esta Obra es propiedad intelectual de sus autores y los derechos de publicación han sido legalmente transferidos al editor. Queda prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del propietario de los derechos del copyright©

El presente e-book es una adaptación y traducción al español, del manuscrito original en francés (del mismo autor), no publicado: “Evaluation de la consommation énergétique à l’échelle du fragment urbain” (2007), que se encuentra en la biblioteca de la Escuela de Minas de Nantes, Francia.

Contenido

Introducción	13
--------------	----

CAPÍTULO I.

LA EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO A LA ESCALA URBANA – ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO	17
--	----

La importancia de evaluar el consumo energético	17
---	----

Los modelos de evaluación del consumo de energía a la escala urbana	22
--	----

Los modelos ingleses	23
----------------------	----

Modelo de predicción energética y medioambiental – EEP	24
---	----

Planeación de energía solar – SEP	33
-----------------------------------	----

Simulación de consumo final de energía en residencias a una escala urbana	46
--	----

El método Adequa	59
------------------	----

Suntool: Herramienta de simulación para barrios urbanos sostenibles	65
--	----

Conclusión	69
------------	----

CAPÍTULO II.

SUNTOOL : UN NUEVO ÚTIL PARA UN DESARROLLO URBANO SOSTENIBLE_____ 73

Presentación del modelo_____ 74

Los datos de entrada_____ 76

Principios y métodos de cálculo_____ 82

Conclusión_____ 98

CAPÍTULO III.

APROXIMACIÓN ENERGÉTICA DE UN PARQUE DE ALOJAMIENTO SOCIAL: APLICACIÓN DEL MODELO SUNTOOL SOBRE EL CASO MALAKOFF_____ 101

Presentación del barrio Malakoff _____ 102

Aplicación del modelo_____ 105

Resultados y aplicación del modelo_____ 146

CONCLUSIÓN FINAL_____ 150

REFERENCIAS_____ 155

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema de trabajo.	16
Figura 2. París: Densidad y polución urbana.	19
Figura 3. Distribución de emisiones de CO ₂ en Francia para el año 2002.	20
Figura 4. Tipologías de vivienda.	34-38
Figura 5. Esquema que muestra la extracción de datos a partir de un SIG.	42
Figura 6. Clasificación de los edificios.	49
Figura 7. Método de red de circuito térmico.	55
Figura 8. Modelo de barrio para Adequa.	61
Figura 9. Captura de ALCYONE hacia COMFIE. Ejemplo tomado del proyecto Garibaldi en Montreuil, Francia.	63
Figura 10. Imagen de la toma de datos del modelo estocástico, perfil de ocupación en días de semana.	91
Figura 11. Ventana de definición de centros de producción de energía para un edificio en SUNtool.	97
Figura 12. Malakoff 2002.	102

Figura 13. Malakoff Aval: edificios sin intervención en el año 2007.	104
Figura 14. Malakoff Amont: edificios renovados. Año 2007.	104
Figura 15. Comparación de temperaturas. Enero 1 de 1986.	108
Figura 16. Comparación de velocidad de vientos. Enero 1 de 1986.	109
Figura 17. Comparación de radiación global para enero 1 de 1986.	110
Figura 18. Comparación de las temperaturas del año tipo SUNtool y las medias de temperaturas en un periodo de 20 años obtenidas de Météo France.	111
Figura 19. Comparación de los perfiles de radiación global para el año tipo SUNtool.	112
Figura 20. Comparación días grado (DJ) SUNtool en relación con los días grado (DJ) Météo France.	113
Figura 21. Comparación de superficies tomadas de la documentación y calculadas en SUNtool.	115
Figura 22. Número de alojamientos SUNtool vs número de alojamientos reales. Las torres T8 y T11 fueron demolidas y no se tienen en cuenta.	117

Figura 23. Comparación de los consumos en los diferentes escenarios.	121
Figura 24. Diferentes escenarios en relación con la situación real.	124
Figura 25. Comparación de la variación de los resultados para las 7 simulaciones de M07.	128
Figura 26. Resultados de consumo de calefacción y agua caliente sanitaria para las simulaciones de los edificios individuales en relación con la simulación del barrio (M07).	133
Figura 27. Comparación de porcentajes de variación de los diferentes escenarios en relación con la situación de referencia M07.	138
Figura 28. Variación del consumo y de la radiación para las diferentes acciones.	141
Figura 29. Sensibilidad de SUNtool a las elecciones del modelo de ocupación y de iluminación.	143
Figura 30. Comparación del porcentaje de variación (%) global en las diferentes situaciones.	145

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipos y cantidad de hogares en la ciudad de Osaka.	50
Tabla 2. Reconstrucción del año típico según IWECC para Nantes.	107
Tabla 3. Características de los diferentes escenarios.	121
Tabla 4. Comparación de resultados de consumo en relación con la reglamentación térmica (RT).	125
Tabla 5. Comparación de resultados entre torres y lineales.	136
Tabla 6. Características de las ventanas para las diferentes acciones a ejecutar.	138
Tabla 7. Características de las acciones para el modelo estocástico.	142

Introducción

La ciudad ofrece una serie de servicios necesarios para el ser humano. Entre esos servicios, la producción y distribución de energía juegan un rol importante en términos de desarrollo urbano sostenible. La energía interviene sobre tres pilares fundamentales:

- El aspecto social: porque garantiza el confort y bienestar humano.
- El aspecto económico: todas las industrias y actividades económicas dependen de su aprovisionamiento de energía.
- El aspecto ambiental: la producción de energía consume gran parte de los recursos naturales.

Debemos interrogarnos sobre el futuro de nuestras sociedades dado que se estima que las reservas petroleras mundiales podrían agotarse en una cincuentena de años (alrededor de 65 años para el gas y 260 para el carbón) (Despretz, 2006).

Al mismo tiempo, la comunidad científica anuncia un aumento de la temperatura media del planeta entre 1,4°C y 5,8°C para el próximo siglo. Dicho aumento está ligado al fenómeno de efecto invernadero, siendo éste el resultado de la utilización de ciertas fuentes energéticas.

El porcentaje de consumo energético y emisiones de CO₂ producido por el sector de la construcción es bastante representativo. De acuerdo con la Embajada de Francia en Alemania [2006], el sector constructivo es el más grande consumidor de energía primaria en Europa (40% de la energía total consumida), igualmente, es responsable de más del 40% de las emisiones totales de CO₂. El PREBAT¹ (2007) estima que en el 2004 el sector de la edificación, Francia emitía el 24% de CO₂, y que en el 2000, el consumo de energía para ese mismo sector era de 47%. Este consumo de energía en los edificios es compartido por cuatro (4) acciones principales: calefacción, cocción, producción de agua caliente sanitaria

¹ PREBAT: Programa de investigación y experimentación sobre la energía en el edificio - Programme de Recherche et d'Expérimentation sur l'Énergie dans le Bâtiment.

y el consumo eléctrico específico (aparatos electrodomésticos, iluminación, etc.).

Sin embargo, con relación a los otros sectores (transporte e industria), el sector de la construcción cobra importancia por su gran potencial para el logro de la reducción de la eficiencia energética. Por ende, la modelización del consumo, a la escala de edificios, y aun, de fragmentos urbanos, se convierte en una necesidad para alcanzar este objetivo.

Desde hace varios años, los útiles de simulación térmica de edificios han sido ampliamente desarrollados y reconocidos. Sin embargo, desde el punto de vista de la gestión sostenible de las ciudades, el estudio individual del edificio no es suficiente. A escala urbana, las interacciones se multiplican y la relación entre un edificio y su entorno es mucho más compleja. De este modo, en las últimas décadas se han desarrollado un número limitado de útiles de evaluación de los resultados ambientales y de consumo energético a una escala mayor que la del edificio.

El presente trabajo presenta algunos de los modelos de evaluación de consumo energético e impacto ambiental desarrollados en países como Francia, Japón, Reino Unido, entre otros. Después de elegir uno de esos modelos, se detallan los métodos utilizados, la estructura, la capacidad de transposición y la disponibilidad de datos necesarios para su utilización. El alcance de este estudio llega a la aplicación del modelo en un caso real, teniendo como objetivo la caracterización de la sensibilidad de los resultados y las incertidumbres de los datos de entrada ligados a las variables externas no controlables.

Se eligió el barrio Malakoff sobre el cual se dispone de ciertos datos a partir del *Gran proyecto de ciudad* «GPV Malakoff». Esta información facilitará la validación o no de los resultados obtenidos a partir del modelo SUNtool. Este estudio permitirá tener un punto de partida para la puesta en marcha de instrumentos eficaces en términos de estimación de consumo de energía.

CAPÍTULO I.

LA EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO A LA ESCALA URBANA – ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

Antes que todo, es necesario explicar la pertinencia de efectuar la evaluación del consumo energético, en particular a la escala urbana. El objetivo de este capítulo es describir diferentes modelos de evaluación del consumo energético a esta escala.

La Importancia de Evaluar el Consumo Energético

Desde la crisis energética en los años 70, la disponibilidad de energía se ha convertido en

una preocupación mundial. Este interés se ha incrementado estos últimos años debido al agotamiento de ciertas fuentes de energía y de los efectos nefastos de nuestro modo de vida sobre el planeta. El crecimiento demográfico y las necesidades energéticas resultantes no contribuyen al mejoramiento de la situación. En efecto, la población mundial cuenta con más de 6.000 millones de habitantes, y se estiman de 7 a 8 mil millones de habitantes para el 2020 concentrados en las grandes aglomeraciones. Se puede esperar, por lo tanto, un aumento directamente proporcional en necesidades de equipamiento y en consecuencia, un aumento en la demanda energética que se estima superior al 60% de la demanda a 2006 (Despretz, 2006).

Las preocupaciones van más allá de las implicaciones económicas y sociales, existen dos problemas para los cuales es urgente una solución:

- El agotamiento de recursos.
- El cambio climático.



Figura 2. París: Densidad y polución urbana.

Fuente: De bjahind - Paris panorama (2014)

En este contexto, el sector de la arquitectura y la construcción tienen una gran responsabilidad. En Francia, de acuerdo con Peupertier (2003), el sector construido representa más del 40% del consumo energético (100 M TEP/año), donde cada alojamiento es responsable de la emisión de 1,9 toneladas de CO₂ por año.

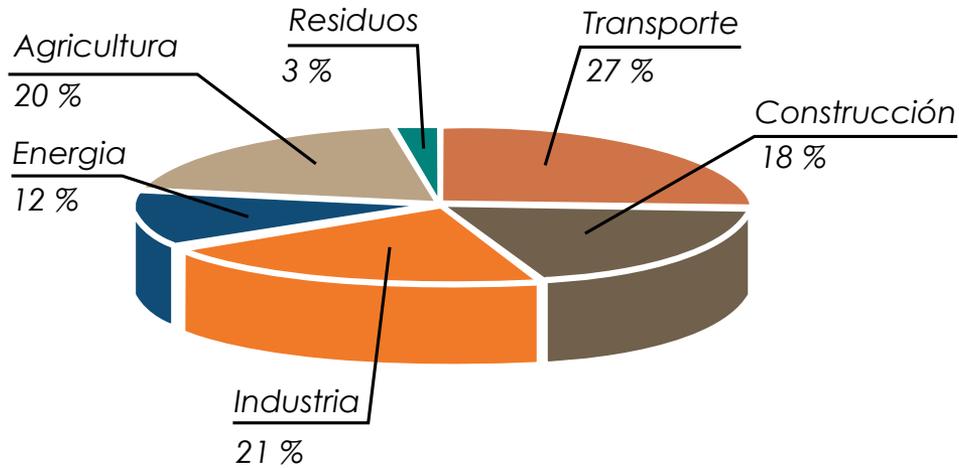


Figura 3. Distribución de emisiones de CO₂ en Francia para el año 2002

(Plan Climat, 2004).

Frente a estos argumentos indiscutibles, los gobiernos de varios países han reaccionado para buscar alternativas y establecer planes de acción y compromisos internacionales. Por ejemplo, en el campo de la arquitectura, la “Declaración de interdependencia para un futuro viable y sostenible²”, firmado en Chicago durante el Congreso de

² Mayor información en el sitio : <http://www.uia-architectes.org/texte/france/Menu-7/Declarationchicago.html>

la Unión Internacional de Arquitectos en 1993, confirma oficialmente el compromiso social y ambiental de los arquitectos y planificadores en la gestión sostenible de las ciudades.

Desde que se conoce la incidencia de la actividad constructiva y del urbanismo sobre el medio ambiente, se comprende el interés de manejar las ciudades pensando en los efectos a largo plazo de las decisiones de diseño. Así, al menos en el marco europeo se ha incrementado el nivel de exigencias de los planificadores y constructores. Reducir el consumo energético en los edificios, limitar las emisiones de CO₂, diseñar edificios competentes, pensar en la arquitectura bioclimática, usar las energías renovables, etc., se han convertido en aspectos que conciernen a todos los actores de la arquitectura y el urbanismo en todos los niveles.

Poder predecir el consumo energético de un proyecto es indispensable durante el diseño o la renovación de los barrios. Es por esto que se han desarrollado diferentes útiles o modelos que serán detallados a continuación.

Los Modelos de Evaluación del Consumo de Energía a Escala Urbana

Para la evaluación del consumo de energía, existen numerosos modelos consistentes casi todos en softwares capaces de determinar la demanda de energía, las pérdidas y el rendimiento energético y ambiental de un edificio.

Un modelo consiste en una representación simplificada de la realidad que permite prever ciertos fenómenos en una situación más o menos compleja. Se pueden encontrar modelos llamados físicos o modelos estadísticos. El primer caso define el sistema en términos de propiedades partiendo de datos medibles y de leyes físicas. El segundo entra en juego cuando los fenómenos son más complejos y la información disponible no es suficiente para el análisis en el marco de la física. La información estadística es entonces muy importante.

A la escala de un edificio individual varios útiles han sido propuestos. Se trata de softwares concebidos para objetivos específicos orientados hacia la evaluación de la demanda

de energía. Algunos de estos programas son por ejemplo COMFIE, TRNSYS, CODYBA, etc. En lo que respecta a escalas más amplias, como un conjunto de edificios o un barrio, se encuentran métodos más recientes que desarrollan aproximaciones simplificadas pero lo suficientemente confiables para ayudar a la gestión sostenible de la ciudad. Esos son los modelos que nos interesan.

Los Modelos Ingleses

Desde hace algunos años el gobierno del Reino Unido ha puesto en práctica algunos proyectos en busca de reducir las emisiones de CO₂ como medida para responder a los compromisos ambientales a nivel internacional, como el protocolo de Kioto (Gadsden et al, 2003). En este contexto han surgido diversos modelos, útiles y métodos para estimar el consumo energético a la escala urbana, este es el caso del modelo EEP³ y del modelo SEP (*Solar Energy Planning*).

³ EEP (Energy and Environmental Prediction). <http://www.cardiff.ac.uk/archi/research/cost8/case/assessment/uk-eeep.pdf>

Modelo de predicción energética y medio-ambiental – EEP

Este modelo ha sido desarrollado por la Universidad de Cardiff y el Engineering and Physical Science Research Council con la colaboración de la Universidad de Monfort. Se orienta a cuantificar el consumo energético y las emisiones de CO₂ para diferentes sectores y espacios a escala urbana (Jones, Lannon y Williams, 2001). El útil se basa en datos suministrados por un Sistema de Información Geográfica - GIS.

El EEP fue creado para responder a unos objetivos particulares (Kraube, 2000) tales como:

- Cuantificar el consumo energético para diferentes sectores y actividades.
- Predecir los niveles de consumo de energía por actividad.
- Calcular las emisiones de CO₂ asociadas al uso de la energía.
- Establecer una base de datos del consumo de energía y de las emisiones de CO₂.

- Ayudar a la evaluación económica y de impacto ambiental de las opciones de utilización de energía alternativa.
- Identificar las soluciones pertinentes de desarrollos futuros acordes con los objetivos de un desarrollo sostenible.
- Predecir los impactos de las medidas y normas propuestas sobre el consumo de energía y de emisiones de CO₂.

Este modelo pretende ser un útil de ayuda de las autoridades locales para la planificación y gestión sostenible de las mismas. A fin de alcanzar los numerosos objetivos presentados anteriormente, el útil se divide en diversos sub-modelos:

- Uso doméstico de la energía.
- Uso no domestico de la energía.
- Uso industrial de la energía.
- Uso de la energía para el transporte.
- Polución y salud.

El modelo de *Uso doméstico de la energía* es el sub-modelo utilizado para evaluar el uso de la energía y las emisiones de CO₂ en el sector residencial. Este sub-modelo respeta el procedimiento *Standard Assessment Procedure* (SAP)⁴. Varios softwares probados y aprobados por el *Building Research Establishment* (BRE)⁵ ponen en marcha este procedimiento. El EEP incluye un útil denominado *Domestic Energy Assessment Procedure* (DEAP) (Jones, Lannon y Williams, 2001), el cual permite determinar el *SAP rating*⁶, las emisiones de CO₂ y el consumo de energía. Sin embargo, este sub-programa no se encuentra incluido en la lista de software aprobado publicado por SAP (2005).

La puesta en marcha y la validación del modelo EEP fue realizada en el poblado inglés de Leicester (Kraube, 2000). El método

⁴ SAP (Standard Assessment Procedure) es una metodología adoptada por el Gobierno del Reino Unido para calcular el rendimiento energético de los alojamientos (equivalente a los Diagnósticos de rendimiento energético en Francia) cf. www.bre.co.uk/sap2005.

⁵ BRE (Building Research Establishment): Centro de Investigación sobre el Medio Ambiente (Reino Unido). www.bre.co.uk

⁶ SAP Rating se basa en el costo energético asociado a la calefacción, el agua caliente, a la ventilación y la iluminación. Se expresa por una escala de 1 a 100, donde los valores más grandes tienen el más bajo costo.

requiere la recolección de datos que provienen de dos orígenes diferentes. En primer lugar, la exploración de toda fuente disponible a nivel de documentación y de estudios existentes. En segundo lugar, los levantamientos de terreno que se realizan desde la calle sin entrar en el inmueble. La información faltante se define a partir de hipótesis basadas en las tendencias nacionales. La zona de estudio comprende una muestra conformada por edificios de diferentes características sobre una superficie de 1,97 Km².

Los autores realizaron una clasificación de los edificios, la cual se apoya en métodos estadísticos y facilita su reagrupación por comportamientos de consumo energético similares. A partir de esta información se definen dos parámetros de clasificación: la forma y la edad del edificio; de acuerdo con los autores del modelo, estos parámetros caracterizan el parque de construcciones residenciales de manera satisfactoria.

Por su forma, se establecieron 20 grupos teniendo en cuenta la superficie en planta baja, la fachada, la relación de superficie

muro/ventana, el número y altura de los pisos y la superficie expuesta al sol. Se distinguen igualmente las tipologías de viviendas aisladas, semi-aisladas, de esquina y medianeras. Por su edad se tienen 5 grupos:

- Anteriores a 1919.
- De 1919 a 1944.
- De 1945 a 1964.
- De 1965 a 1980.
- Después de 1980.

Finalmente, después de haber efectuado las diferentes combinaciones posibles, se obtienen 100 tipos o grupos (Jones, Lannon y Williams, 2001).

La fase de cálculo se efectúa con DEAP, el cual determina las pérdidas a partir de la geometría y el coeficiente « U ». El balance energético entre pérdidas, ganancias solares y ganancias internas del edificio permiten estimar la cantidad de energía necesaria para la calefacción y el agua caliente. Para realizar ese balance, los datos necesarios son:

- Los valores de los coeficientes de transmisión U.
- Las dimensiones.
- La superficie.
- El perímetro expuesto al sol.
- La relación entre superficie de muro/ventana.
- El número y altura de pisos.
- La geometría del edificio.
- El volumen.

El valor « U » se obtiene a partir de la edad del edificio⁷ y esta última se encuentra a partir de la documentación existente. Los datos relativos a la localización, dimensión, superficie de planta baja y el perímetro expuesto son obtenidos con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

⁷ Esto es posible dadas las reglamentaciones térmicas implementadas en el Reino Unido desde hace varios años.

