

ACE 32

Electronic offprint

Separata electrónica

MORFOLOGÍA URBANA MEDITERRÁNEA

Helena Coch Roura, Isabel Crespo y Glòria Serra-Coch

Cómo citar este artículo: COCH ROURA, H.; CRESPO, I. y SERRA-COCH, G. *Morfología urbana mediterránea* [en línea] Fecha de consulta: dd-mm-aa. En: ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno, 11 (32): 113-134, 2016. DOI: 10.5821/ace.11.32. 4835. ISSN: 1886-4805.

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

c

ACE 32

Electronic offprint

Separata electrónica

MEDITERRANEAN URBAN MORPHOLOGY

Key words: city; form; urbanism; energy

Abstract

The city is a very complex system in which many parameters converge. The large number of these parameters greatly hinders not only an accurate analysis of all of them, but also the assessment of the phenomena that occur in the city and its impact on the environment. Urban planning is one of the challenges that society faces today, involving architects, planners and other social and professional stakeholders. All of them converge in a common field of energetic and ecological exchange.

The world's population is moving towards urban areas in an increasing proportion. Consequently, these areas are becoming potential points of conflict and opportunities and, therefore, must be carefully planned. To optimize urban planning, it is essential to have a body of doctrine in both environmental and social issues, considering subjects such as energy and resources consumption, comfort and well-being.

In this context, the investigation project "MUM- Identification of Parameters Involved in Architectural Energy Efficiency is originated. This project aims to improve energy efficiency in buildings of Mediterranean cities by identifying those parameters of buildings morphology that allow to describe different urban tissues and their influence on energy demand.

Nowadays, there is a lack of urban structures parametrization systems that allow to simulate their behaviour accurately. This investigation aims to identify and define urban parameters required for a geometric description of the different urban fabrics, in order to ease an approach to environmental performance assessment.

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

c

MORFOLOGÍA URBANA MEDITERRÁNEA

COCH ROURA, Helena¹

CRESPO, Isabel

SERRA-COCH, Glòria

Remisión inicial: 05-04-2016

Remisión final: 13-10-2016

Palabras clave: ciudad; forma; urbanismo; energía

Resumen estructurado

La ciudad es un sistema complejo en el que confluyen muchos parámetros que dificultan sobremanera un análisis preciso de todos ellos y, en consecuencia, la valoración de los fenómenos que se producen y sus repercusiones en el medio ambiente. La planificación urbana es uno de los retos ante los que se encuentra la sociedad actual, implicando tanto a arquitectos y urbanistas como a otros colectivos muy diversos que convergen en este espacio común de intercambio energético y ecológico.

La población mundial se está desplazando hacia las áreas urbanas en proporción cada vez mayor, por lo que estos son posibles puntos de conflicto y oportunidad en los que es necesario actuar y planificar de forma cuidadosa. Para optimizar la planificación urbana, será fundamental disponer de un cuerpo de doctrina en temas ambientales y sociales que tengan en cuenta aspectos de consumo energético y de recursos, así como de confort y bienestar personal.

En este contexto nace el proyecto de investigación “MUM-Fundamentos para la Caracterización de la Morfología Urbana Mediterránea”. Este proyecto avanza en la mejora de la eficiencia energética en ciudades mediterráneas, identificando parámetros morfológicos de los edificios, en tanto que configuradores de ciudades, que permiten caracterizar distintas tramas urbanas y su influencia en la demanda energética.

Actualmente no existe una parametrización de las estructuras urbanas que permita simular su comportamiento ambiental de forma razonable. Esta investigación ha identificado y definido parámetros urbanos necesarios para esta caracterización geométrica de las distintas tramas que facilitarían una aproximación al comportamiento ambiental.

¹ Helena Coch Roura. Dra. Arquitecta. Profesora titular del Departamento de Tecnología de la Arquitectura (TA) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (ETSAB). Av. Diagonal 649, 7ª planta, 08028, Barcelona, España. helena.coch@upc.edu

1. Introducción

Esta sección de la revista ACE recoge algunos resultados del proyecto de investigación MUM (BIA2013-45597) titulado “Fundamentos para la Caracterización de la Morfología Urbana Mediterránea” desarrollado por el Grupo de Investigación AiE.