En este caso el software utiliza MapInfo® (Kraube, 2000). Los datos restantes son recopilados gracias a trabajos de campo. A continuación, los datos son validados y comparados con la información oficial de las autoridades.

El útil asume ciertas hipótesis importantes como:

- Todos los alojamientos tienen caldera a gas estándar. De este modo, solo es posible realizar el cálculo de consumo de energía fósil con DEAP.
- La energía eléctrica es usada para la iluminación y para el funcionamiento de aparatos electrodomésticos.
- La energía eléctrica se estima sobre la base de promedios nacionales de consumo eléctrico.

Estas hipótesis se fundamentan en encuestas y cuestionarios aplicados sobre una muestra de 2000 propietarios en Cardiff (Jones, Lannon y Williams, 2001).

El *sub-modelo no doméstico* cuantifica el consumo energético en los edificios públicos y comerciales. Este sub-modelo utiliza las cifras de consumo energético y de emisiones de CO₂ del Departamento del Medio Ambiente, Transporte y de las Regiones del Reino Unido.

Los edificios son clasificados en 30 grupos de acuerdo con su uso. Se tiene por ejemplo: oficinas, hospitales, hoteles, escuelas, etc. Cada grupo es subdividido en subcategorías. Un hotel es subdividido en hotel de lujo, hotel de negocios, pequeño hotel; una escuela, en maternal, primaria, etc. Los tipos de propietarios son identificados utilizando las bases de datos locales como «Local Council Rateable Database» y también a través de trabajos de campo. Las superficies de las propiedades se obtienen a partir de «Ordnance Survey Map»⁸ o su Sistema de Información Geográfica equivalente (Jones, Lannon y Williams, 2001).

⁸ Ver : <http://www.ordnancesurvey.co.uk>

Los resultados obtenidos con el modelo EEP son validados por comparación con otras fuentes y métodos como el *Building Environmental Performance Analysis Club* (BEPAC)⁹ y el *LCC Home Energy Strategy Department*. Sin embargo, solo ha sido posible la validación para el *SAP rating*, esto es debido a la dificultad de encontrar información sobre el consumo energético y las emisiones de CO₂. Además, existen diferencias entre estos métodos y aquellos utilizados por el EEP, lo que conlleva a diferencias en los resultados. Se presenta el mismo problema de falta de información de consumo al momento de efectuar la validación del modelo.

Para concluir, los resultados de la validación del modelo muestran que EEP es un modelo utilizado para evaluar las tendencias generales del *SAP rating* pero tiende a sobrestimar los resultados dadas las hipótesis hechas durante la etapa de cálculo. La extrapolación del modelo hacia otras ciudades y

⁹ BEPAC es un club inglés que tiene por objetivo promover el rendimiento de los edificios a través del uso y el desarrollo de metodos de modelización ambiental para el edificio. http://www.ibpsa.org/proceedings/BS1989/BS89_001_4.pdf

países es complicada a causa de problemas para la obtención de datos. Estos son puntos a mejorar para el avenir de este método que pese a estos inconvenientes es interesante.

Planeación de energía solar - SEP

Solar Energy Planning (SEP) es un software que ha sido desarrollado conjuntamente por la Universidad de Montfort, Barnet Council y BDSP Partnership¹⁰. Este útil se orienta a determinar el consumo energético en edificios de tipo residencial, específicamente, la evaluación del potencial de utilización del diseño solar pasivo, los sistemas de calentadores solares de agua y los sistemas fotovoltaicos (Gadsden et al, 2003).

En primer lugar, SEP distingue seis categorías de alojamientos: viviendas individuales aisladas, viviendas semi-aisladas, viviendas de esquina o extremidad, viviendas medianeras y apartamentos:

¹⁰ BDSP Partnership: Empresa inglesa especializada en consultorías para la construcción ecológica. www.bdsp.com



Figura 4a. Tipologías de vivienda (Aislada)

(Killip, 2007).

SANDFIELD



Figura 4b. Tipologías de vivienda (Semiaislada)

(Killip, 2007).



Figura 4c. Tipologías de vivienda (De extremidad)

(Killip, 2007).



Figura 4d y 4e. Tipologías de vivienda (Medianeras)

(Killip, 2007).



Figura 4f. Tipologías de vivienda (Apartamentos)

(Killip, 2007).

Esta clasificación representa la forma del edificio y corresponde a los estudios existentes de las autoridades locales. En Gran Bretaña, por ejemplo, la tipología apartamentos representa el 18% de los edificios residenciales, las viviendas individuales el 26%, mientras que las viviendas medianeras y las semi-aisladas el 28% (Kilip, 2007).

Dado que la época de construcción nos indica ciertas características de los edificios, SEP hace otra clasificación partiendo de las fechas de construcción en relación con los mayores cambios de las normas de construcción del Reino Unido. De este modo se obtienen nueve grupos diferentes: antes de 1900, 1900–1929, 1930–1949, 1950–1965, 1966–1976, 1977–1981, 1982–1990, 1991–1995 y después de 1995. La edad de los edificios se obtiene a partir de la información de las autoridades locales. Los datos ligados a esta información son:

- El valor « U » para las paredes y cubiertas.
- Las especificaciones de acristalamiento.
- Información sobre sistemas de calefacción.
- Las exigencias de ventilación.
- Los combustibles utilizados.

Otra fuente importante de información de tipo estadístico es el «English House Condition Survey» (EHCS)¹¹, donde es posible obtener información sobre los sistemas primarios y secundarios de calefacción, los sistemas calentadores de agua y los sistemas de cocción (Rylatt et al, 2002). Un último elemento es el «Home Energy Survey Form» que es un formulario distribuido por los «Energy Efficiency Advice Centres» que cada propietario debe llenar para aportar información sobre los sistemas de calefacción, calentador de agua y el tipo de combustible, así como de los sistemas de aislamiento. El SEP se sirve de dos fuentes fundamentales:

¹¹ English House Condition Survey (EHCS) es un estudio sobre los alojamientos realizado cada 5 años por el Departamento del Medio Ambiente y Transporte y de las Regiones del Reino Unido. www.housing.detr.gov.uk

- *La tecnología SIG*
(*Sistema de Información Geográfica*).

Una herramienta específica denominada «Footprint Tool» permite extraer el perímetro de los edificios y construir polígonos cerrados partiendo de mapas digitales como los producidos por Ordnance Survey's (Ej: Ordnance Survey's Land – Line Plus).

Una vez se han identificado los polígonos se pueden establecer los diferentes tipos de formas. Del mismo modo, utilizando procesadores de imágenes y bases de datos espaciales, es probable realizar el cálculo de la superficie de la planta baja y paredes e identificar si se trata de muros o tabiques (Rylatt et al, 2002). La implementación del SIG tiene por objeto reducir la complejidad de los trabajos de campo y mejorar el proceso de recolección de datos y la visualización de los resultados.

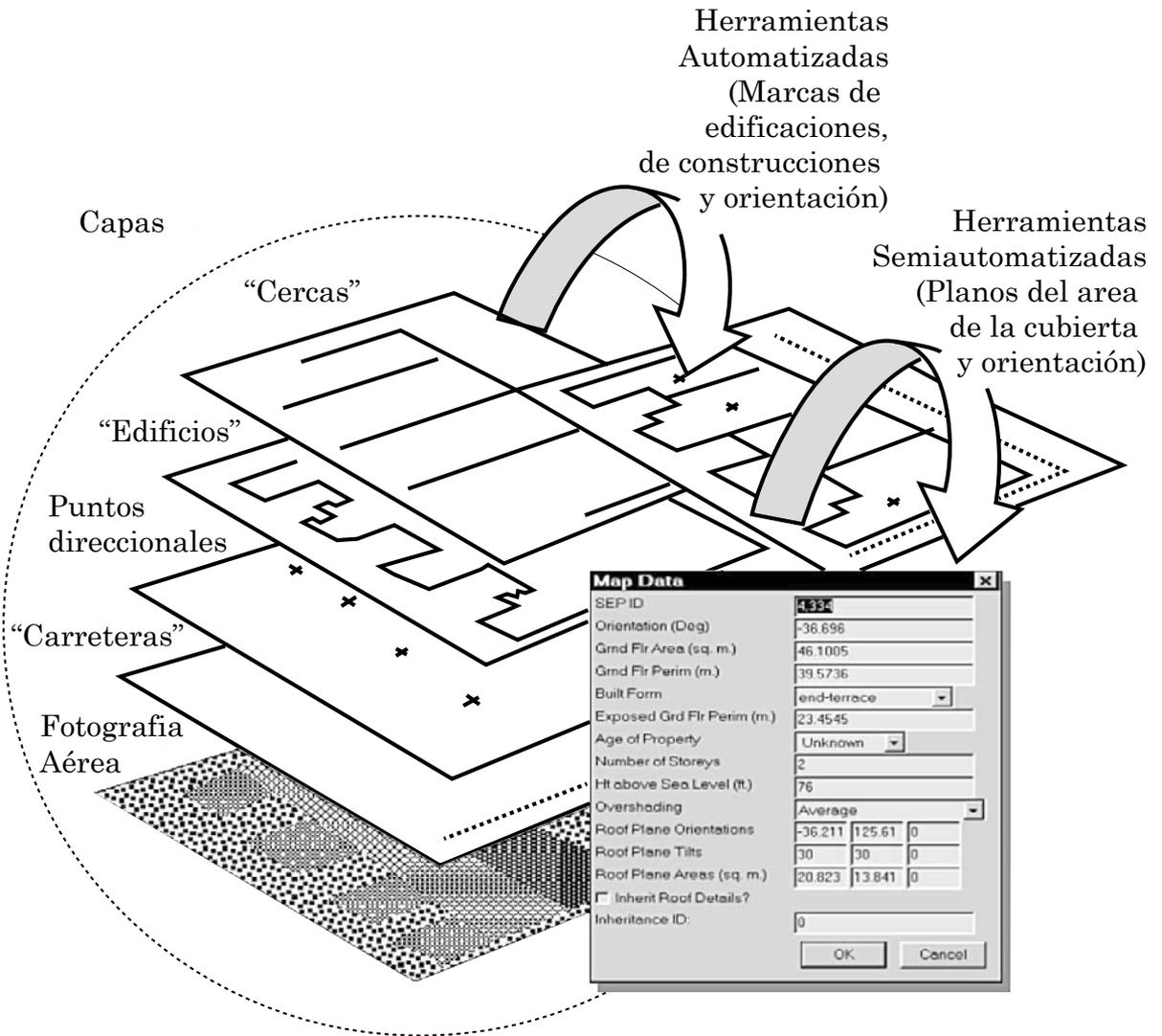


Figura 5. Esquema que muestra la extracción de datos a partir de un SIG

(Rylatt et al, 2002).

- *Los levantamientos de terreno*

Se hace en primer lugar un estudio simple de fachadas identificando el tipo de acristalamiento, el número de pisos y las máscaras. Sin embargo, pese a esta información, el nivel de precisión del modelo es aún bajo. Para remediar este problema conviene la realización de estudios más complejos que demandan más recursos. Para la ciudad estudiada, Leicester, la información completa ha sido recolectada para el 1% de las viviendas, es decir, 1000 viviendas del total de toda la ciudad.

Este modelo tiene en cuenta otro tipo de información, se trata de los parámetros socioeconómicos tales como el número de ocupantes y sus ingresos, la superficie del suelo, el costo y el tipo de inmueble.

El modelo térmico utilizado es el BREDEM (*BRE Domestic Energy Model Version 8*), desarrollado por el *Building Research Establishment* (BRE). El cálculo toma en cuenta las necesidades energéticas de calefacción, agua caliente, iluminación, aparatos electrodomésticos y de cocción. El BREDEM permite integrar el

consumo por temporadas, ya que se basa en un modelo de evaluación mensual (Gadsden et al, 2003).

Al trabajar con tecnología solar pasiva el punto más importante es la estimación de las ganancias debidas a la radiación solar. Por tal motivo, el BREDEM integra el modelo de radiación difusa de Pérez (Pérez et al., 1990). Este modelo calcula la radiación difusa de una superficie inclinada a partir del conocimiento de la radiación total sobre una superficie horizontal y sobre una base horaria (Gadsden et al, 2003).

El BREDEM determina los aspectos que los diseñadores deben considerar, como la orientación de la fachada principal acristalada, las máscaras de la fachada principal acristalada y la relación de la superficie de la fachada principal y las otras fachadas. Estas consideraciones permiten determinar las medidas necesarias para reducir el consumo energético utilizando el diseño solar pasivo.

En lo que concierne a sistemas fotovoltaicos y de calefacción de agua, el método se presenta en tres etapas:

- **Filtraje (filtering):** se realiza una primera selección de edificios que tengan características favorables para la implementación de un sistema fotovoltaico. Los criterios de selección son las restricciones de la reglamentación, la orientación, la inclinación y la superficie de cubierta.
- **Identificación (targeting):** proceso opcional que permite distinguir las ventajas de cada alojamiento, a la mirada de factores socioeconómicos que pueden tener influencia sobre el consumo de energía. Entre estos factores se encuentran: ingresos de los ocupantes, número de ocupantes, el valor del inmueble, el tipo de inmueble (arriendo o bien propio).
- **Cálculo detallado del potencial solar:** utiliza el método presentado en BS 5918¹², que calcula la energía suministrada por los sistemas de calentadores de agua solar. Este método ha sido modificado para obtener valores mensuales.

¹² The British Code of Practice for Solar Heating System for Domestic Hot Water: método para calcular los resultados térmicos presentados en el anexo D del British Standards Institutions, 1989 (BS 5918): Aparatos de producción de agua caliente, en utilización doméstica para energía solar – Código de buenas prácticas.

El SEP es un modelo interesante desde el punto de vista de la metodología utilizada en el momento de la clasificación, ya que detalla los procedimientos y define los elementos claves para la toma de decisiones. Así mismo, la fase de determinación es importante dado que incorpora aspectos socioeconómicos que juegan un papel significativo en la definición de variables de decisión.

Simulación del Consumo Final de Energía en Residencias a una Escala Urbana

Los modelos japoneses buscan estrategias para medir emisiones de CO₂ y consumo de energía tal como los modelos ingleses. En este proceso, el Departamento de Ingeniería de la Universidad de Osaka (Department of Environmental Engineering de la Graduate School of Engineering of Osaka University) desarrolló durante el año 2004, el modelo “*Residential end-use energy simulation*”. El objetivo es simular los niveles de consumo energético en el sector residencial a la escala de la ciudad. Se caracteriza por identificar el tipo de composición familiar, el compor-

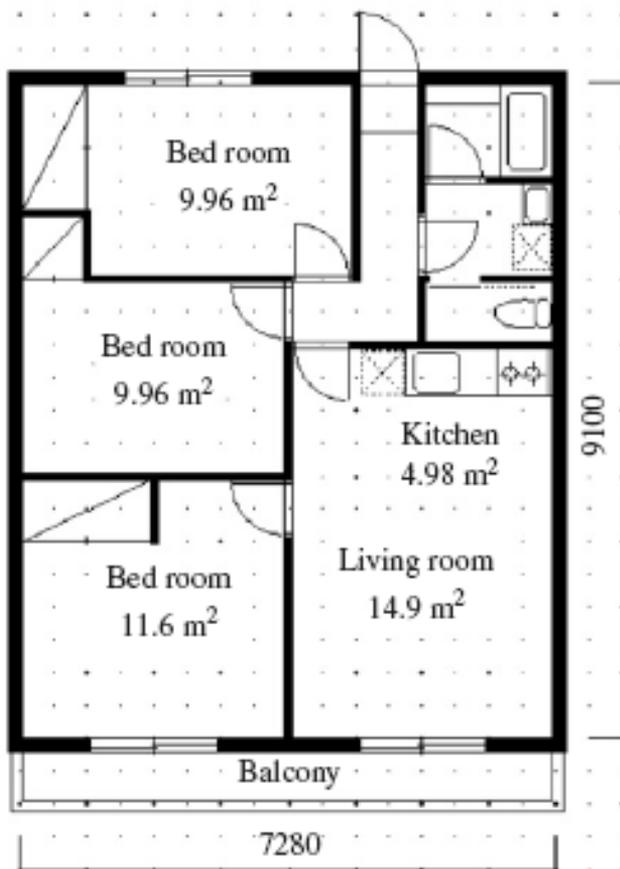
tamiento de los ocupantes y por concentrarse sobre las demandas de potencia eléctrica.

El modelo se orienta específicamente hacia:

- El análisis cuantitativo de las políticas de economía de energía de Japón.
- La evaluación de la eficiencia energética de los edificios y los aparatos eléctricos.
- El estudio de las medidas y políticas correspondientes al comportamiento de los habitantes en relación con el consumo de energía.
- La estimación de los efectos futuros de las diferentes políticas.

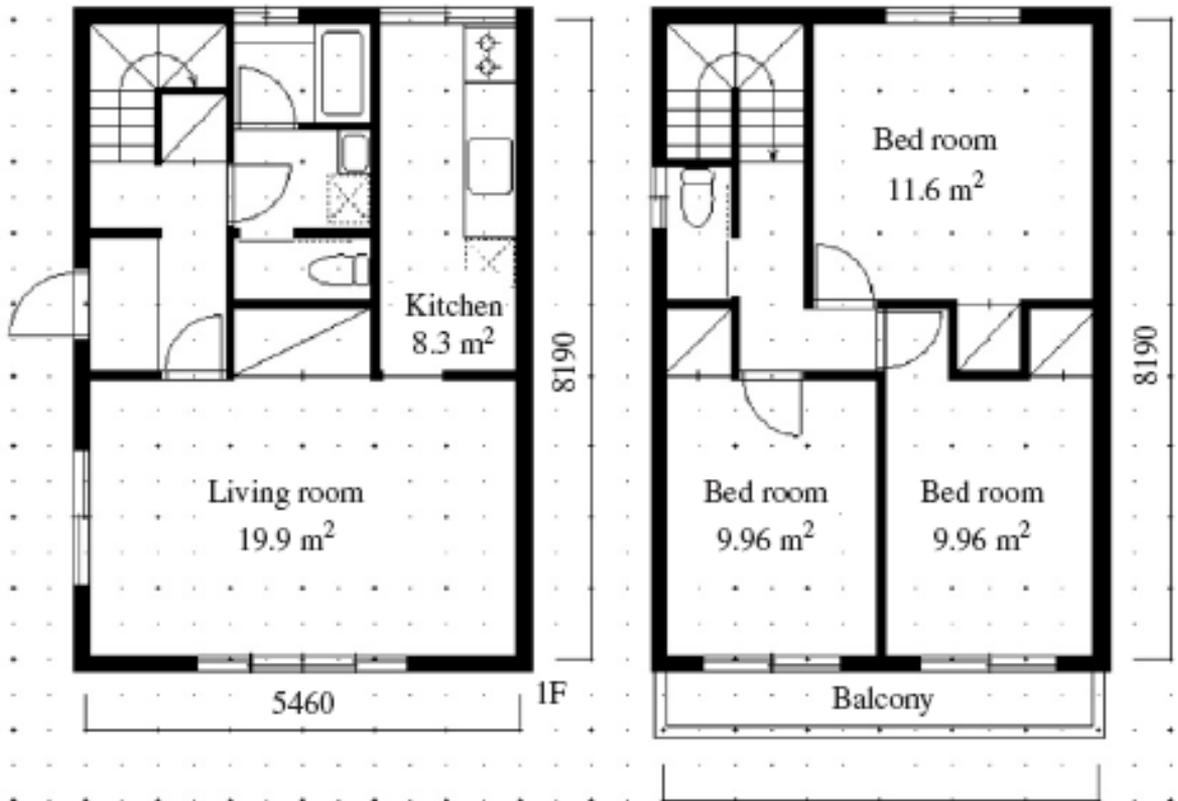
En primer lugar, el modelo hace una clasificación por tipo de edificios, y después por composición familiar. Los edificios son clasificados en 20 tipos reagrupados en 2 categorías: apartamentos y viviendas aisladas. Cada categoría se constituye de 10 subcategorías de apartamentos y 10 subcategorías de viviendas aisladas, para lo cual el criterio de clasificación ha sido la superficie del suelo.

a



Apartment house 68.7m²

b



Detached house 87.2m²

Figura 6. Clasificación de los edificios:
a) apartamentos; b) vivienda aislada

(Shimoda et al, 2006).

Tabla 1. Tipos y cantidad de hogares en la ciudad de Osaka

No. of household members	Family type of household	No. of working persons ^a	Category	Detached house	Apartment house
1	Male	1	1a	22,442	178,867
	Female	1	1b	15,670	125,233
	Aged male	0	1c	10,490	22,323
	Aged female	0	1d	39,513	40,278
2	Couple	2	2a	22,847	43,432
		1	2b	21,259	40,414
	Aged couple	0	2c	58,887	38,968
	Mother and a child ^b	1	2d	16,438	25,833
		0	2e	9739	15,304
3	Couple and children	2	3a	25,279	31,942
		1	3b	40,808	51,565
	Mother and children	1	3c	9139	11,146
		0	3d	5414	6603
4	Couple and children	2	4a	30,665	35,816
		1	4b	39,909	46,612
5	Couple and children	2	5a	10,571	10,595
		1	5b	13,757	13,788
More than 5	Couple, children and parents	2	6a	4833	2639
		1	6b	6487	3543
Total				404,146	744,901

^a “Working person” means a family member who is out on bussiness on a weekday.

^b All children are defined as students.

(Shimoda et al, 2006).

En lo concerniente a la composición familiar, los parámetros de clasificación son la edad, la ocupación de los habitantes (empleado, estudiante, ama de casa) y la cantidad de personas por familia. Después de establecer las combinaciones posibles, los autores han identificado 19 tipos de hogares. La información necesaria para este trabajo se toma de los datos del censo japonés, en este caso del año 2000.

El consumo de energía se calcula de manera iterativa para los 19 tipos de hogares y los 20 tipos de alojamiento; multiplicando el consumo de energía por el número de hogares, y éste por cada categoría para luego sumarlo, se obtiene el consumo total de energía para el sitio estudiado, en este caso la ciudad de Osaka (Shimoda et al, 2004).

Toda vez que este método aborda una escala muy amplia, se debe hacer uso de otros métodos, a saber:

- *Modelo de planeación de las actividades de los ocupantes:*

Permite la simulación del comportamiento de los ocupantes en el edificio por periodos de cinco minutos. Cada actividad está ligada al uso de aparatos electrodomésticos y de agua caliente. Del mismo modo, los espacios son identificados y puestos en relación con las actividades y los usos. Para la puesta en marcha del modelo, los ocupantes de cada hogar son reagrupados en ocho categorías: hombre empleado, mujer empleada, ama de casa, maternal, escolar, joven estudiante, hombre adulto y mujer adulta.

Los datos sobre el empleo del tiempo de los ocupantes son tomados de estudios elaborados por *Broadcasting Culture Research Institute* (NHK)¹³. Este estudio describe la probabilidad de ocupación de tiempo por cada actividad por un periodo de 15 minutos teniendo en cuenta las estaciones, los días de

¹³ NHK : Instituto de investigación de las costumbres y hábitos de la sociedad japonesa. El NHK presenta una publicación cada cinco años con información detallada sobre el comportamiento de las familias japonesas.

la semana, los fines de semana y las vacaciones.

Por otro lado, la *Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan* (SHASE), ha desarrollado un software llamado SCHEDULE capaz de hacer la simulación de los horarios de uso de la calefacción, climatización, iluminación y otros usos de la energía basado en el estudio del NHK (Shimoda et al, 2004).

Para el caso de la iluminación, los autores trabajan con las siguientes hipótesis:

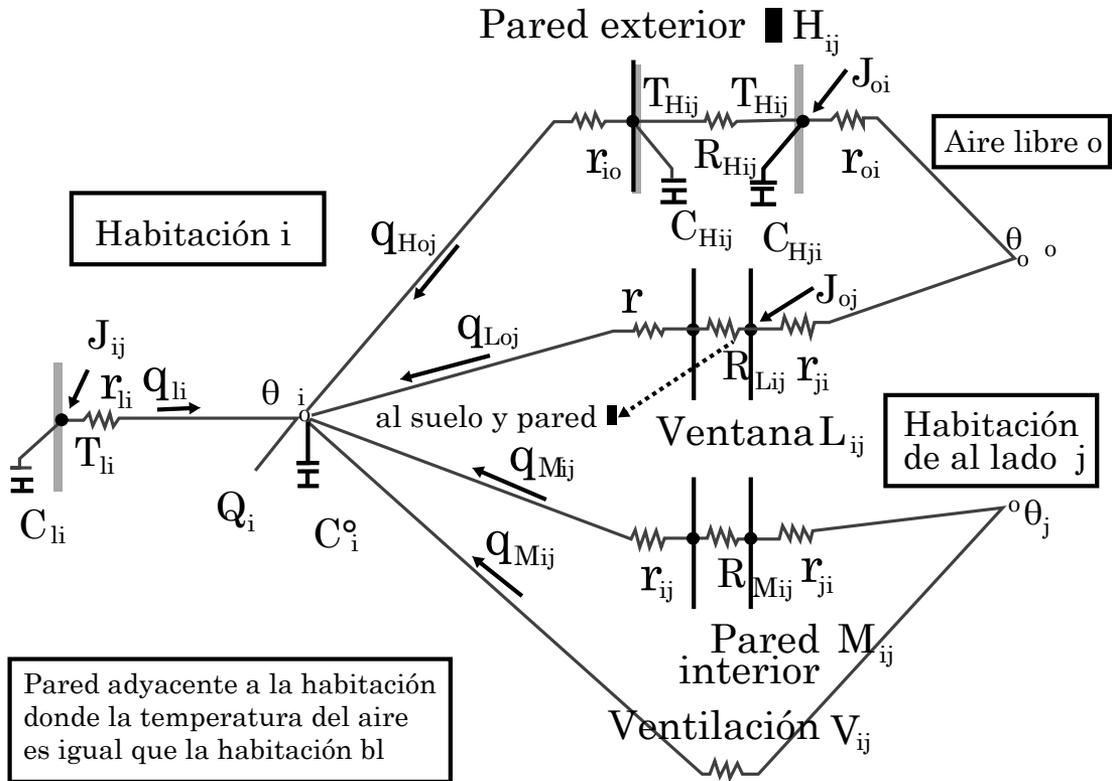
- Todos los espacios están ocupados excepto durante la noche donde se supone que todos los habitantes se encuentran dormidos.
- Los pasillos no se iluminan durante la noche.
- El consumo de energía para la iluminación se define como 5 W/m^2 . Este radio se obtiene a partir del resultado de encuestas.

- *Modelo de cálculo de demandas de agua caliente:*

Para el cálculo de necesidades de energía para agua caliente se supone la siguiente distribución: 96,8% de caldera de gas y 3,2% de calentador eléctrico. Los datos necesarios son la temperatura y la cantidad de agua caliente, además de la temperatura del agua de la ciudad, la cual es considerada como una función de la temperatura del aire (Shimoda et al, 2006).

- *Modelo de simulación de cargas de calor:*

Se trata de un modelo físico basado en la analogía eléctrica donde la transferencia de calor entre dos nudos se calcula partiendo de las diferencias de temperatura y de la resistencia térmica. Se denomina *nudo* a los puntos que representan los elementos del edificio (una pared interior, ventanas, aire interior). Una pared exterior se representa por dos nudos. El cálculo se hace por espacios como lo muestra la figura 7.



J : solar y radiación onda larga , C : capacidad calorífica ,
 θ : temperatura del aire , T : temperatura Vall , q : flujo de calor ,
 r : la resistencia de la convección de calor ,
 R : resistencia de la conducción de calor , Q : ganancia de calor interno

Figura 7. Método de red de circuito térmico

(Shimoda et al, 2006).

El método toma en cuenta la ventilación, la conducción de calor, la radiación solar, la temperatura del aire, la temperatura de paredes, su capacidad calorífica, la resistencia térmica y las ganancias internas de calor.

Implícitamente, la edad del edificio es tomada en consideración por el modelo, de manera que el cálculo se efectúa para cinco tipos de aislantes que corresponden a las normas de construcción japonesas, y que se determinan a partir de la edad de la construcción. Las principales hipótesis del modelo son:

- Todas las viviendas aisladas son construidas en madera.
- Todos los apartamentos son construidos en concreto armado.
- Los planos de los edificios son creados en relación con los planos típicos de la ciudad.
- La tasa de renovación del aire y la temperatura del aire para la calefacción se establecen en función de la categoría del aislamiento.

En fin, el modelo se alimenta por datos meteorológicos estándar para la ciudad estudiada (Osaka).

- *Modelo de evaluación de rendimiento de los sistemas de calefacción y climatización:*

En el caso de la climatización, el coeficiente de rendimiento (COP) se estima en función de la temperatura exterior y de las características del compresor. El modelo se apoya sobre el método de cálculo del coeficiente de eficiencia energética estacionaria (SEER) para los sistemas de climatización de la Asociación de Industrias de Refrigeración y Aire Acondicionado de Japón (JRAIA) (Shimoda et al, 2007).

La precisión del modelo es validada gracias a los resultados estadísticos suministrados por las empresas de servicio público y los datos medidos sobre Osaka. Los resultados de la simulación para la climatización han sido comparados con los resultados de JRAIA (Air Conditioning Industry Association). Las diferencias son significativas pero justificadas,

según los autores, por la diferencia de parámetros tomados en cuenta en los dos métodos.

Ciertas incertidumbres persisten en el modelo, por ejemplo, se constata alta coherencia entre los resultados obtenidos y los datos estadísticos, pero un gran desacuerdo con los datos medidos sobre Osaka. Por otro lado, el modelo no toma en cuenta el efecto de las sombras, la posición de los espacios en los apartamentos y la orientación de los edificios ya que utiliza fuentes estadísticas. La integración de estos parámetros toma demasiado tiempo y requiere de un trabajo informático de ingreso de datos importante.

De acuerdo con los autores, el modelo puede ser aplicado en diferentes condiciones y diferentes lugares de Japón. No obstante, se verifica que ciertos datos de Osaka están alejados de la media nacional, y por esta razón existen dudas sobre las reales posibilidades de transposición del modelo.

Para concluir, el modelo permite el cálculo del consumo energético expresado en consumo de energía primaria y permite obtener la cantidad de energía economizada propia a

cada acción. Además, en el futuro éste podría ser utilizado para predecir el impacto del cambio climático sobre las medidas tomadas a favor de la eficiencia energética. (Shimoda et al, 2007).

Este modelo retoma la metodología que se ha visto en los otros modelos, su forma es interesante dado que aborda la interacción entre el consumo de energía y el comportamiento de los ocupantes.

El Método Adequa

El método ADEQUA tiene por objetivo presentar una metodología de ayuda a la decisión aplicable a las operaciones de gestión para el desarrollo sostenible, permitiendo además comparar diferentes alternativas para generar un proyecto de construcción o de renovación.

El método se orienta a desarrollar un útil de análisis del ciclo de vida (ACV) comprendiendo diferentes tipos de edificios y teniendo en cuenta la infraestructura de acceso, redes y equipamiento colectivo en todas las etapas de funcionamiento (Cherqui, Popovici y Peupor-

tier, 2006). ADEQUA ha sido concebida para responder a ciertos objetivos basados en el modelo PSR¹⁴. Estos objetivos son desarrollados en detalle por Cherqui (2005):

- Preservar los recursos.
- Preservar los ecosistemas.
- Mejorar la calidad de los ambientes.
- Preservar la salud y disminuir los riesgos.

El modelo de barrio desarrollado en ADEQUA se estructura según una aproximación ascendente «orientada a objetos». De esta manera, se tiene una clase (elemento general denominado «clase madre») con unos atributos como nombre, una unidad y unos datos ambientales. Además, existen unas «clases hijas» que heredan las características de la clase «elemento» pero con al menos una característica diferente (Popovici, 2006).

¹⁴ El modelo PSR (Presión - Estado - Respuesta) es un modelo desarrollado por OCDE que identifica indicadores para definir la relación entre las causas y los efectos de las acciones del hombre sobre el medio ambiente.

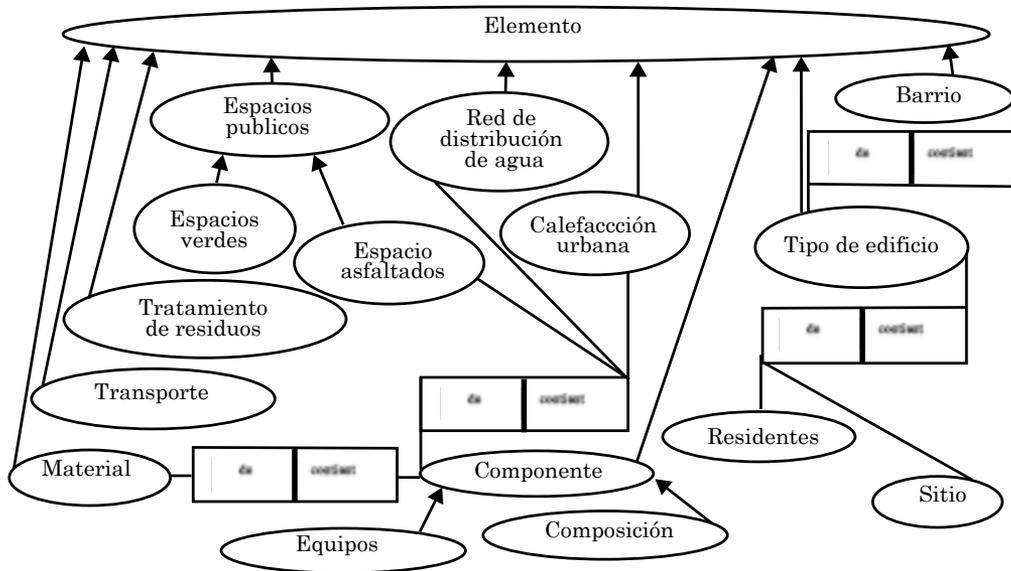


Figura 8. Modelo de barrio para ADEQUA

(Popovici, 2006).

Este modelo de barrio tiene fronteras definidas:

- Frontera física: edificios, calles, espacios verdes, etc.
- Fronteras de flujo: hacia arriba, procedimientos como la producción de energía; y hacia abajo, como la gestión de desechos.

Una vez se tienen definidos el barrio y sus límites, ADEQUA permite desarrollar el análisis y evaluación de varios parámetros. En primer lugar, el rendimiento de la red de suministro de agua potable se evalúa teniendo en cuenta las pérdidas debidas a fugas. En segundo lugar, el transporte es considerado en términos de recorrido, modo, distancia y cantidad de pasajeros. El funcionamiento del edificio es importante ya que los sistemas de calefacción, climatización, ECS, agua fría, iluminación y de ventilación son fundamentales para la estimación del consumo de energía. Asimismo, la limpieza, riego e iluminación de espacios exteriores tanto como la gestión de desechos son aspectos tratados por el método.

El modelo informático consiste en un acoplamiento de varios útiles o softwares y de una cadena de datos entre ellos. Estos softwares son:

- **ALCYONE:** se utiliza para generar los datos arquitecturales y la modelización 2D y 3D.
- **COMFIE:** Efectúa la simulación y calcula las necesidades de energía para las diferentes zonas térmicas del edificio.
- **EQUER:** Evalúa los impactos ambientales del edificio.

- ARIADNE: Evalúa los impactos ambientales a la escala de barrio.

Para la puesta en marcha del método se requiere definir el tipo de edificio. ALCYONE describe el edificio piso por piso según la utilización del espacio, las características arquitecturales y la orientación. En seguida, el edificio es dividido en diversas zonas con características térmicas similares. La información se importa hacia COMFIE que se encarga de hacer la evaluación del consumo energético para las diversas alternativas de manejo.

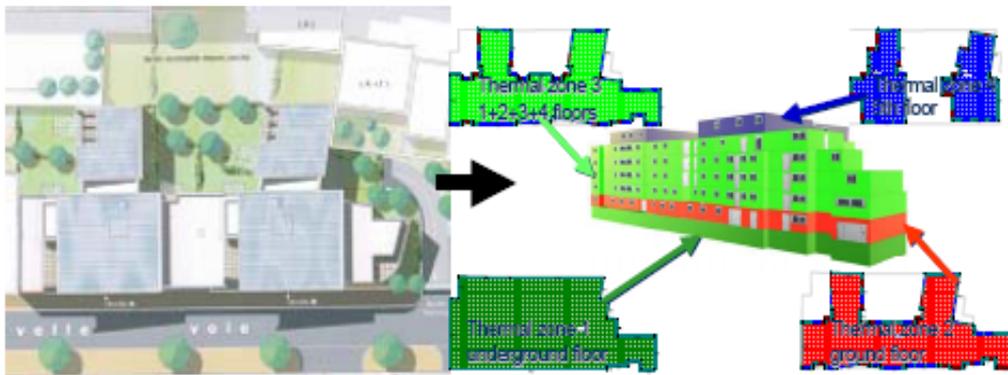


Figura 9. Captura de ALCYONE hacia COMFIE. Ejemplo tomado del proyecto Garibaldi en Montreuil, Francia

(Popovici, 2006).

Esta información se lleva hacia EQUER, el cual se encarga de la evaluación de los impactos ambientales por cada alternativa. Luego, los datos se importan a la clase «tipo de edificio» de ARIADNA. De este modo, se describen los otros componentes para definir el eco-perfil del barrio. Finalmente, teniendo el eco-perfil de cada alternativa se emplean mecanismos de comparación para tomar la decisión más acorde con los principios del desarrollo sostenible.

Los datos demandados por el útil hacen referencia a la geometría, los materiales, las especificaciones de acristalamiento y las características de los envolventes. Es importante tener datos meteorológicos horarios, datos sobre ventilación, del escenario de ocupación de los residentes, los aportes térmicos internos de la iluminación y los aparatos electrodomésticos, de las características de las máscaras lejanas y el valor «U» de los materiales.

El método ha sido probado en dos barrios de Francia y Noruega. El caso de Francia corresponde a un barrio en la ciudad de Montreuil en la región parisina. Comprende 42 alojamientos HLM de una superficie total de 3500 m². El proyecto está orientado más

a la aplicación de principios del desarrollo sostenible que hacia la evaluación de consumo energético.

Suntool: Herramienta de Simulación para un Barrio Urbano Sustentable

SUNtool es un proyecto reciente (2006) desarrollado por un conjunto de países europeos: Reino Unido, República Checa, Francia, Finlandia y Grecia. El objetivo del modelo es ayudar a la gestión sostenible de los barrios a través de la evaluación de la demanda de energía, el consumo de agua y la producción de desechos. Específicamente el proyecto se orienta a (BDSP, 2004):

- Predecir el perfil de demanda de energía térmica y eléctrica.
- Permitir a los planificadores concebir una configuración espacial óptima.
- Prever el aprovisionamiento de energía térmica y eléctrica proveniente de paneles fotovoltaicos, calentadores solares, equipamientos eólicos, etc.

- Predecir la producción de desechos y de basuras domésticas.
- Estimar el perfil de demanda de consumo de agua.
- Prever las reservas de agua provenientes del reciclaje y del agua pluvial.
- Prever el suministro de energía térmica y eléctrica debida a la cogeneración.
- Producir indicadores simplificados de resultados energéticos, económicos y de las emisiones para optimizar los perfiles de demanda.

Se trata de un software capaz de dar una visión del contexto integrando aspectos como el microclima, el consumo de energía, las fuentes y los sistemas de HVAC y, finalmente, el comportamiento de los usuarios. SUNtool contiene cuatro sub-modelos permitiendo el estudio de las variables de manera separada o en conjunto en función de la complejidad del problema a tratar (Robinson et al, 2006). Estos cuatro modelos son:

- Modelo microclimático
- Modelo térmico
- Modelo estocástico
- Modelo de fuentes de producción de energía

Los datos necesarios son los siguientes:

- La localización y los parámetros climáticos del sitio.
- La geometría y las dimensiones del edificio.
- Los elementos determinantes de las características térmicas del edificio: edad, materiales, valor U, acristalamiento, masa térmica, etc.
- La descripción de los sistemas de calefacción, ventilación y climatización.
- Las informaciones relativas a los ocupantes, principalmente en lo que concierne a las actividades que tienen incidencia sobre el consumo energético del edificio.