La población urbana aumenta a razón de unos 2 millones de habitantes al día aproximadamente (United Nations, 2014). Los vectores de crecimiento son esencialmente dos: el aumento del ritmo del crecimiento vegetativo de la población urbana existente y el desplazamiento de población rural a zonas urbanas. Por otro lado, el territorio que fue urbanizado en un momento determinado de su historia nunca vuelve a su estadio anterior. La superficie que ocupa una aglomeración urbana organizada en forma de ciudad puede densificarse o bajar su densidad, pero no puede volver al estadio inicial.

Considerando que las primeras ciudades de las que se tiene conocimiento se fundaron en terrenos fértiles para tener la capacidad de autoabastecerse, podemos prever que si las ciudades avanzan en su proceso de ocupación del suelo lo harán sobre ese tipo de terrenos, que normalmente se utilizarían para producir alimentos para el consumo (Tian y Zhu 2013).

La vulnerabilidad de los sistemas urbanos y su repercusión en la globalidad del territorio es, cada vez más, objeto de estudio multidisciplinar. Sin embargo, todavía es necesario avanzar mucho para llegar a un conocimiento suficientemente consolidado como para poder utilizarlo en mejorar la planificación urbana.

Este proyecto no pretende abarcar un campo tan amplio como es la ciudad y todos los procesos que se producen en ella, pero sí que busca poder evaluar una parte de estos procesos con el objetivo de ser capaces de dar pautas claras en el momento de la toma de decisiones. El campo en el que se centra el proyecto se basa en el estudio y en la evaluación de los fenómenos relacionados con la energía y el confort de los habitantes en los entornos urbanos.

Figura 1. **Borderline Metropolis**



Fuente: Labics. Architectural and urban planning practice led by Maria Claudia Clemente and Francesco Isidori.

2. Ciudad compacta y acceso solar

Ante la tendencia a ocupar el territorio de forma extensa se opone la tendencia de buscar una mayor compacidad en la ciudad (Holden y Norland, 2005). Las ciudades mediterráneas, como ejemplo de las urbes de las civilizaciones nacidas a lo largo de los grandes ríos en una misma franja climática (Nilo, Tigris-Éufrates, Indo, Yang-tse-kiang) presentan una trama compacta, que parece tener sus ventajas a tenor de su pervivencia a lo largo de los siglos.

Hay numerosos y bien fundamentados estudios sobre la eficiencia de la ciudad mediterránea, más compacta que la septentrional. Sin embargo, este aspecto parece entrar en conflicto con otros relacionados con el acceso solar (Morganti, Coch y Cecere, 2012). Los climas cálidos extremos, tienden a presentar ciudades muy agrupadas, donde los edificios se protegen entre ellos del sol excesivo y, por ello, parece que rechacen la iluminación natural (Bourbia y Boucheriba, 2010). Sin embargo, en la ciudad mediterránea, de clima más temperado, no queda claro que esta estrategia sea siempre la más correcta.

La trama urbana, su densidad y su orientación pueden darnos actualmente distintas pautas para analizar las situaciones actuales. Los programas de simulación pueden permitir proponer otros casos y orientaciones para comprobar los cambios en su funcionamiento global y parcial, trabajando en un método de prueba y error, a través de simular distintas situaciones concretas (Crawley, Hand y Griffith, 2008).

3. Simulaciones informáticas como herramienta de parametrización urbana. La escala y el detalle

Los trabajos realizados por el equipo de investigación han llevado a detectar dos cuestiones importantes en la evaluación ambiental de la arquitectura en entornos urbanos a través de simulaciones informáticas.

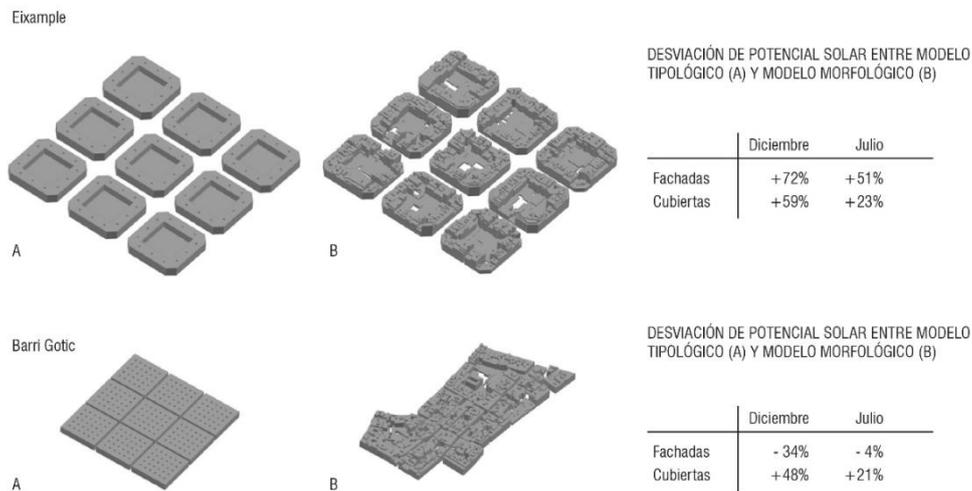
Un primer tema detectado a partir de distintos trabajos realizados, principalmente de asoleamiento en términos “energéticos”, – no simulaciones de sombras o de horas de sol sino de cantidad de energía (kWh/m²) acumulada en un plano determinado–, es que existe una divergencia importante en el nivel de precisión requerido según los objetivos de cada estudio y de la capacidad de detalle de los programas de cálculo existente. Importando los archivos donde se tiene la información gráfica de las ciudades a los programas de simulación de la demanda energética de los edificios, la limitación computacional de estos últimos da la posibilidad de optar por dos estrategias posibles: Simplificar la volumetría para hacerla compatible con una velocidad de cálculo aceptable o dividir la ciudad en fragmentos que posteriormente deberemos unir. Este primer salto cualitativo-cuantitativo que complica el análisis de un edificio en un entorno urbano determinado es el que nos lleva a buscar soluciones para determinar las formas más adecuadas de realizar los análisis energéticos (térmicos, lumínicos, etc.) de forma ágil y comprensible (Curreli y Coch, 2013).

En el desarrollo de diversos trabajos entre los que cabe citar la tesis doctoral de Alessandra Curreli (2016) y otros realizados en el Laboratorio Avenues de la Universidad Técnica de

Compiègne, dirigidos por el Dr. Benoit Beckers (Beckers y Masset, 2009), se detectaron los inconvenientes provenientes de la primera cuestión. Para obtener los datos deseados se ha optado, hasta el momento, por las dos opciones propuestas anteriormente, la simplificación y la fragmentación.

Figura 2. Comparación modelo tipológico y morfológico del Eixample i el Barrio Gótico

"[...] the existence of the city is based on a dialectical relationship between typology and morphology". C. Aymonino, 1976



Fuente: Alessandra Curreli. Acceso solar y morfología urbana: El caso de Barcelona. Imagen de la presentación de las "Jornadas Internacionales sobre Morfología Urbana Mediterránea", Barcelona 2016.

Una segunda cuestión detectada es la coherencia entre los rangos de precisión de las distintas escalas de trabajo de los programas. Los programas de simulación térmica, –actualmente ampliamente comprobados y validados–, tienen un nivel de precisión de cálculo muy elevado, incluso mayor de la necesaria para la realidad arquitectónica, pero se nutren de unos datos muy groseros y poco fiables. Es decir, los datos de entrada del proceso de cálculo pueden hallarse mucho más lejos de la realidad que cualquiera de las suposiciones hechas a lo largo del proceso de simulación. Uno de los errores más importantes, por su repercusión en el resultado final, son los datos climáticos de entrada provenientes de estaciones meteorológicas, probablemente alejadas de la ciudad y en una situación singular (Salvati, Coch y Cecere, 2016). Los errores de temperaturas medias, mínimas y máximas, la velocidad y frecuencia de los vientos y, sobre todo, los valores de radiación media obtenida, son los que tendrán una mayor repercusión en la demanda energética simulada. Por ese motivo, una mejora de la precisión de los programas de simulación térmica pierde sentido si no se acompaña de una mayor fiabilidad de datos de entrada.