Una importante cantidad de datos se obtiene a partir de las bases de datos nacionales y son establecidas por defecto. De este modo, las incertidumbres e hipótesis se ubican sobre datos como: el perfil de la ocupación, las propiedades del edificio (estructura y construcción), las ganancias solares, la edad (informa sobre las características de los elementos de construcción) y los sistemas de calefacción, climatización y ventilación.

SUNtool ha sido aplicado a varios proyectos en diferentes ciudades como Atenas, Lausanne, Praga y Londres. En el caso de Atenas, el objetivo fue estudiar la influencia de la relación *superficie acristalada/superficie total de paredes* y la proporción de las calles (altura/ancho entre edificios) sobre el consumo de energía. Por esta razón, los autores han modelizado un barrio con edificios de diferentes relaciones de acristalamiento y dimensiones de calles. Los resultados muestran efectivamente la influencia de estos factores sobre el consumo y sugiere una proporción de acristalamiento de alrededor de un 30% en una calle de relación $H/L = 1$. Los resultados se utilizan para lograr una mejor concepción y también para identificar las mejores disposiciones, formas, orientación, estructuras y fachadas.

Conclusión

Acabamos de describir diversos modelos orientados a la evaluación del consumo de energía. Se destaca que varios elementos característicos se repiten en todos los modelos.

Para empezar, persiste en todos los modelos la intención de reducir el consumo energético y las emisiones de CO₂. Partiendo de ese gran objetivo cada modelo despliega sus prioridades a tratar, identificándose bien sea por sus objetivos específicos, escala de trabajo o sector de aplicación. De acuerdo con esto se distinguen dos enfoques:

- Los que se aplican a la escala nacional, evalúan la eficiencia de las políticas y medidas gubernamentales. Es el caso del EEP y del modelo japonés.
- Los que se orientan a la ayuda a la decisión para la gestión sostenible de los barrios. Evalúan diferentes alternativas de diseño y la integración de energías renovables en los proyectos. A este tipo corresponden SUNtool, SEP y ADEQUA.

Se verifica que los modelos pertenecientes al primer tipo, presentan una escala de aplicación amplia, abarcando el nivel de ciudad. Mientras que los otros abordan escalas limitadas entre un conjunto de edificios hasta el barrio.

Del mismo modo, el sector de análisis puede ser amplio o limitado, así, algunos modelos se interesan solo por el sector residencial; en contraparte, otros modelos desarrollan metodologías que permiten estudiar todos los sectores de manera separada o combinándolos.

Sin embargo, la diferencia más destacada entre los modelos estudiados se encuentra en las bases de datos utilizadas y la forma de establecer las tipologías de edificios. Los datos disponibles determinan las tipologías posibles. Además, según Steadman et al (1994), la clasificación de los edificios es siempre influenciada por los propósitos esperados. Se puede tener múltiples atributos para definir un edificio que no son del todo interesantes desde el punto de vista de los objetivos.

A través del estudio se pudo comprobar que los modelos se fundamentan en la combinación de métodos físicos y estadísticos. Por un lado, los modelos físicos acarrearán una complejidad en su puesta en marcha que se amplía en tanto se agranda su escala de aplicación. Por otro lado, una metodología completamente estadística no garantiza la precisión que se requiere. En consecuencia, cuando se trata de los aspectos térmicos y microclimáticos se acude a métodos físicos, mientras que para los aspectos estocásticos, relacionados con el comportamiento de los ocupantes, se recurre a los métodos estadísticos.

Todos los modelos abordan cuatro temas: el microclima, las características térmicas, el comportamiento de los ocupantes y las fuentes de energía. Estos temas son definidos como sub-modelos, lo que permite diferenciar la metodología de evaluación a utilizar (física o estadística) según las necesidades.

Finalmente, el éxito de estos modelos depende de varios factores, quizá el más importante hace referencia a los datos de entrada y las fuentes de información. Es evidente que la preocupación de los desarrolladores de los modelos sigue siendo cómo obtener de manera rápida, simple y económica la mayor cantidad de datos y que estos puedan ser aplicables a entornos diferentes. Como consecuencia persisten problemas en la transposición y la precisión de los resultados y los consecuentes sobrecostos del proyecto. El desarrollo de este tipo de metodologías es aún reciente pero es un camino urgente y necesario para el futuro de nuestras ciudades.

CAPÍTULO II

SUNTOOL: UN ÚTIL PARA UN DESARROLLO URBANO SOSTENIBLE

En el capítulo anterior se han estudiado un conjunto de modelos a partir de los cuales se han identificado los parámetros fundamentales para la evaluación del consumo energético y las emisiones de CO₂.

Este capítulo se dedicará a presentar los detalles de uno de esos modelos: SUNtool. Se explicarán tanto los datos de entrada como el método de cálculo del modelo. Lo que aquí se detalla se basa en la documentación y experimentación directa del software.

Presentación del Modelo

SUNtool es un útil de modelización de flujo de recursos en términos de energía, agua y desechos en el contexto de un barrio urbano. Es una herramienta de ayuda para la decisión destinado a los planificadores urbanos.

SUNtool se desarrolla a través de etapas sucesivas. En un primer momento, se selecciona o se crea la ciudad sobre la cual se realizará el análisis. Se asigna su localización, consistente en datos de latitud, longitud y huso horario. A continuación se ingresan los datos relacionados con el clima.

En un segundo momento, se realiza la descripción de la geometría del proyecto con la ayuda de un útil de dibujo 3D o 2D integrado en SUNtool. Este útil permite construir geometrías sencillas así como importar archivos con formato .DXF y .JPG. Se puede trabajar en diferentes capas (*layers*), por lo que es posible superponer proyectos, por ejemplo, superponer un proyecto de «barrio existente» con un «barrio nuevo» en capas separadas para analizar las posibilidades de integración de ambos.

La tercera etapa consiste en la definición del sistema; en este momento es preciso introducir ciertos datos. El software suministra una serie de *datos por defecto (default)* con los cuales es posible trabajar, sin embargo, casi siempre es necesario ingresar información específica sobre el proyecto; esto se efectúa a través del editor *iDefault* o directamente sobre la ventana de modelización.

Cumplidas estas etapas, es decir, definida la geometría y las características del proyecto, se procede a lanzar las simulaciones, pero antes se debe elegir entre tres niveles de simulación diferentes de acuerdo con el nivel de complejidad requerido y los resultados esperados.

Free float simula el comportamiento térmico de los edificios en función de las ganancias solares, la iluminación y la ocupación del edificio.

El segundo nivel de simulación toma en cuenta los sistemas de calefacción y climatización dando como resultado el consumo energético de esas actividades.

El tercer nivel, es el más complejo y completo, ya que suministra, además de las informaciones reveladas por los otros niveles, los valores de emisiones de CO₂ fundamentado en la definición de los sistemas de producción de energía (fotovoltaica, etc.)

Finalmente, los resultados se obtienen en forma de resumen para todo el proyecto y para cada edificio que lo conforma. SUNtool muestra resultados horarios, diarios, mensuales y anuales mediante gráficas e imágenes 3D a color cuando se trata de la radiación, iluminación, calefacción y la climatización.

Los Datos de Entrada

El funcionamiento de SUNtool depende de una información específica que a su vez corresponde a sus diversos sub-modelos, es decir, información sobre el microclima, el comportamiento térmico, el comportamiento de los ocupantes y los sistemas y fuentes de producción de energía.

Cierta información, como los datos meteorológicos, pueden ser extraídos de bases de da-

tos externas; en otros casos, se pueden obtener los datos a partir de la base de datos interna (datos por default) suministrada por el software. Se puede, además, constituir una base de datos particular para su reutilización después de cada proyecto.

- *Bases de datos externas: Meteo*

Para efectuar la modelización se necesita toda la información relacionada con el clima del sitio de estudio. SUNtool dispone de datos climáticos en formato CLI (*Climate Input File*) de ciudades como Londres, Ginebra, Atenas, Praga y París. Así, se encuentran datos horarios de un año (8760 datos por cada parámetro) sobre la latitud, longitud, huso horario, radiación global horizontal (W/m^2), radiación difusa (W/m^2), temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), dirección del viento (grados norte) y las precipitaciones.

Cuando se trata de ciudades por fuera de las aquí mencionadas, es necesario ingresar los nuevos datos obteniéndolos de bases de datos externas. Es imprescindible que estos datos estén dispuestos en formato CLI o EPW.

Así mismo, SUNTool propone una base de datos externa: *EnergyPlus Weather* (EPW)¹⁵. Esta base de datos ha sido desarrollada por el Departamento de Energía de los Estados Unidos específicamente para su utilización en el software ENERGYPLUS (*Energy Simulation Software*) y ESP-r, para el Reino Unido (Crawley Hand y Lawrie, 1999).

En esta base de datos se encuentran datos climáticos de un gran número de ciudades en todos los continentes en formato EPW y en las unidades del Sistema Internacional (SI).

Otra fuente de información, por ejemplo para Francia es *IWEC-International Weather for Energy Calculations*, utilizando las condiciones del *Climate Design Data 2005 ASHRAE Handbook*¹⁶. Para SUNtool los parámetros fundamentales son los concernientes a la radiación, la temperatura, la humedad, el viento y las precipitaciones.

¹⁵ Más información: www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm

¹⁶ Más información : <http://www.ashrae.org>

- *Base de datos interna:*
Datos por default o estándar

Como hemos visto, SUNtool contiene una serie de datos por default de los países partidarios del proyecto. Estos datos permiten conocer las características térmicas de un edificio en relación con las normas de cada país y el año de construcción. Debido a esto, el modelo atribuye datos por defecto, tales como:

- El coeficiente « U » ($\text{W/m}^2\text{K}$) para las paredes de fachada y tabiques, cubiertas planas o en pendiente, losa intermedia y suelo. Los materiales de construcción y de espesores para cada elemento.
- El material del aislamiento, la localización del aislante y el porcentaje de reflexión solar (*solar reflectance*).
- El tipo de ventana y acristalamiento (simple, doble, triple, etc.), el material, el coeficiente « U », la transmisividad (τ) y el coeficiente de ganancias de calor solar « g » (*Solar Heat Gain Coefficient – SHGC*).
- Tipos de persianas, material, transmisividad (τ) y valor -g.

- Albedo para las paredes, los tabiques, la cubierta y el suelo.
- Tipo y número de alojamientos, superficie neta y el número de habitantes.

Este modelo propone datos relacionados con el perfil de ocupación de los edificios. Estos datos son construidos a partir de las estadísticas nacionales y tienen en cuenta las diferencias estacionales del año, los periodos de vacaciones, los días de trabajo y los fines de semana. Además, se puede encontrar información sobre ciertos sistemas y fuentes de energía, entre ellas la fotovoltaica, la eólica y los colectores solares. Por otro lado, también presenta datos estadísticos nacionales relacionados con la cantidad de desechos y basuras producidas por persona en el año (kg/año. persona) según el tipo de desecho (papel, metal, plástico, etc.).

La base de datos interna no puede ser modificada; en caso de que la información por default no corresponda a las características del proyecto, es necesario alimentar el software con la nueva información en la «base de datos del usuario».

- *Base de datos del usuario*
(*Company y Project*)

Mucha de la información de la base de datos interna puede ser modificada para definir las características particulares de un proyecto. SUNtool dispone de una base de datos que es manipulada y construida directamente por el usuario, agregando o modificando datos por default de la base de datos interna.

Los principales datos que el usuario debe suministrar son:

- Localización: longitud y latitud, urbana, rural, semi-urbana, orientación.
- Geometría del proyecto: dimensiones, formas, altura, número de pisos.
- Año de construcción.
- Porcentaje de superficie acristalada (%).
- Tipo y localización de los sistemas fotovoltaicos y colectores solares.

Principios y Métodos de Cálculo

En los apartados precedentes se ha mencionado el interés de establecer ciertos sub-modelos para el análisis energético a la escala de barrio o fragmento urbano. Para SUNtool esos sub-modelos son:

Submodelo microclimático:

Es un modelo higrodinámico que permite abordar la relación entre la forma urbana y el microclima. Se basa en el análisis de la incidencia solar, la influencia de las obstrucciones, las sombras y los intercambios radioactivos a nivel de envoltura. Para esto, SUNtool utiliza un sub-modelo simplificado de radiación.

Entre los objetivos iniciales de SUNtool, se contempla la inclusión del fenómeno de *Isla de calor* en el análisis. Sin embargo, de acuerdo con los propios autores (Robinson et al, 2006) este propósito no ha sido logrado, por lo tanto, el modelo no incluye un sub-modelo para la predicción de la temperatura local.

- *El algoritmo de radiación*
(Robinson y Stone, 2005):

El modelo usa el algoritmo SRA (Simplified Radiosity Algorithm); el objetivo de este algoritmo es modelizar los intercambios por radiación (solar e iluminación interior) teniendo en cuenta las transferencias de corta y larga longitud de onda.

El método consiste en:

- Calcular intercambios de radiación de corta y larga longitud de onda. Se calcula en forma separada la radiación recibida por cada superficie proveniente del sol o de la bóveda celeste. Las ecuaciones definidas son:

a. Irradiancia directa del cielo

$$I_{d\beta} \text{ (W.m}^{-2}\text{)} = I_{d\beta} = \sum_{i=1}^p (R\Phi\sigma\cos \xi)_i$$

donde:

p : superficie del cielo

Φ : ángulo sólido (Sr)

ξ : ángulo de incidencia (rad)

R : radiancia (w/m².Sr⁻¹)

σ : factor de vista del cielo

b. Radiancia directa del cielo

$$- R_i(\text{W/M}^2 \cdot \text{SR}^{-1}) =$$

$$R_i = l v_i I_{dh} / \sum_{i=1}^p (l v \Phi \sin \bar{\gamma})_i$$

Con:

$l v$: luminancia relativa ($\text{lm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Sr}^{-1}$)

γ : altitud (rad)

c. Irradiancia de las obstrucciones

$$- I_{p\beta} (\text{w} \cdot \text{m}^{-2}) = I_{p\beta} = \sum_{i=1}^{2p} (R^* \Phi \omega \cos \bar{\xi})_i$$

donde:

ω : factor de vista de las obstrucciones

- Calcular la cantidad de luz reflejada interiormente para cada espacio:

a. Iluminación proveniente del cielo

$$- E_s (\text{l} \cdot \text{m} / \text{m}^{-2}) = E_s = \sum_{i=1}^p (L \Phi \sigma \tau \cos \bar{\xi})_i$$

donde:

L : luminancia ($\text{cd} / \text{m}^{-2}$)

τ : transmisividad

b. Iluminación obstrucciones

$$- E_o \text{ (l.m/ m}^{-2}\text{)} = E_o = \sum_{i=1}^{2p} (L^* \Phi \omega \tau \cos \xi)_j$$

Con:

ω : factor de vista de las obstrucciones

- Calcular la radiación de grandes longitudes de onda. Se requiere conocer las temperaturas de cada superficie externa.

a. Irradiancia IL (W): $I_L = \varepsilon A \theta (T^{*4} - T_s^4)$

donde:

ε : emisividad

A: aire

θ : constante de Stefan- Boltzmann

T^* : temperatura más factor de vista

s : superficie

b. Temperatura efectiva $T^*(^{\circ}\text{K})=$

$$T^{*4} = \frac{1}{\pi} \left(T_{sky}^4 \sum_{i=1}^{145} (\Phi_o \cos \xi)_i + \sum_{j=1}^{290} (\Phi \omega \cos \xi T^4)_j \right)$$

Esta serie de ecuaciones simultáneas se calculan de manera iterativa en forma de matriz. Se muestran los resultados como imágenes 3D con diferentes colores.

Submodelo térmico

El modelo térmico se basa en la aproximación de la «caja negra» desarrollado por Déqué (2000). Este método consiste en una combinación de modelos físicos con un procedimiento de identificación matemática utilizado para la representación de la envoltura del edificio a partir de una cantidad limitada de parámetros para cada zona térmica (Déqué et al, 2000).

En primer lugar, se utiliza un modelo físico para obtener la caracterización del edificio. Este modelo físico de la envoltura del edificio denominado «caja blanca» se expresa bajo la forma de una ecuación de estado. De este modo se tiene (Robinson et al, 2006):

a. Equilibrio energético de la envoltura del edificio (modelo físico):

$$\rho V C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \sum_{i=1}^n \varphi_i$$

donde:

$\rho V C_p$: capacidad térmica

T : temperatura interior.

φ_i : flujo de energía o ganancia interna.

b. Ecuación de estado:

$$T - AT + BI$$

$$T_{air} = CT$$

donde:

T : vector de estado

T' : dT/dt

T_{air} : temperatura zona interna

I : vector interno

A : matriz de estado

B : matriz de orden

C : matriz de observación

Este modelo físico se reduce utilizando el algoritmo de Moore, el cual separa una parte del modelo y conserva los parámetros considerados como dominantes, reteniendo los estados más observables y los más controlables del sistema representados por matrices de observabilidad y controlabilidad. Esto significa, que solo los elementos más fáciles a estimular, así como aquellos que mayor incidencia tienen sobre los resultados, se conservan para construir el modelo reducido llamado «caja negra».

El resultado es un modelo dinámico de segundo orden que reproduce el modelo físico en estado transitorio y estacionario. Por lo tanto, los parámetros de este modelo no tienen un significado físico.

En segundo lugar, el objetivo es la conexión del modelo físico y el modelo reducido a través de los principales parámetros geométricos y térmicos. En este caso, es necesario convertir la ecuación de estado en una representación de funciones de transmisión, en la cual los datos de entrada para T_{air} son la potencia de climatización y calefacción, la temperatura exterior, el flujo solar transmitido y el absorbido. Cada dato de entrada se expresa separadamente para una función de transmisión (Robinson et al, 2006):

c. Ecuación de transmisión:

$$T_{air}(p) = \sum_{i=1}^4 Fi(p) \times Ii(p)$$

donde:

$T_{air}(p)$: T_{air} resultante

$Fi(p)$: función de transmisión de segundo orden

$Ii(p)$: datos de entrada del modelo

Los parámetros que permiten establecer la correlación entre los estados estacionarios y los transitorios de los dos modelos son las ganancias estáticas y los tiempos constantes. Los resultados se usan para la predicción y corrección de las demandas de energía.

Las ventajas de la utilización de este método de caja gris son:

- El número limitado de datos de entrada
- El número reducido de ecuaciones en la fase de simulación
- La flexibilidad, ya que es posible combinarlo con métodos físicos

Sin embargo, este modelo tiene limitaciones e inconvenientes, por ejemplo, el modelo solo describe los flujos de calor y la temperatura; es necesario tener varios modelos de envoltura de edificios dependiendo de la categoría del edificio. Por otra parte, la validación del modelo utilizando The Bestest Methodology ha dado resultados positivos (Déqué, 2000).

Submodelo estocástico

La actividad humana en los edificios acarrea ciertos impactos sobre el microclima interior y, evidentemente, sobre las demandas de energía. Estas interacciones son consideradas procesos estocásticos toda vez que no son siempre previsibles. Por lo tanto, para lograr una correcta evaluación energética es preciso integrar la simulación del comportamiento de los ocupantes y de otras interacciones que puedan ocurrir en el edificio.

Para este fin, SUNtool hace uso de los siguientes métodos:

- *Presencia de los ocupantes*
(Page et al, 2007):

Existe sobre todo la necesidad de establecer las hipótesis más acertadas y apoyarse en ellas. La probabilidad de ocupación al paso del tiempo se determina gracias a la teoría de cadenas de Markov¹⁷ utilizando los perfiles de ocupación para cada cuarto de hora del día y los resultados del estado del tiempo precedente ponderados por un parámetro de «movilidad».

¹⁷ Una cadena de Markov es un proceso estocástico que posee la propiedad markoviana. En un proceso de este tipo, la predicción del futuro a partir del presente no necesita del conocimiento del pasado.

La probabilidad de largas ausencias se asigna en caso de edificaciones o espacios dedicados a oficinas. La duración se establece al azar de acuerdo con una probabilidad acumulativa de distribución establecida por el usuario. Finalmente, los resultados son agrupados con los de otros modelos para producir las cargas horarias que analizará el modelo térmico.

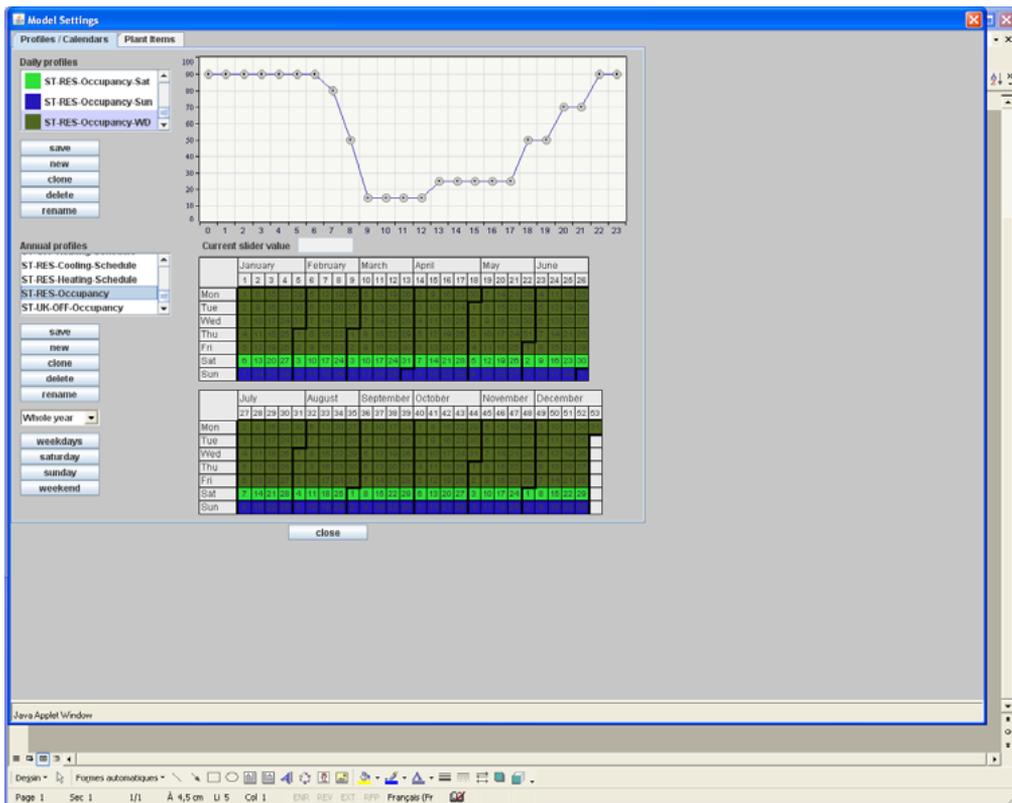


Figura 10. Imagen de la toma de datos del modelo estocástico; perfil de ocupación en días de semana.

- *Apertura de ventanas*
(Robinson et al, 2006)

Este modelo relaciona el estimulante interior con la probabilidad de interacciones, con lo que se pretende predecir la probabilidad de interacción y sus consecuencias. Los estimulantes de los cuales se habla son la temperatura interior y la concentración de contaminantes. La hipótesis establecida es que «se abren la ventanas para dispersar la polución y para introducir aire fresco».

La concentración interior de contaminantes se determina a partir del modelo de confort de Fanger (1998). Al invertir la ecuación de Fanger se logra relacionar el PPI (Porcentaje previsible de insatisfacción) con la concentración interior de contaminantes. A partir del PPI limitante seleccionado aleatoriamente, es posible determinar la concentración crítica personal de contaminantes (C^*). Las interacciones tienen lugar si la concentración interior calculada (C_i) sobrepasa la concentración crítica (C^*).

La Norma ISO7730¹⁸ se utiliza para determinar la temperatura del aire correspondiente al PMV (Voto medio estimado): 2 caluroso y -2 frío. A continuación, se define un aumento de la temperatura ΔT a partir de una distribución normal de media = 0 y una desviación estándar de 2°C. Después, se calculan nuevos límites críticos personales con este componente aleatorio. Los resultados se comparan con las temperaturas actuales:

- Si $T < T_{\text{cold}}$: las ventanas deberían estar abiertas.
- Si $T > T_{\text{hot}}$: las ventanas deberían estar cerradas.

La consecuencia de las interacciones es que la apertura de una ventana incita al cálculo determinista de la tasa de ventilación. Con el modelo térmico se obtiene la temperatura interior para un periodo de 5 minutos, y finalmente, este proceso se repite para determinar el volumen promedio del movimiento del aire (mean volume flow rate) debido a los cambios de estatus de las aperturas de ventanas y a la flotabilidad de la presión interna.

¹⁸ Norma ISO 7730: Ergonomía de Ambientes Térmicos – Ambientes térmicos moderados. Determinación de los índices PMV y PPD y especificaciones de las condiciones para el bienestar térmico. (ISO 7730:1994).

- *Iluminación artificial*

Se basa en un algoritmo de simulación desarrollado por Christoph Reinhart (2004). El objetivo de este modelo es la predicción de las performances de los sistemas de iluminación y persianas eléctricas controladas de forma manual o automática. El algoritmo parte del perfil de ocupación de cuatro tipos de usuarios y de la iluminación en combinación con algoritmos de probabilidad de conmutación (switching).

- *Los aparatos electrodomésticos y de consumo de agua (Robinson et al, 2006)*

Los aparatos electrodomésticos por zonas en el edificio son clasificados según cuatro categorías:

- a. Aplicaciones independientes de la ocupación: refrigerador.
- b. Aplicaciones puestas en funcionamiento por al menos un usuario pero programadas para apagarse después de cierto tiempo independiente de la presencia del usuario: lavadora.
- c. Aplicaciones dependientes de la ocupación: televisor.

d. Aplicaciones de uso ocasional y de bajo consumo.

El solver verifica la categoría a la que pertenece cada aparato o aplicación y determina enseguida el estado «encendido» o «apagado» de acuerdo con ciertas hipótesis. Además, calcula el consumo de agua y la potencia de los aparatos. Este método ha sido validado con datos suministrados por LESO - PB Buildings de Suiza y por datos tomados en apartamentos individuales.

- *Desechos (Robinson et al, 2006)*

La producción semanal de desechos se define como:

$$w_k = w_{tot} \times p_k \times 7/365 \times occ_{av}$$

donde:

w_{tot} : producción total de desechos

p_k : proporción de un tipo de desechos derivado de las estadísticas de la región estudiada

occ_{av} : promedio de ocupantes durante la semana

Se añade un componente aleatorio correspondiente a la tasa de producción:

$$w_k' = w_k \times (1 + \Delta w)$$

donde:

Δw : variación normal teniendo una media = 0 y una desviación estándar = 0.5.

Modelo de fuentes de producción de energía

Este submodelo permite determinar los centros de producción de energía y las fuentes de los sistemas HVAC. Estos submodelos pueden estar integrados al edificio o concentrados en un centro de producción común para el barrio (*district centres*). Para esta última configuración, el submodelo toma en cuenta las pérdidas que tienen lugar entre los centros de producción de energía y el edificio.

Dentro de sus posibilidades está la de priorizar las fuentes para cada edificio. Por ejemplo, se puede establecer los sistemas fotovoltaicos como fuente prioritaria y un sistema convencional en segunda opción.

A través de una base de datos integrada al software es posible definir nuevas fuentes y combustibles, simplemente es necesario otorgarle las especificaciones de funcionamiento, como la eficiencia.

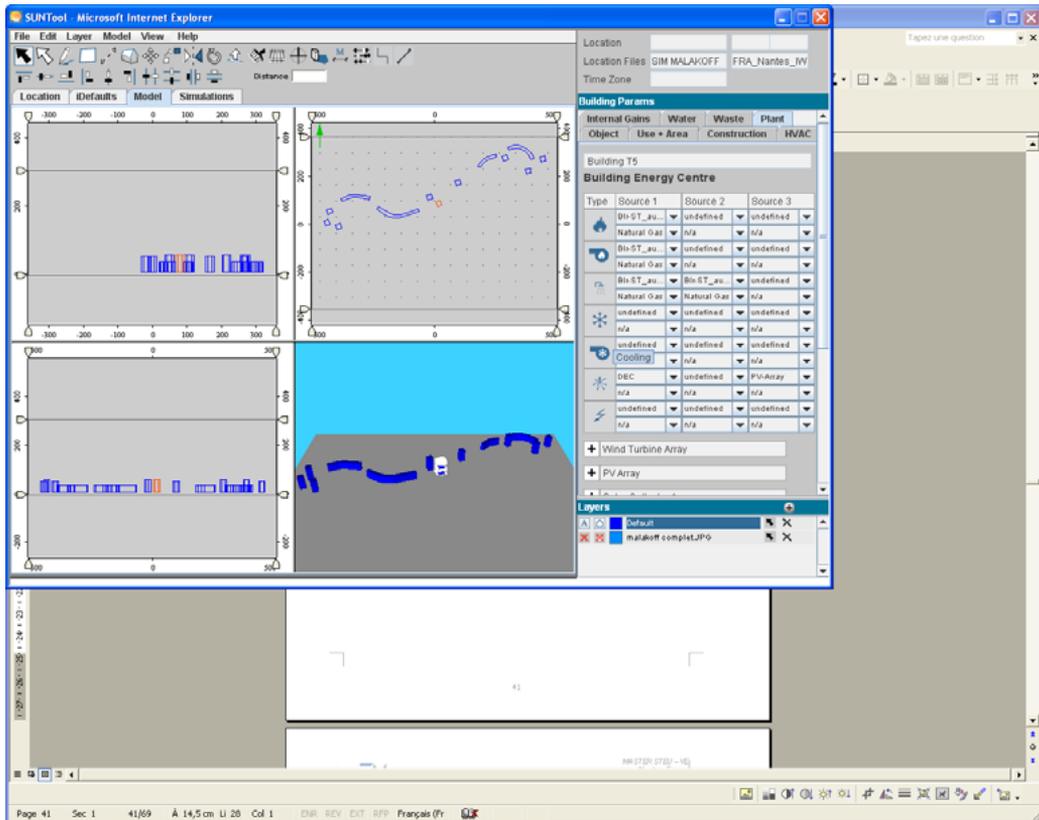


Figura 11. Ventana de definición de centros de producción de energía para un edificio en SUNtool.

Conclusión

En este capítulo se explicaron los principales componentes del modelo SUNtool: datos de entrada y principios y métodos de cálculo.

Referente a los datos de entrada, se puede decir que la información «por default» suministrada en el modelo es confiable, partiendo del hecho de que se apoya en estándares validados en los países partidarios del proyecto. Infortunadamente, para la extrapolación del modelo, esta estandarización no es regular y/o aplicable para todos los países que deseen utilizarla.

En cuanto a la modelización geométrica, SUNTool permite realizar geometrías simples e importar archivos, lo cual facilita la descripción de los edificios, a pesar de que no es comparable con programas especializados para el dibujo, como los de la serie CAD. Toda vez que el objetivo de SUNtool es establecer la mejor alternativa de gestión urbana, la posibilidad de establecer capas o *layers* es una gran ventaja del modelo.

La base de datos Meteo propuesta por el modelo es, además de gratuita, bastante completa, muy útil al momento de implementar proyectos en donde las condiciones de precios de los datos son en ocasiones la principal dificultad.

En cuanto a los principios de cálculo, se resalta que pese a ser una herramienta de fácil manejo, en el fondo se trata de un conjunto complejo de diferentes algoritmos en donde se tiene en cuenta un número nada despreciable de parámetros para obtener una evaluación muy próxima a la realidad.

Los cuatro submodelos principales de SUNtool (microclimático, térmico, estocástico y de fuentes de energía) agrupan los aspectos más relevantes al momento de realizar una evaluación de consumo energético. Es interesante la combinación de modelos físicos o no físicos y la implementación de la aproximación de la caja gris, la cual simplifica el problema de la obtención de datos.

Los procesos estocásticos son usados para tener en cuenta las interacciones entre usuario y edificio. Sin embargo, quedan algunos vacíos en el conjunto de la metodología. Inquieta, por ejemplo, el uso del método Fanger (aplicable solo a situaciones estáticas) y no de otro método que integre las variaciones dinámicas del sujeto.

Se debe destacar que el esfuerzo de abordar una escala urbana tan compleja no facilita la integración de parámetros difícilmente cuantificables como los relacionados con la energía, el ser humano y el medio ambiente. No obstante, SUNtool es un ejemplo que abre la discusión sobre las posibilidades de prever el consumo energético a la escala urbana.

CAPÍTULO III.

APROXIMACIÓN ENERGÉTICA DE UN PARQUE DE ALOJAMIENTO SOCIAL: APLICACIÓN DEL MODELO SUNTOOL SOBRE EL CASO MALAKOFF.

En el capítulo anterior se describió el funcionamiento de SUNtool en términos de datos de entrada y métodos de cálculo.

En el presente capítulo, se realizará la aplicación del modelo en un contexto real: el barrio Malakoff en Nantes sobre el cual se poseen datos de consumo energético que permitirán aproximarnos a una validación o mejor dicho, a la verificación de algunos de los principios del modelo.

Presentación del Barrio Malakoff



Figura 12. Malakoff 2002.

Fuente: Magazin Nantes Passion.

La ZUP¹⁹ de Malakoff se sitúa en la ciudad de Nantes, Francia, en la confluencia de los ríos Erdre y Loire. Limita al norte con una pradera húmeda y grandes equipamientos urbanos como la Estación de Tren Nord, SNCF. La construcción del barrio data del periodo 1967-1972.

¹⁹ ZUP: Zona Urbana de Prioridad.

Este barrio es catalogado como una Zona Urbana Sensible, dispone de 2000 alojamientos de los cuales 1650 son alojamientos sociales distribuidos en 11 torres y 85 barras. En este barrio habitan 4800 personas; el 60% de los alojamientos son destinados a familias numerosas²⁰. La población que habita el barrio se caracteriza por su bajo nivel de formación, pobreza en crecimiento y una alta tasa de desempleo (41,0 %) [INSEE, 2001]; por otro lado, como ya se mencionó, las familias son numerosas y en su mayoría provienen de otros países, es decir, son inmigrantes.

Malakoff ha sido beneficiado por el programa *Gran Proyecto de Ciudad, Malakoff – pré Gauchet*. De este modo, el barrio se ha sometido a un proceso de renovación urbana, el cual comprende la restructuración de los equipamientos y espacios públicos, la construcción y rehabilitación de los alojamientos, la integración a la trama urbana y el fortalecimiento de la integración social de Malakoff.

²⁰ Ver : <http://www.paysages-enchantier.com/modele/territoire.htm>



Figura 13. Malakoff Aval:
edificios sin intervención en el año 2007.

Fuente: Archivo personal de la autora.



Figura 14. Malakoff Amont:
edificios renovados. Año 2007.

Fuente: Archivo personal de la autora.

Aplicación del Modelo

La selección del barrio Malakoff para realizar la aplicación de SUNtool se justifica porque representa un proyecto importante para la ciudad, por tanto, numerosos estudios se han desarrollado en él, lo que garantiza la obtención de los datos de entrada. De tal forma, se tiene la información necesaria para verificar los resultados obtenidos del modelo. Los datos que se tienen corresponden principalmente a las lecturas de consumo energético sobre varios años y las características de construcción o renovación de los edificios.

Definición de la Situación de Referencia: Datos de Entrada y las Hipótesis del Caso Malakoff

Dado que no se posee la totalidad de los datos de entrada para la simulación, no se tiene una situación idéntica entre las simulaciones con SUNtool y los resultados salidos de los estudios energéticos elaborados *in situ*. En consecuencia, se debe crear una situación de refe-

rencia lo más próxima que se pueda a partir de la información disponible sobre consumo de energía, complementando aquellos datos que no se tienen para realizar un análisis de sensibilidad.

A continuación se verificarán los datos de los que se dispone; luego, se reconstruirán los datos faltantes para, finalmente, llegar a la definición de la situación de referencia.

Verificación de datos meteorológicos

Como se mencionó en el capítulo anterior, SUN-tool suministra datos meteorológicos desde su base de datos externa, para el caso de Francia; estos datos provienen de *IWEC-International Weather for Energy Calculations*. Utilizando esta información se asignaron aquellos datos correspondientes a la ciudad de Nantes y se verificará a continuación su correlación con la realidad.

En primer lugar, al analizar el archivo EPW²¹ de la ciudad de Nantes, se encon-

²¹ Los datos suministrados por IWEC en Energyplus se explicaron en el capítulo II.

traron datos para las 8760 horas del año correspondientes a la reconstrucción de un año típico, el cual representa el comportamiento climático normal de la ciudad. El año típico determinado por IWEC para Nantes comprende los datos horarios de los siguientes años:

Tabla 2. Reconstrucción del año típico según IWEC para Nantes.

Enero	Febrero	Marzo	Abril- mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	octubre	Nov. - dic.
1986	1985	1992	1995	1999	1997	1984	1983	1996	1987

Una vez identificados los datos, periodos y unidades se procedió a la búsqueda de la información de referencia para realizar la verificación y comparación de la información. Esta información se obtuvo de Météo France:

- Datos diarios, cada tres horas de precipitación (mm), temperatura (°C), velocidad el viento (m/s), dirección del viento (grados), humedad (%) y radiación global (J/cm²) para el día 1 de enero de 1986.

- Media mensual de temperatura mínima y máxima (°C), días grado (DJ), velocidad del viento (m/s) y radiación global para el periodo 1981 - 2000.

Al analizar los datos del 1 de enero de 1986 se obtiene una correspondencia casi perfecta entre los datos SUNtool y los de Météo France, especialmente en lo que se refiere a la velocidad del viento (figura 16); solo se observa una pequeña diferencia en los datos de temperatura como lo muestra la figura 15.

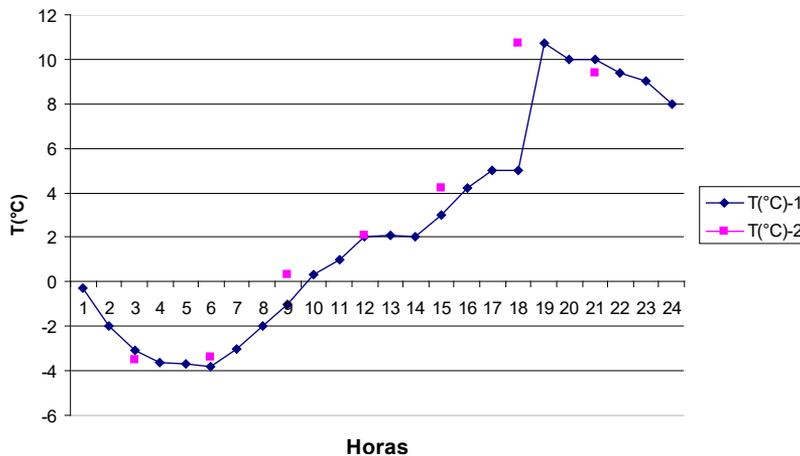


Figura 15. Comparación de temperaturas.
Enero 1 de 1986.

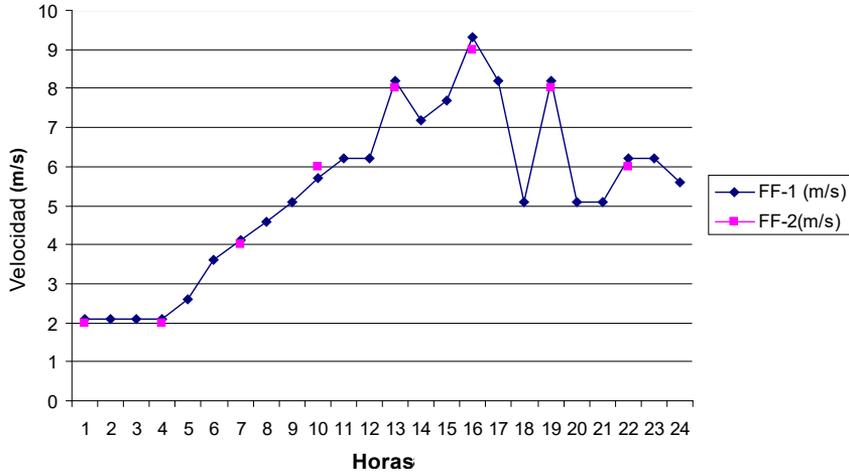


Figura 16. Comparación de velocidad de vientos.
Enero 1 de 1986.

El caso de la radiación global muestra diferencias representativas. Estas se explican por la procedencia de los datos: SUNtool reconstruye un año típico, mientras los datos de Météo son tomados *in situ* y para cada momento del día. La radiación global es un parámetro que varía considerablemente en un periodo de 24 horas, por lo tanto, es normal tener diferencias entre los valores calculados para estos periodos (figura 17).

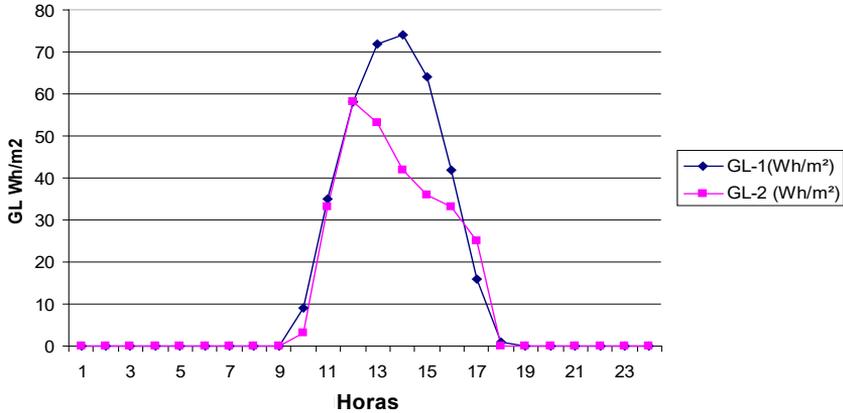


Figura 17. Comparación de radiación global para enero 1 de 1986.

Para analizar el año típico presentado por IWECC en SUNtool, se realizó la comparación entre este año tipo y las medias mensuales de un periodo de 20 años (1981-2000). Los resultados muestran una correspondencia bastante aproximada al comportamiento del clima; esto explica la selección de los datos que conforman el año típico en SUNtool (figura 18).

Con este mismo procedimiento se construyó el perfil de medias mensuales para

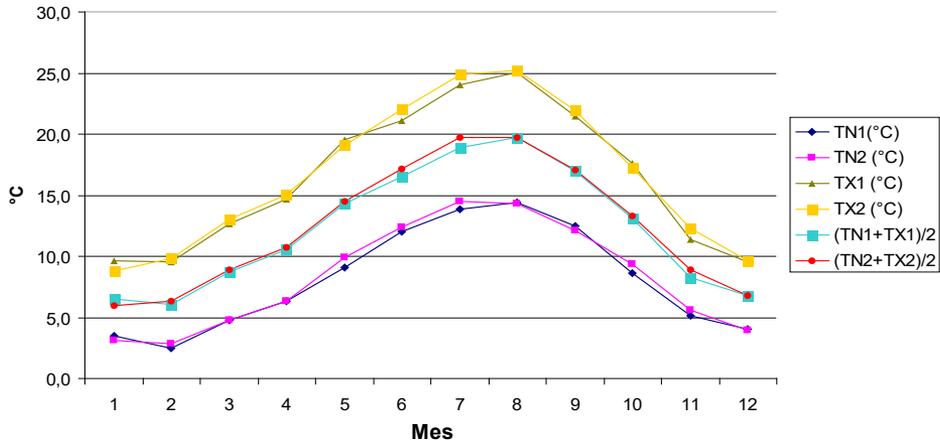


Figura 18. Comparación de las temperaturas del año tipo SUNtool y las medias de temperaturas en un periodo de 20 años obtenidas de Météo France.

la temperatura mínima, máxima, velocidad del viento y radiación global (Wh/m^2). Es preciso señalar que para el caso de la radiación global no existen datos medidos para los años anteriores a 1985. Como resultado, se sigue logrando un buen acuerdo entre ambas fuentes de información. Persisten algunas diferencias en el parámetro de radiación global en verano (junio y agosto), menos perceptible que en el análisis diario (figura 19).

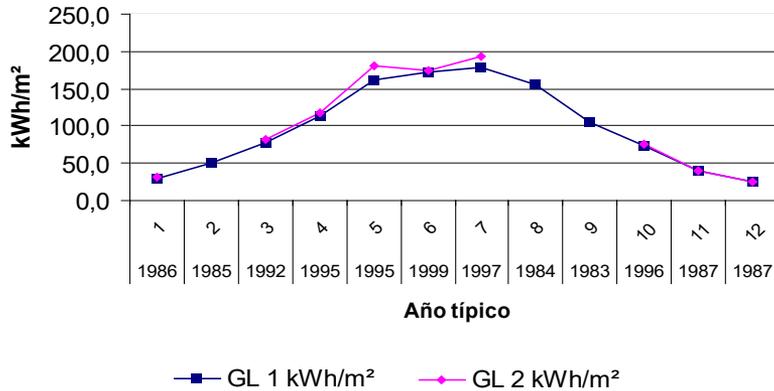


Figura 19. Comparación de los perfiles de radiación global para el año tipo SUNtool.

Para finalizar, se requiere una última verificación: la comparación de los días grado (DJ) calculados a partir de los datos meteorológicos suministrados por SUNtool y los días grado suministrados por Météo France. Para tal fin, se utilizó el método presentado por Météo identificando las temperaturas extremas para cada día del año tipo de SUNtool. Los días grados se calculan a partir de las temperaturas mínimas y máximas del periodo diario comprendido entre 1h y 24h. Las mínimas se toman en el periodo diario de 18h a 18h, mientras que las máximas se toman en el periodo diario

comprendido entre 6h y 6h. A partir de las medias de temperatura extrema por día, se calculan los días grado para el año tipo de SUNtool:

- Si $S \leq \text{Media}$; $DJ = 0$
- Si $S > \text{Media}$; $DJ = S - \text{Moyenne}$

donde:

S = umbral de temperatura de referencia = 18°C para Nantes.

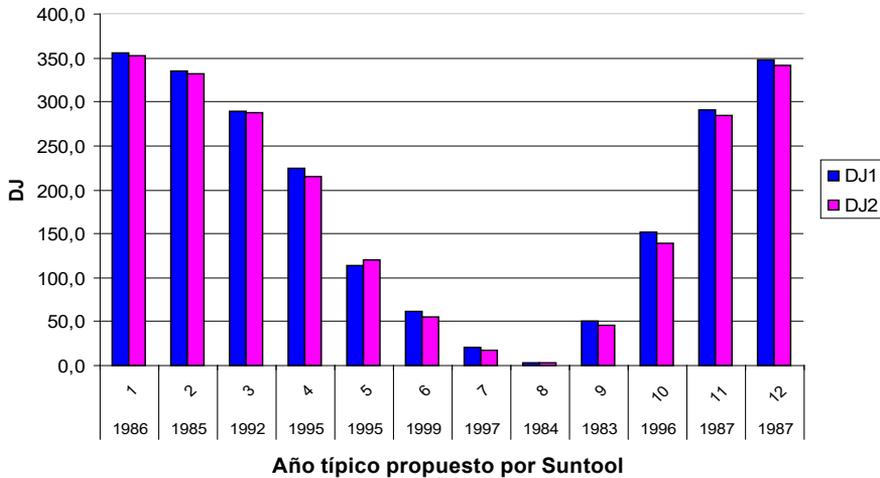


Figura 20. Comparación días grado (DJ) SUNtool en relación con los días grado (DJ) Météo France.

De acuerdo con la figura 20, los resultados siguen siendo coherentes y satisfactorios, razón por la cual podemos concluir que los datos suministrados en esta base de datos externa de SUNtool son confiables y aptos para ser utilizadas en la simulación con SUNtool, bajo reserva de diferencias en el resultado de radiación global en verano que podría tener incidencia en la evaluación del consumo energético.

Verificación de la geometría

El siguiente paso para la preparación del escenario es definir la geometría del sistema. Se entiende por geometría la forma, dimensiones y configuración urbana del barrio. Malakoff es un barrio antiguo cuya planimetría inicial no se encuentra en versión digital, con esta primera dificultad, es necesario ensayar los recursos más prácticos para iniciar la modelización.

Bajo esta premisa, el plano general de Malakoff se obtuvo a partir de una imagen aérea convertida a formato JPG²². A esta imagen se le aplicó una escala gráfica con lo cual pudo

²² <http://www.pagesjaunes.fr/ciweb2g-pagesjaunes/RecherchePagesJaunes.do>

ser importada a la interfaz de SUNtool prestando atención a conservar las proporciones. En seguida, el barrio fue redelineado en una segunda capa, conservando inactiva y guardada en una primera capa la imagen inicial.

Para verificar esta geometría se acudió a planos y documentos antiguos suministrados por Nantes Hábitat, que poseía información sobre las superficies habitables de los edificios (figura 21).

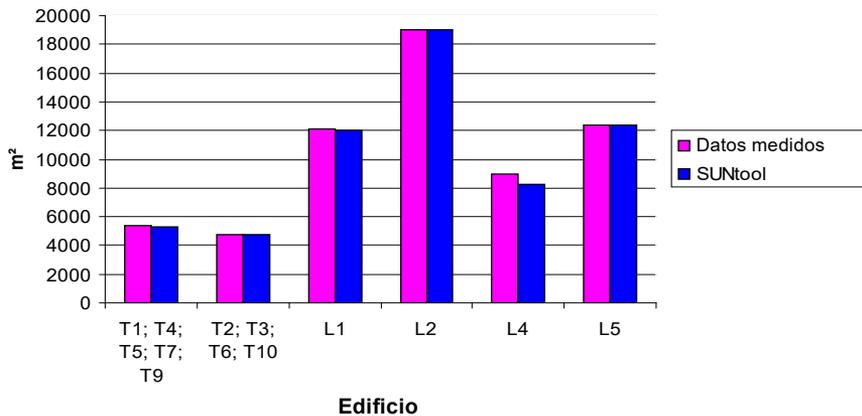


Figura 21. Comparación de superficies tomadas de la documentación y calculadas en SUNtool.

Con este procedimiento se logró un 90% de precisión en la comparación de superficies,

siendo los edificios cuya forma es *barra lineal* donde se presentan diferencias (L4), esto se debe a sus formas curvas.

Hasta el momento se tiene la superficie exterior, pero se requiere plantear ciertas hipótesis para complementar la información faltante. Para el caso de la superficie de los espacios interiores sin calefacción, se supone que éstas representan un porcentaje del 26% de la superficie total, en la cual un 15% corresponde a divisiones internas y un 11% a circulaciones.

Sin dudar, fue necesaria la realización de visitas al sitio para conocer la situación real y obtener información, verificando siempre la información obtenida por documentación. Se verificaron las alturas de las edificaciones, el número de pisos, el número de edificios y los sistemas constructivos, con lo cual se conformó un archivo fotográfico de soporte a la modelización.

Ocupación y número de alojamientos

En vista de que no se dispone de datos precisos sobre el número de habitantes y la distri-

bución de los tipos de alojamiento por edificio, se ha jugado sobre el número de alojamientos determinando una superficie por tipo de alojamiento y un porcentaje de esos tipos de alojamiento en cada edificio, teniendo como base las tendencias del Reino Unido (recordemos que no existen estos datos para Francia, por tanto se toma el estándar inglés). De esta manera, el modelo de ocupación nos aporta un número de alojamientos suficientemente próximo a los datos reales (figura 22). Se resalta el hecho de que no se tuvieron en cuenta torres que fueron demolidas.

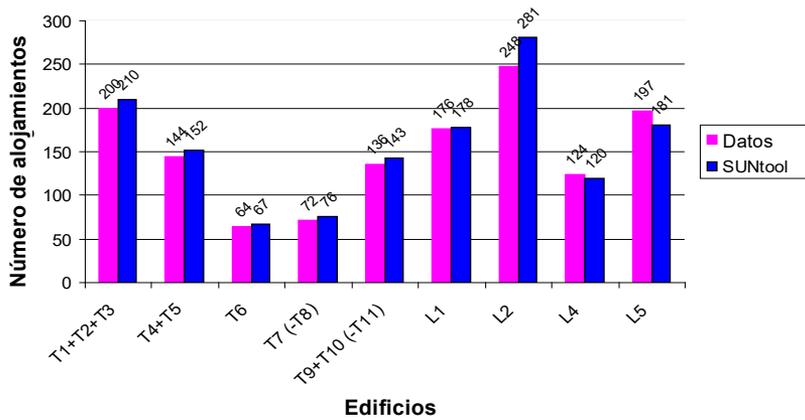


Figura 22. Número de alojamientos SUNtool vs número de alojamientos reales. Las torres T8 y T11 fueron demolidas y no se tienen en cuenta.

En general, SUNtool sobreestima la ocupación de las torres por -5,2%. Para las lineales L4 y L5 se subestima la ocupación en 3,2% y 8,1%, respectivamente. Para la lineal L1 se sobre evalúa la ocupación en 1,1%. El resultado más importante en términos de diferencia se presenta por la lineal L2 donde encontramos un 13% por encima de los datos reales.

Aspectos Constructivos

La información concerniente a los aspectos constructivos y térmicos son quizá los más importantes para la evaluación del consumo. Principalmente hablamos de los valores del coeficiente « U » y los estocásticos.

Para el modelo estocástico se ha decidido trabajar con la opción de desviación propuesta por SUNtool, el cual hace referencia a un algoritmo de probabilidad para los horarios de presencia de los ocupantes. Este algoritmo modifica la tasa de ocupación cada hora. La hipótesis planteada es: una actividad sedentaria de los ocupantes corresponde a una energía producida (aportes de calor) de 100W/persona.

Para los aparatos electrodomésticos se hace la hipótesis de un valor aproximado de 40W/m^2 para la carga máxima y se toma la opción de horario de presencia de los ocupantes estándar para la categoría edificio residencial propuesto por SUNtool.

La iluminación es muy importante para la determinación de las ganancias de calor. Se utiliza el algoritmo de probabilidad para determinar si la iluminación artificial está encendida, basado en la necesidad de iluminación y la disponibilidad de luz natural. En cuanto a las cortinas y persianas, el algoritmo trabaja con las necesidades de iluminación, así como el deslumbramiento, recalentamiento y la probabilidad de intervención del usuario.

Malakoff se encuentra comunicado por una red de calor para la calefacción y el agua caliente sanitaria (ECS); infortunadamente, SUNtool no contiene esta opción de fuente de energía, por lo tanto se ha optado por considerar un sistema de radiadores con una temperatura definida a 20°C . La ventilación se ha fijado como ventilación natural considerando Nantes como una ciudad de clima frío.

Sobre los sistemas de calefacción y de producción de ECS se ha hecho la fuerte hipótesis de que funcionan por caldera a gas. Es bien sabido que los rendimientos de producción son notablemente diferentes a los sistemas reales de producción; además, se desconoce qué tipo de consumo de calefacción produce SUNtool (kWh PCI o kWh PCS²³). Por último, la particularidad de doble red de distribución de ECS en las torres no ha sido tomada en cuenta.

Para definir las propiedades térmicas del sistema de construcción se seleccionaron, por los datos faltantes, los valores de acuerdo con el año de construcción o de renovación del edificio, o aquellos que permiten obtener un consumo energético próximo a la realidad. Esta configuración servirá de referencia para el análisis de sensibilidad.

Para lograr la situación más cercana a la realidad, se han establecido cuatro escenarios con diferentes valores para el coeficiente « U », espesor, reflectividad y la transmisividad. Esos escenarios son:

²³ PCI: Poder calorífico inferior; PCS: Poder calorífico superior.

Tabla 3. Características de los diferentes escenarios.

Escenario	Coeficiente U (Wh/m ² K)						Encristalado			Sup. Acristalada/ Sup. Total (%)	
	Fachada	Losa	Suelo	Desborde de techo	Tabique	Plan. Intem.	U	g	τ	Torres	Lineales
M04	2,50	1,50	2,0	1,50	2,50	1,50	2,8	0,55	0,35	15	20
M05	0,35	0,25	0,25	0,25	1,50	1,50	2,0	0,55	0,35	15	20
M06	0,70	0,50	0,50	0,50	1,70	1,70	2,0	0,55	0,35	15	20
M07	0,70	0,50	0,50	0,50	1,70	1,70	2,0	0,55	0,35	15	15
M08	0,80	0,60	0,60	0,60	1,80	1,80	2,0	0,55	0,35	15	15

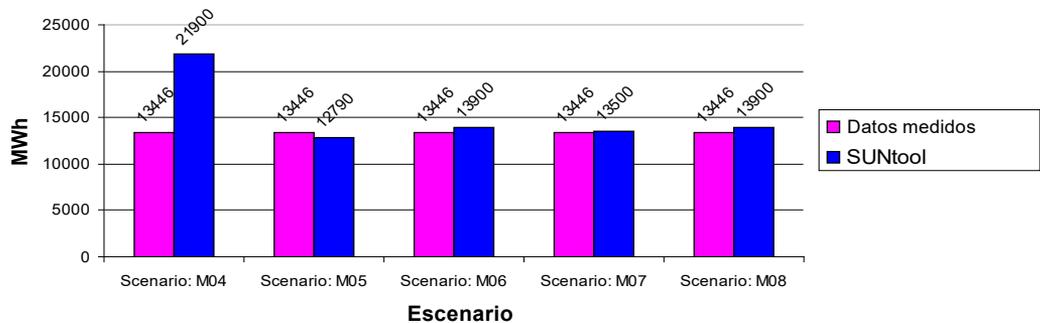


Figura 23. Comparación de los consumos en los diferentes escenarios.

Las situaciones M04 y M05 representan los extremos. M04 conduce a valores por encima de los datos del consumo medido (62 ,9%), lo que representa 8454 MWh excedidos de los 13446 MWh reportados en la facturación del periodo 2001-2003. Por el contrario, la situación M05

muestra un consumo de un 4,9% (656MWh) por debajo del consumo estimado en el estudio energético (Groleau y Bourges, 2005).

El consumo global para las situaciones M06 y M08 es homogéneo con 13900 MWh (3,4% de diferencia en relación con los resultados medidos). El escenario que más se aproxima es el M07 (0,4% de diferencia en relación con los resultados medidos) con 13500 MWh.

En este primer intento, se han eliminado los escenarios M04 y M05 los cuales se alejan demasiado de la información real. Los demás escenarios deben someterse a simulaciones en cada edificio para analizar en detalle los resultados de manera individual.

El aumento de los valores del coeficiente « U » implica un aumento en las pérdidas de calor y también una elevación del consumo de energía para la calefacción. Para aumentar el consumo en el escenario M06 y aproximarlos a los valores reales se optó por cambiar los valores de « U ». El resultado fue efectivamente un aumento en el resultado de consumo energético; sin embargo, esta evolución no fue homogénea para todos los edificios. Por ejemplo, las torres

presentan una diferencia poco significativa, entre -2,3% y 2,1%, mientras que las lineales muestran una diferencia entre los dos reportes de consumo que alcanza el 41,1% (Gráfico 24).

Cabe destacar que la relación de acristalamiento actúa sobre las diferencias de consumo entre torres y lineales. Por esta razón, se seleccionó un valor similar para ambos casos (M07), de tal forma que se conservaran los resultados en las torres y se disminuyeran las pérdidas de calor en las lineales. La información sobre la superficie acristalada no se conoce con precisión, por tanto, este factor se convierte en un parámetro de adaptación en el presente estudio.

Los resultados de esta acción son favorables, puesto que las diferencias se encuentran en un rango entre -4,0% y 1,4%, siempre en relación con el consumo medido. Sin embargo, siguen habiendo grandes diferencias para los edificios L1 y L2 de 16% y 32%, respectivamente.

En la situación M08 se retoma la misma relación de acristalamiento con valores de « U » superiores al 1% en comparación con la situación M07. Esta operación acarrea un aumento de las diferencias para la mayoría de los edifi-

cios con un consumo global idéntico a la situación M06. Las diferencias entre lineales L1 y L2 permanecen iguales a la situación M07 (-27,6% y -16,7%, respectivamente).

Estas diferencias para los edificios L1 y L2 se pueden explicar por las anomalías observadas en los datos medidos. Se considera que en los reportes sobre los cuales se basa el estudio energético es posible que falten ciertos datos, razón por la cual, los resultados para esos edificios resultan inferiores a los reportes de consumo medio.

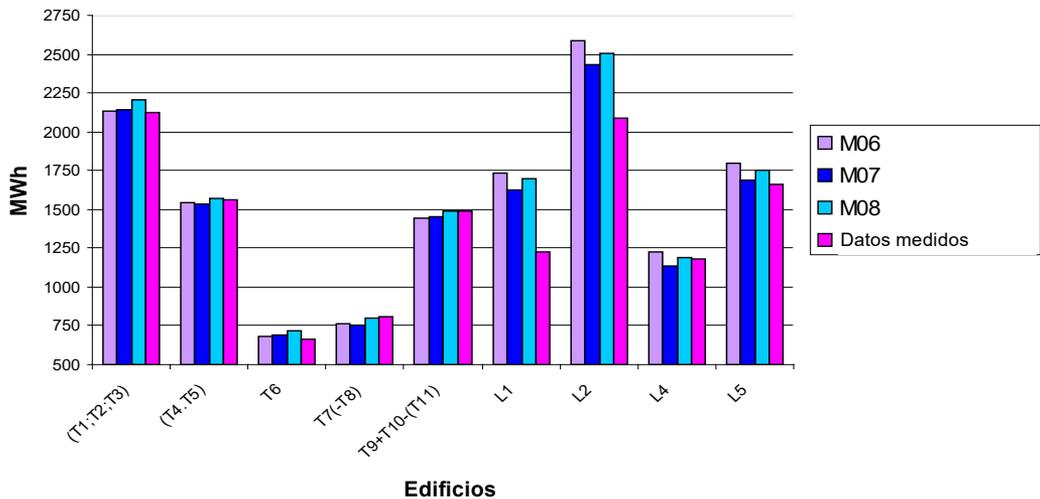


Figura 24. Diferentes escenarios en relación con la situación real.

Para concluir, entre las tres últimas situaciones mostradas, es el escenario M07, el que muestra las condiciones más equilibradas en cuanto a consumo individual y global (figura 24). Por tal razón, se decidió tomar M07 como situación de referencia para realizar el análisis de sensibilidad en Malakoff.

Tabla 4. Comparación de resultados de consumo en relación con la reglamentación térmica (RT).

Escenario	Fuente PREBAT	SUNtool (Consumo energético calefacción + ECS)
M04	Antes RT (1974)	225,3
M05	Próxima de RT 2000	131,6
M06	Próxima RT 1988	143,0
M07	Próxima RT 2000	138,9
M08	Próxima de RT 1988	143,0

Es sorprendente que M07 sea el caso más aproximado teniendo en cuenta que las características de construcción tomadas para la simulación, sitúan los edificios en una configuración próxima a la RT 2000 (Tabla 4). Ninguna de las renovaciones realizadas en Malakoff justifican estos órdenes de mayor

consumo, no obstante, se puede explicar por las hipótesis hechas en lo relacionado con los sistemas de producción y distribución de calefacción y ECS.

Comportamiento

Aleatorio de los Resultados

A pesar de que los datos de entrada para las torres en las situaciones M07 y M08 son idénticos, se obtienen resultados de consumo diferentes. Por esta razón, se decidió estudiar el comportamiento aleatorio de los resultados.

Se realizaron siete (7) simulaciones sin cambiar ningún parámetro de entrada, simplemente relanzando el cálculo repetidamente. Efectivamente, se constata que ciertas cantidades varían:

- El consumo individual para la calefacción (kWh/m^2) varía hasta un 2,3% en relación con la media de las siete simulaciones, con una diferencia máxima de $2,5 \text{ kWh/m}^2$.

- Las ganancias internas (kWh/m²) y la iluminación (kWh/m²) varían del orden de 0,2% al máximo alrededor de la media.
- La radiación transmitida (kWh/m²) muestra un comportamiento irregular dado que las diferencias varían entre valores nulos para la mayor parte de los edificios y de 3,52% a 14,33% sobre las lineales (8,11% y 8,72% sobre las torres T2 y T7).

Para analizar este fenómeno, se determina el porcentaje de variación (%V) de los resultados definitivos por:

$$\% V = \left| (R_2 - R_1) / R_1 \right| * 100$$

donde:

R_1 = Resultados de la situación de referencia.

R_2 = Resultados de la situación de prueba.

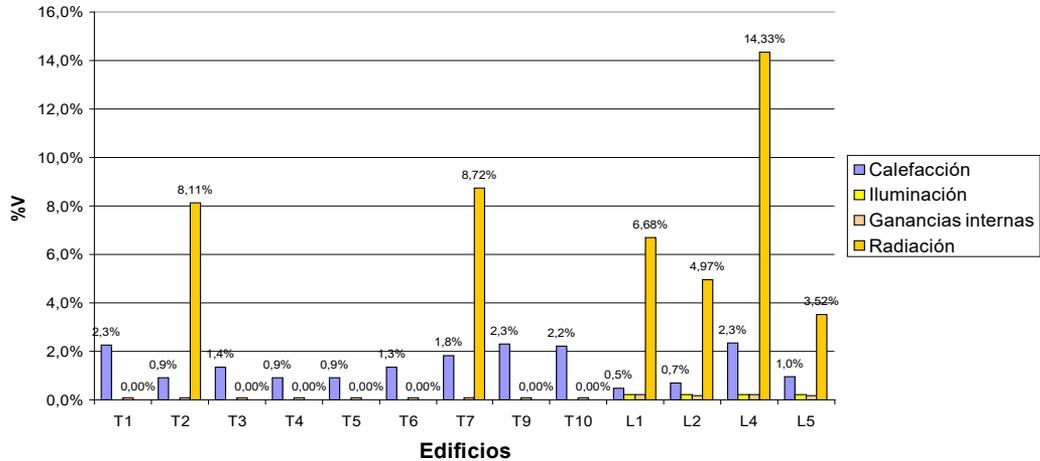


Figura 25. Comparación de la variación de los resultados para las 7 simulaciones de M07.

La justificación para este comportamiento aleatorio de las simulaciones puede encontrarse en el modelo estocástico de la ocupación, en efecto, este modelo introduce unas variables que son aleatorias y que modifican los resultados de consumo.

Análisis de Sensibilidad

Estudiar un modelo como SUNtool y la calidad de los resultados arrojados, requiere del análisis de la coherencia entre los parámetros de entrada del modelo y los de salida, así como su validación a través de un estudio de casos real.

Hasta el momento, se ha resuelto una parte de esta incertidumbre al verificar los datos climatológicos, geométricos y el comportamiento aleatorio del modelo. Para finalizar esta labor, es preciso realizar el análisis de sensibilidad de los diferentes datos de entrada.

Para este análisis no se ha utilizado un método en particular, el proceso consiste en la definición de ciertas hipótesis para los diferentes parámetros y la realización de simulaciones para conocer cómo reacciona del modelo. Se trabaja sobre la base de diferentes acciones en lugar de parámetros individuales. Por ejemplo, la sensibilidad a los cambios en «ventanas» equivale a cambios en los parámetros ($U + \tau + g$). Las acciones estudiadas son:

- *Determinación de la influencia de las máscaras y obstrucciones en la simulación:* simulación edificio versus simulación del barrio.
- *Determinación de la importancia de la forma y compacidad del edificio sobre los resultados del consumo de energía:* simulación de edificios lineares versus torres.

- *Estudio del modelo térmico de SUNtool:* diferentes coeficientes de transmisión térmica « U » del sistema constructivo (ventanas, muros, etc).
- *Estudio del modelo estocástico:* «stochastic deviation» versus parámetros definidos por el usuario.

Para los dos primeros análisis, el método consiste principalmente en comparaciones de los resultados y de las situaciones, por lo cual es necesario modificar varios factores a la vez. Para determinar la influencia de la forma, se comparan los resultados de las dos tipologías (torres y lineares) sin realizar modificaciones en las situaciones.

Para los demás análisis, se utiliza el «porcentaje de variación (%V)» que se definió anteriormente:

$$\% V = | (R_2 - R_1) / R_1 | * 100$$

donde:

R1= resultado de la situación de referencia.

R2= resultado de las situaciones de prueba.

A manera de prueba del software, eventualmente, el estudio se declina hacia el estudio de alternativas de reducción del consumo para conocer aquellas con mejores resultados.

Influencia de las máscaras y las obstrucciones en la simulación: Simulación edificio versus simulación barrio.

Dado que el punto de partida de este trabajo es el consumo de energía a una escala más grande que la de un edificio, se supone que SUNtool considera las interacciones entre los edificios para una estimación completa del consumo. Para verificar esto, se realizaron varias simulaciones de cada edificio individualmente comparando los resultados de consumo con los del mismo edificio después de la simulación completa del barrio.

Los fenómenos debidos a la posición y ubicación del edificio que pueden influenciar los resultados son los efectos de las máscaras y

obstrucciones, la radiación, el viento y las interacciones con los otros edificios. Se desarrollaron simulaciones sin cambiar los parámetros de entrada para determinar si el modelo toma en cuenta estos fenómenos.

De acuerdo con esto, los resultados que muestran diferencias significativas son: el consumo por calefacción y agua caliente sanitaria ECS (kWh/m^2), las ganancias de calor internas (kWh/m^2) y la radiación transmitida (kWh/m^2).

En lo que concierne al consumo de energía, se obtuvo una variación media poco representativa (-0,04%) entre los resultados globales de consumo en kWh/m^2 . Si se tiene en cuenta el comportamiento aleatorio de variación de los resultados evocado anteriormente, se concluye que esta variación no representa necesariamente la influencia de las máscaras y obstrucciones. A nivel individual, la variación de resultados por edificios se encuentra entre -1,36% y 2.1%, este valor se encuentra dentro del margen de incertidumbre debidos a la variabilidad de los resultados de consumo de calefacción (de 0% a 2.3%).

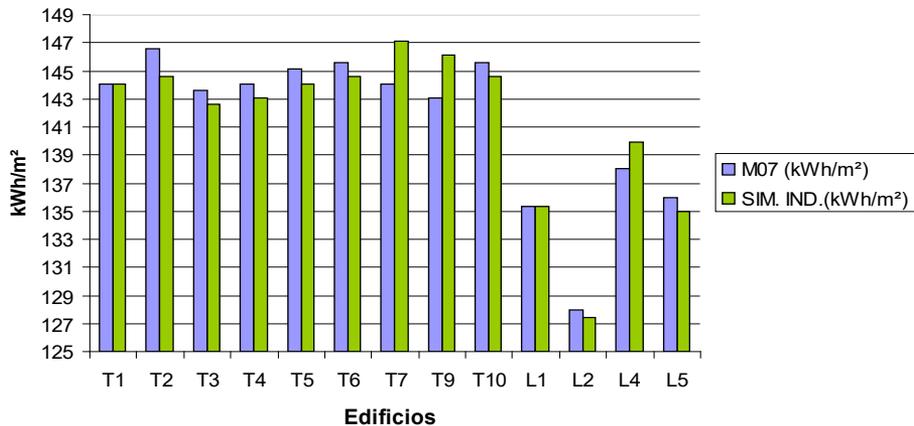


Figura 26. Resultados de consumo de calefacción y agua caliente sanitaria para las simulaciones de los edificios individuales en relación con la simulación del barrio (M07).

Las ganancias internas están ligadas al comportamiento de los ocupantes, a la iluminación y a los aparatos electrodomésticos. La variación obtenida es inferior a 1%, lo cual es despreciable.

La radiación solar transmitida presenta una variación media más significativa (3,88%). En función del edificio, el porcentaje de variación (%V) difiere entre -29,5 % y 31,8%. Se constata que la variación es irregular, pero se puede explicar pues los edificios tienen orientaciones

y emplazamientos diferentes, lo que cambia las superficies expuestas.

En conclusión, el consumo global no es influenciado por la modelización individual o colectiva (figura 26). Siendo la radiación, la magnitud por la cual la variación es la más sensible. Finalmente, la variación entre una simulación individual o global de los edificios no es significativa ya que los porcentajes en promedio se encuentran comprendidos dentro del margen de incertidumbres aleatorias.

La forma y compacidad del edificio

A partir de la hipótesis de que la forma y la compacidad influyen en el consumo de energía, se compararon los resultados de consumo de energía de las torres con respecto a los edificios de forma linear en la situación de referencia M07 (Tabla 5).

Debido a que las condiciones de ocupación y las superficies entre las dos tipologías de edificios son diferentes y que estos factores influyen en los resultados, se espera que existan diferencias de consumo entre ambas tipologías.

Aun así, los resultados de consumo expresados en kWh/m² ofrecen una idea sobre las ventajas de una tipología sobre la otra.

La superficie habitable de las torres es inferior al de las lineales (11,74 % de diferencia). De la misma forma, presentan una ocupación inferior (12,40% de diferencia). Las ganancias internas no muestran diferencias notables entre torres y lineales (> 0.04 kWh/m²).

Los resultados muestran que el consumo de energía es superior en las torres: 10,33 kWh/m² con respecto al consumo de los edificios lineales. En promedio se obtienen 144,7 kWh/m² para las torres, mientras que los lineales muestran un consumo promedio de 134,3 kWh/m².

El factor que influye en estos resultados y que explica este comportamiento se encuentra en la radiación transmitida (un promedio de 6,4 kWh/m² para las torres contra 7 kWh/m² para los lineales). Aunque esta es una hipótesis discutible dado que a nivel individual no se puede establecer una relación directa entre consumo y radiación, si puede decirse que la altura aumenta las pérdidas de calor ya que la exposición al viento es mayor en altura.

Tabla 5. Comparación de resultados entre torres y lineales.

	Superficie m ²	Ocupación (pers)	Ganancias internas (kWh/m ²)	Radiación transmitida (kWh/m ²)	Consumo (kWh/m ²)
Torres	45550	1731	64,98	6,4	144,7
Lineales	51610	1976	65,01	7,01	134,3
Diferencia	6060	245	0,04	0,60	10,33
%	11,74%	12,40%	0,05%	8,58%	7,69%

En conclusión, pese a que las torres presentan superficie y ocupación inferior a la de los lineales, las torres muestran un mayor consumo de energía en los resultados del consumo. Es así como se deduce que la forma tiene efectivamente incidencia en los resultados de consumo energético.

El modelo térmico de SUNtool:
diferentes coeficientes de transmisión
térmica «U» del sistema de construcción.

Las diferentes simulaciones realizadas después de definir el caso de referencia nos permite analizar la sensibilidad de los resultados de simulación en diferentes valores del coeficiente « U » (Tabla 3).

Al comparar los resultados, se observa que la situación M04 es la que mayor consumo de energía presenta; en esta situación se consideraron valores de « U » extremadamente altos para todos los elementos y una relación de superficies acristaladas diferente para las torres y lineales con relación a la situación de referencia. Recordemos que la diferencia es de un 62%, lo cual es significativamente importante.

La situación M05 representa las condiciones radicalmente opuestas a M04 pero un poco más cercana a la situación de referencia M07. En efecto, los valores « U » son bajos para todos los elementos con la misma relación de superficie acristalada de M04. El resultado muestra una variación mucho menor que en el caso M04, con un porcentaje de -5,26% de diferencia en relación con M07.

La última hipótesis se verificó con la situación M06 donde se establecieron los mismos valores de coeficiente « U » pero con una variación en la relación de superficie acristalada similar para torres y lineales. Los resultados denotan un porcentaje de diferencia de 2,96%, esto relativiza la sensibilidad de los resultados a los valores de los coeficientes « U » constatados

luego de la comparación de M05 versus M07, teniendo en cuenta que la tasa de acristalado para las lineales era del 20% (Figura 27).

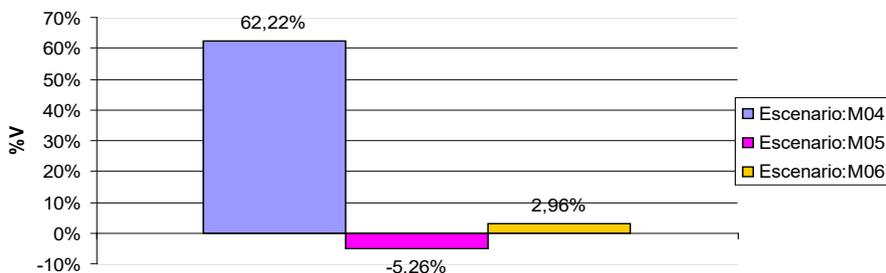


Figura 27. Comparación de porcentajes de variación de los diferentes escenarios en relación con la situación de referencia M07.

Luego de haber estudiado la influencia de los coeficientes « U », se procedió a estudiar la influencia de las características de las ventanas (U, g, τ , doble y triple acristalado).

Tabla 6. Características de las ventanas para las diferentes acciones a ejecutar.

Acciones	Acristalamiento	Coefficiente U (W/m ² K)	g (%)	τ (%)
1	Doble	1,1	0,25	0,15
2	Doble	2,8	0,66	0,55
3	Triple	1,2	0,55	0,35

Los resultados o datos de salida que pueden ser influenciados por estos parámetros son el consumo de energía en calefacción y la radiación transmitida. La primera acción conlleva a una variación de -2,84% en los resultados de consumo global de energía, con una reducción del consumo de 290 MWh con respecto a la situación de referencia M07.

El análisis de los resultados individuales de cada edificio muestra un promedio de variación del orden de -2,63%. Se observa una reducción entre -1 y 6 kWh/m², sin embargo, para el edificio L4 persiste una anomalía dado que se reporta un resultado negativo. Esto quiere decir que el edificio consume 1% más que la situación de referencia, lo que es contrario a la tendencia del barrio en general. La radiación transmitida varía de manera importante (del orden de -54% en promedio), mientras que las ganancias internas son descartables.

Para la segunda situación, los resultados de consumo son negativos, esto se debe al hecho de que las condiciones supuestas son menos eficaces que las de la situación de referencia. La variación global del consumo es de 3,92%, lo que

representa 400MWh más que por la situación de referencia M07.

En cuanto al consumo individual por edificio, el comportamiento sigue el mismo patrón, siendo el consumo inferior al de la situación de referencia con una diferencia máxima de 10kWh/m². La radiación transmitida tiene un comportamiento similar al del consumo de energía, la variación promedio en relación a M07 es de 17,51%, con una diferencia comprendida desde -1,78kWh/m² a + 0,01.

Como se esperaba, la última acción presenta una reducción del consumo de energía para la calefacción de 450 MWh y presenta una diferencia de -4.41% con relación a M07. La reducción por edificio se comprende entre 2 y 7 kWh/m², con una variación promedio de -4,21%. Las ganancias solares son similares a las resultantes de los otros dos casos. No obstante, la radiación presenta una variación débil en relación con las otras acciones, ésta se debe al hecho de que los valores de « g » y « τ » son los mismos que en la situación de referencia, entonces, en este caso el único factor responsable de la disminución de consumo es el coeficiente « U » (el cual es inferior al de la situación de referencia).



Figura 28. Variación del consumo y de la radiación para las diferentes acciones.

En conclusión, se ha logrado determinar que la variación del consumo es inversamente proporcional a la variación de la radiación transmitida. Así, se continua presentando el coeficiente « U » como el dato de entrada o variable de mayor influencia sobre los resultados de consumo de energía.

Análisis de la influencia del modelo estocástico « stochastic deviations » versus « user defined occupancy/ lighting ».

SUNtool presenta un modelo estocástico que actúa sobre la determinación de ganancias internas de calor debidas a la ocupación, la iluminación y los aparatos electrodomésticos.

En el modelo se puede elegir entre usar unos parámetros determinados por un algoritmo de probabilidad suministrados por el modelo y la definición « no aleatoria » del modelo de ocupación, tal como lo muestra la tabla 7.

La intensidad de esta verificación es establecer la incidencia de una elección u otra en el consumo energético comparándola a la situación de referencia M07, para la cual se ha utilizado la opción de desviación estocástica.

Tabla 7. Características de las acciones para el modelo estocástico.

Acción	Parámetro	Características		
1	Ocupación	Usuario define ocupación	Actividad sedentaria	Planning : « ST-residential occupancy »
2	Iluminación	Controlado por detector	-	Planning : « ST-residential occupancy »

En el primer caso, se reemplazó la entrada « desviación estocástica de la ocupación », por « usuario define la ocupación ». El porcentaje de variación resultante entre las dos situaciones en términos de consumo global es alrededor de

un 15%. La reducción de consumo lograda es del orden de 1520 MWh.

El consumo individual varía entre 11kWh/m² y 19kWh/m². Por su parte, las ganancias internas no varían de manera trascendental, mientras que la variación de la radiación es nula en las torres para los edificios lineales esta variación se encuentra entre -13% y -23%.

La segunda acción se refiere a la iluminación. Para ello se ha establecido que la iluminación es controlada por detector de presencia y escasez de luz. Los resultados muestran poca incidencia de este parámetro en el consumo energético con una variación inferior al 1%.

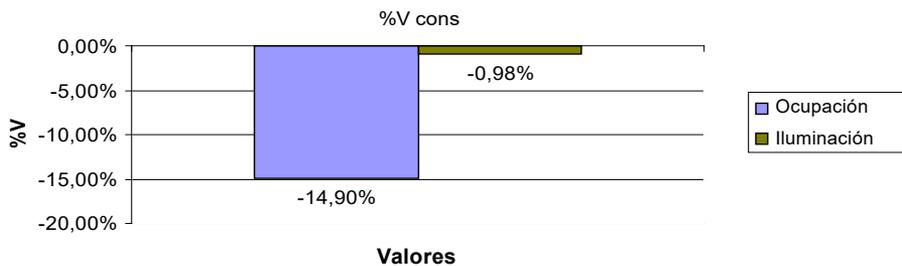


Figura 29. Sensibilidad de SUNtool a las elecciones del modelo de ocupación y de iluminación.

A nivel individual, los resultados son irregulares. Algunos edificios muestran resultados de consumo inferiores a los de la situación de referencia, otros presentan resultados superiores. En el caso de la radiación no se observan variaciones fuertes en las torres, excepto por el caso de la T7 (36%). En cuanto a los edificios lineales la variación se comprende entre -7% y 17%.

En conclusión, los resultados ponen en evidencia una mayor influencia del parámetro *ocupación* que el de *iluminación* en los resultados de consumo energético, tal como se observa en la figura 29.

Comparación de las Variaciones: Balance de las Diferentes Acciones.

Habiendo establecido el porcentaje de variación (%V) del consumo global del barrio es posible realizar una comparación de las diferentes acciones o alternativas de gestión y sus variaciones. Las simulaciones muestran que el parámetro que mayor influencia presenta en la variación de los resultados de consumo energético es el coeficiente « U » (-5,2% y 62%).

La segunda acción más influyente resulta ser la ocupación (15% de variación). En tercer lugar, encontramos las características del acristalamiento (variación entre -4,4% y 3,92%), las cuales también están ligadas al modelo térmico.

Las acciones que representan poca incidencia sobre la variación de los resultados del modelo son las relacionadas al parámetro de iluminación y la acción de lanzar simulaciones para el conjunto del barrio o para edificios de manera individual y separada.

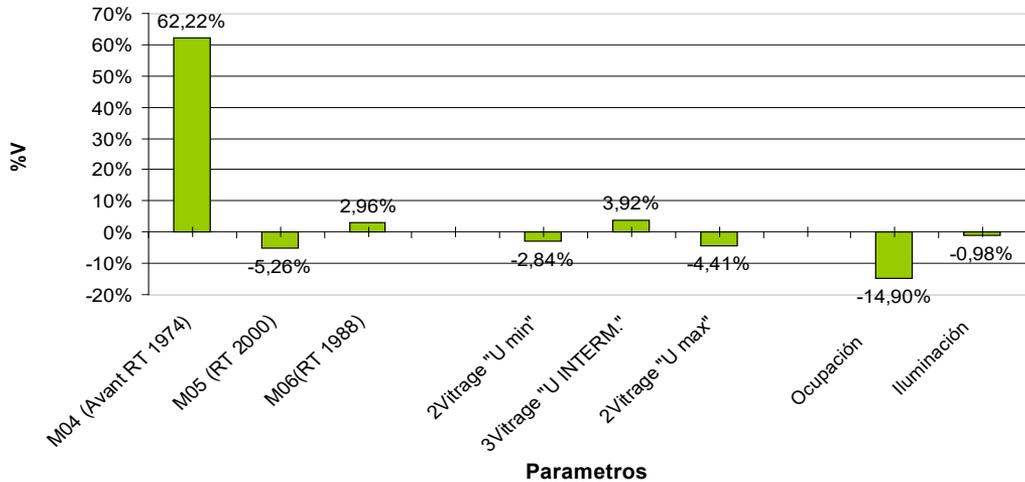


Figura 30. Comparación del porcentaje de variación (%) global en las diferentes situaciones.

Al comparar las variaciones con relación a la forma de los edificios, observamos que los resultados son desiguales de una tipología a la otra (torres y lineales). Por ejemplo, cuando se analizó el parámetro radiación, los resultados arrojan variación nula para las torres mientras que para las lineales la radiación es notable. Esto demuestra que los edificios de forma lineal tienen un comportamiento mucho más irregular al análisis de sensibilidad que los edificios de tipología « torre ». En conclusión, se observa que la forma del edificio es un factor determinante en los resultados.

Resultados y Aplicación del Modelo

SUNtool permite establecer tres niveles de simulación: « freefloat » que no muestra resultados para consumo de energía por calefacción y agua caliente sanitaria – ECS; « Plant Sizing + Energy Demand » que es el tipo de simulación que nos interesa en este estudio ya que integra los cálculos de consumo de calefacción y ECS; y finalmente, el tercer tipo es « Plant Sizing + Energy Demand + CO₂ » que permite tener resultados más completos incluyendo emisiones de CO₂.

Los resultados obtenidos del modelo se clasifican en relación con los intereses de la simulación. En el segundo tipo de simulación se obtienen reportes de consumo energético global y por categoría de edificio, es decir, si es del tipo residencial o de oficinas. Los datos obtenidos son: consumo de energía por calefacción, climatización, agua caliente sanitaria – ECS, iluminación y carga máxima, todo esto expresado en MWh y kWh/m².

El modelo arroja un resumen por edificio que contiene información sobre la superficie neta y bruta (m²), volumen (m³), ocupación máxima estimada por el modelo, consumo energético de calefacción, agua caliente sanitaria e iluminación (kWh/m²), ganancias internas (kWh/m²) y radiación (kWh/m²).

Además de lo anterior, SUNtool también permite conocer la temperatura interior y exterior (°C), la carga por iluminación y por aparatos electrodomésticos (W) y la tasa de ventilación para las ventanas (windows ventilation rate). Al realizar el tercer tipo de simulación, haciendo las hipótesis de uso de energía renovable se obtienen resultados en términos de cantidad de electricidad impor-

tada y la cantidad de electricidad generada por el sistema (MWh). Así mismo, estima la eficiencia del sistema en términos de energía generada por edificio y la radiación recibida en MWh. Lo más sobresaliente son los datos sobre producción de CO₂ (kg), el consumo de combustibles en GJ y el consumo en energía primaria (MWh).

SUNtool suministra, además, el consumo de agua y el potencial de producción de aguas grises y pluviales. Por otro lado, el modelo calcula la producción de desechos del fragmento urbano estudiado.

No obstante, se ha constatado que SUNtool es un modelo preferiblemente adaptado para ayudar en la selección de alternativas en el diseño urbano de nuevos barrios más que para la renovación o rehabilitación urbana, ya que en este último caso la obtención de los datos de entrada resulta difícil.

Después de experimentar el modelo, puede decirse que SUNtool resulta realmente útil para los planificadores y autoridades locales en las siguientes acciones y decisiones:

- La definición del emplazamiento del proyecto.
- La forma y orientación de los edificios.
- La definición de la morfología del barrio.
- La distribución por superficies de las tipologías de alojamiento.
- La elección de sistemas de construcción, materiales, espesor, localización y los aislantes.
- La elección de las fuentes de energía, de los combustibles y de los sistemas energéticos.
- La relación de superficie de acristalamiento en los edificios.

Una vez se han establecido estos parámetros y dependiendo de la exactitud de los datos de entrada, SUNtool permite una proyección del consumo de energía por servicios, las emisiones de CO₂ y la producción de desechos del proyecto. Reunidas las condiciones, el diseñador y planificador puede prever la mejor decisión en pro de proyectos cada vez menos impactantes sobre el entorno natural.

Conclusión Final

En el actual contexto de fuerte preocupación por los aspectos medioambientales, el consumo energético de los edificios a la escala urbana es un factor preponderante para lograr una gestión sostenible de las ciudades. Desde esta perspectiva, los modelos de evaluación del consumo energético se convierten en útiles indispensables para ayudar a los planificadores y diseñadores a evaluar sus decisiones de diseño.

En este trabajo, se estudiaron diferentes modelos de los cuales se escogió SUNtool para ahondar en su análisis y explorar su modo de funcionamiento y precisión de resultados. Para ello, se tomó un caso real ubicado en la ciudad de Nantes en Francia, el barrio de Malakoff, dado que se tenía disposición de información de este proyecto que permitiese una comparación del consumo real frente a los resultados del modelo.

Fue necesario reconstituir ciertos datos faltantes y definir una situación de referencia, con lo cual se procedió a realizar un análisis

de sensibilidad. Primero que todo, se verificó la exactitud de datos como: la geometría, las superficies, la ocupación, el número de alojamientos y los datos climatológicos.

Para la definición de la geometría y por lo tanto las superficies, el modelo tiene un modelado interfaz simple. Detalles y formas complicadas no son muy fáciles de modelo, lo cual es comprensible para la escala a la que nos movemos. Sin embargo, como se observa dificultad para dibujar formas curvas, para modificar los dibujos y establecer edificios no ortogonales dimensiones con precisión. Estos problemas causa de modelado incertidumbre en la determinación de las superficies y la asignación de la vivienda y la ocupación.

Los datos meteorológicos proporcionados por SUNtool se compararon con datos proporcionados por Météo France. Después de esta auditoría, llegamos a la conclusión de que esta información es fiable para su uso en simulaciones de energía. Sin embargo, en el caso de la radiación solar, es posible ver estos datos de tiempo en la verificación de los grados-día utilizando el método de Météo France.

Definir la situación de referencia, significó ensayar una serie de hipótesis que permitieran obtener las condiciones más próximas de consumo energético en la simulación a los datos reales medidos que se tenían.

Por otro lado, el análisis de sensibilidad realizado permite identificar que los datos relacionados con el comportamiento térmico de los edificios son los datos más sensibles. Esto significa que en este modelo es fundamental tener la mayor precisión posible en estos datos térmicos para alcanzar resultados de consumo energético coherentes al aplicar el modelo.

La ocupación es otro factor determinante de los resultados, sin embargo, representa la mayor fuente de incertidumbres al obedecer a un modelo estocástico ligado a una elevada variación aleatoria.

Así mismo, se observa que al analizar edificaciones de forma irregular como los edificios lineales, los resultados son mucho más sensibles que para formas más regulares como los edificios en torres. La forma es entonces otro parámetro de alta sensibilidad en el modelo.

Por otro lado, si se retoman los objetivos del modelo, es sorprendente que la variación debida a simulaciones de conjunto o globales y simulaciones individuales sea tan poco significativa. Esto podría insinuar que los efectos de las máscaras u obstrucciones no influyen de manera representativa en el consumo energético o, que efectivamente, el modelo no tiene en cuenta estos parámetros. De cualquier modo resulta una deducción muy fuerte que requiere mayor estudio.

Quedan inquietudes sobre la modelización y tratamiento de otras obstrucciones como la vegetación, en barrios de poca altura, esta juega un papel representativo en el microclima local. En el diseño bioclimático, es preciso tener en cuenta elementos del relieve, de la geografía, la presencia de bosques o fuentes de agua, por ejemplo, y efectivamente, SUNtool no contiene un modelo que ayude a predecir la temperatura local, lo cual representa una limitante en el diseño bioclimático.

Finalmente, SUNtool es solo el comienzo hacia el desarrollo de modelos eficaces para la evaluación de consumo energético a gran es-

cala; persisten dificultades para la implementación del modelo que, además, tiene objetivos ambiciosos difíciles de abordar. Pero sin duda, para el diseño urbano, la arquitectura, la planificación y las autoridades locales, se sienta un precedente hacia donde deben evolucionar nuestras ciudades en la predicción y corrección de prácticas.

Referencias

- BDSP. (2004). *An environmental modelling tool to support sustainable urban planning (SUNTOOL)*. Managenergy: Comisión Europea. Recuperado de <http://www.managenergy.net>
- Bjahind, D. (2014). *Paris panorama*. [Foto] Recuperado de <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=32872699>
- Groleau, D. y Bourges, B. (Febrero de 2005). *Contrat de recherche et développement relatif à l'approche bioclimatique globale des ambiances urbaines et des stratégies énergétiques à l'échelle d'un territoire en renouvellement urbain*. Rapport final. [CD]. Federation de Recherche CNRS, Nantes
- Cherqui, F. (2005). *Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier - méthode ADEQUA*. [Tesis de doctorado]. Universidad de La Rochelle, Francia.

- Cherqui, F., Popovici, E. y Peuportier, B. (2006). *Project ADEQUA : Aménagement Durable d'un Quartier. Rapport d'avancement N°2*. La Rochelle: LEPTAB.
- Crawley, D., Hand, J. y Lawrie, L. (Septiembre de 1999). Improving the Weather Information Available to Simulation Programs. *Conference "Building Simulation 99"*. Recuperado de http://www.ibpsa.org/proceedings/BS1999/BS99_P-03.pdf
- Despretz, H. (2006). *Critères et démarches de choix énergétiques dans le bâtiment*. Sciences et techniques. [En línea]. Recuperado de www.techniques-ingenieur.fr
- Fanger, P. (1988). Introduction of the olf and decipol units to quantify air pollution perceived by human indoors and outdoors. *Energy & Buildings*, 12.
- Gadsden, S., Rylatt, M., Lomas, K. y Robinson, D. (Enero de 2003). Predicting the urban solar fraction: a methodology for energy advisers and planners based on GIS. *Energy and Buildings*, 35 (1) p. 37-48.

- Jones, P., Lannon S. y Williams J. (2001). Modelling Building Energy Use at Urban Scale. *Seventh International IBPSA Conference Rio de Janeiro, Brazil* Agosto 13-15. Recuperado de http://www.ibpsa.org/m_bs2001.asp
- Killip, G. (2007). *Projet : 40% House une réduction de 60% des émissions de CO₂ avant l'an 2050 dans le secteur résidentiel britannique modélisation et analyses*. Environmental Change Institute, University of Oxford. MIES. París.
- Kraube, B. (2000). *Implementation and validation of a domestic energy consumption model based on a GIS (Geographical Information System)*. Rapport de fin d'études. Universidad de Ciencias aplicadas - Fach Hochschule Lübeck, Alemania.
- Page, J., Robinson, D., Morel, N. y Scartezzini, J. L. (2007). *A generalised stochastic model for the prediction of occupant presence*. *Energy and Buildings* (enviado).

Popovici, E. (2006). *Contribution to the Life Cycle Assesment of Settlements*. [Tesis de doctorado]. Ecole des Mines de París. París.

Prebat. (Diciembre de 2007). Comparaison Internationale Bâtiment et Energie. ADEME, CSTB, PUCA. Recuperado de <http://www.prebat.net/?2007-Comparaison-internationale>

Reinhart, C. (2004). Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds. *Solar Energy*, 77(1), p. 15–28.

Robinson, D., Campbell, N., Gaiser, W., Kabel, K., Le-Mouel, A., Morel, N., Page, J., Stankovic, S. y Stone, A. (2006). *Suntool- A new modelling paradigm for simulating and optimising urban sustainability*. Documento sin publicar.

Robinson, D. y Stone, A. (2005). Holistic radiation modelling: a fast-simplified radiosity algorithm. *9th International IBPSA Conference Building Simulation*. Canadá.

Rylatt, M., Gadsden, S. y Lomas, K. (2002). Using GIS to estimate the replacement potential of solar energy for urban dwellings, *Environment and planning. B, Planning and design*, 30(1), p. 51-68. doi:10.1068/b12931

SAP. (2005). *Standard Assessment Procedure. Approved software for SAP 2005*. [En línea]. Recuperado de <http://projects.bre.co.uk/sap2005/>

Shimoda, Y., Asahi, T., Taniguchi, A. y Mizuno, M. (2007). Evaluation of city-scale impact of residential energy conservation measures using the detailed end-use simulation model. *Energy*. doi:10.1016/j.energy..01.007.

Steadman, P., Bruhns, H., Mortimer, N., Pout, C., Rickaby, P. y Brown, F. (Junio de 1994). *Non-domestic Building Stock Project. Classification of Building Types in the National Non-Domestic Building Stock Database: An Overview*. [Proyecto]. Open University. Centre for configurational studies.

FUNDADORES
CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC

EDUARDO CRISSIEN SAMPER
RUBÉN MAURY PERTUZ (q.e.p.d.)
NULVIA BORRERO HERRERA
MARÍA ARDILA DE MAURY
RAMIRO MORENO NORIEGA
RODRIGO NIEBLES DE LA CRUZ (q.e.p.d.)
MIGUEL ANTEQUERA STAND

PERSONAL DIRECTIVO
CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC

TITO JOSÉ CRISSIÉN BORRERO Rector	HERNANDO ANTEQUERA MANOTAS Vicerrector Financiero
MARIO MAURY ARDILA Director Departamento de Posgrados	ALFREDO GÓMEZ VILLANUEVA Decano Facultad de Arquitectura
FEDERICO BORNACELLI VARGAS Secretario General	JAVIER MORENO JUVINAO Decano Facultad de Ciencias Económicas
GLORIA CECILIA MORENO GÓMEZ Vicerrectora Académica	ALFREDO PEÑA SALOM Decano Facultad de Derecho
HENRY MAURY ARDILA Vicerrector de Investigaciones	JOSÉ LOZANO JIMÉNEZ Decano Facultad de Psicología
JORGE MORENO GÓMEZ Vicerrector de Extensión	FAIRUZ VIOLET OSPINO VALDIRIS Decana Facultad de Ingeniería
JAIME DÍAZ ARENAS Vicerrector Administrativo	NADIA JUDITH OLAYA CORONADO Decana Facultad de Ciencias Ambientales
ROSMERY TURBAY MIRANDA Vicerrectora de Bienestar	SANDRA VILLARREAL VILLA Decana Facultad de Humanidades

Kattia Villadiego Bernal (Sahagún, **Córdoba**) es arquitecta de la Universidad del Atlántico. Es doctora en urbanismo y gestión del territorio de la Universidad Aix-Marseille (Francia). Es titular de un máster en *Science et Techniques des Environnements Urbain – Ville et Energie*, de la *Ecole des Mines* de Nantes (Francia). Realizó pasantías de investigación en el Instituto de Gestión y Manejo del Ordenamiento Territorial de la Universidad Libre de Bruselas, Bélgica y en el Departamento de energética de la *Ecole des Mines* de Nantes (Francia). Finalista del Concurso Premio Corona Pro Arquitectura Sostenible en el año 2003. Ganó el premio HOTUR en el año 2009 por sus investigaciones en turismo, medio ambiente y desarrollo en el vía Parque Isla Salamanca. Estuvo en la dirección técnica del Proyecto turismo Caribe para el fortalecimiento de la educación **técnica** y tecnológica en la Región Caribe colombiana apoyado por el Ministerio de Educación Nacional entre los años 2007 y 2011. Actualmente es investigadora y profesora de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de la Costa (Barranquilla, Colombia). Así mismo, se desempeña como consultora en los temas de urbanismo, cambio climático, arquitectura bioclimática y confort térmico. Participa activamente en comités de evaluación de proyectos internacionales de investigación y como par evaluador de artículos de investigación para revistas de alto nivel en latinoamérica.

Mauricio Cabas García (Barranquilla, **Atlántico**) Arquitecto con Maestría en Proyectos de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Internacional de México - UNNI. Egresado de la Universidad Autónoma del Caribe en Diseño arquitectónico e Innovación Sustentable. Coordinador del núcleo temático de Teoría e Historia de la Arquitectura y la ciudad en la facultad de Arquitectura de la Universidad de la Costa - CUC. Editor de la revista científica Módulo arquitectura CUC. Investigador del grupo de investigación Arquitectura, Urbanismo y Construcción (Aruco) adscrito al Centro de Investigación de la facultad de Arquitectura de la Universidad de la Costa CUC, Barranquilla.