Respecto a esta segunda cuestión, al no estar originada por la interconexión de programas informáticos, se detectó en primer lugar, en el cálculo térmico. Una primera propuesta fue desarrollar un "MODELO DE CLIMA" en el seno del proyecto CICYT AMB98-0641 "Elaboración de un sistema apto para la evaluación y planificación de la ciudad sostenible", cuyos resultados se integraron parcialmente en el programa informático Archisun, desarrollado en el proyecto "Renewable Energy Sources Implementation, Energy Saving and Certification. ARCHISUN"

financiado por la CCE, D.G. XVII THERMIE-B (DIS-1277-97-ES) en el que participaron diversos grupos de trabajo europeos.

4. La Isla de Calor. Modificación entre las condiciones climatológicas urbanas y rurales

En la actualidad, se está considerando la divergencia entre las condiciones climatológicas urbanas y las de estaciones meteorológicas bajo el epígrafe “isla de calor”, sobre el que se está trabajando en distintas partes del mundo. La isla de calor es una modificación micro climática inducida por la presencia de una área densamente urbanizada que determina un incremento de la temperatura respecto a la de las áreas rurales limítrofes. El fenómeno está determinado por la influencia de la atmósfera, la radiación solar y características morfológicas y de materiales, de naturaleza antropogénica.

La primera documentación se remonta a los estudios de L. Howard (1818) en los años 1801-41 sobre el clima de Londres. Se debe a Oke (1978) el estudio físico más profundo sobre el tema. La distribución espacial de las temperaturas urbanas evidencia que el fenómeno se manifiesta con mayor intensidad en las áreas de mayor densidad construida y escasa vegetación. En la ciudad mediterránea compacta, el bajo factor de vista de cielo (SVF) determina una contradicción entre la radiación solar incidente, las reflexiones múltiples y la radiación infrarroja emitida por los edificios (*trapping* radiativo) que contribuye a un aumento de la temperatura.

Figura 3. El consumo energético de la ciudad compacta

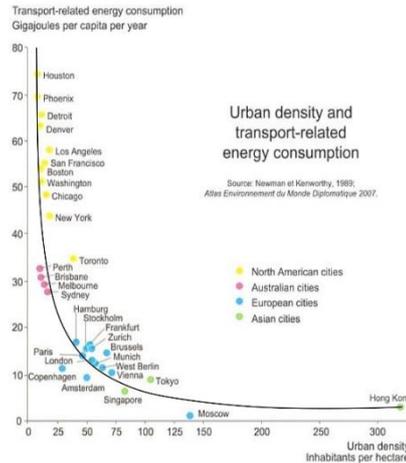
MOTIVAZIONE

FORMA E CONSUMI

La configurazione spaziale e funzionale della città influenza, in maniera diretta o indiretta due categorie di consumi che rappresentano la porzione preponderante dei “consumi urbani”: i consumi per il comfort e quelli per il trasporto.

Nel dibattito disciplinare internazionale, il tema della relazione tra morfologia, energia e sostenibilità si intreccia, alla problematica dello sviluppo delle aree urbane.

La critica mossa allo *sprawl* urbano si fonda proprio sulla valutazione di maggiori costi collettivi in termini di consumi energetici e trasporti. Per tale motivo il modello di «*città compatta*» viene proposto come un modello insediativo alternativo e sostenibile, in quanto promuove la mobilità sostenibile ed il mix sociale e funzionale, preservando il consumo di suolo.



- ➡ CONSUMI PER IL COMFORT
- ➡ CONSUMI PER IL TRASPORTO
- ➡ CLIMA URBANO

...la città compatta è effettivamente più sostenibile in termini energetici?

Fuente: Agnese Salvati. Imagen de la presentación de las “Jornadas Internacionales sobre Morfología Urbana Mediterránea”. Barcelona 2016.

Figura 4. Los factores contribuyentes a la Isla de Calor Urbana

Urban Heat Island

The Urban Heat Island (UHI) is a climatic phenomenon which causes an increase in urban air temperature than in the surrounding countryside.

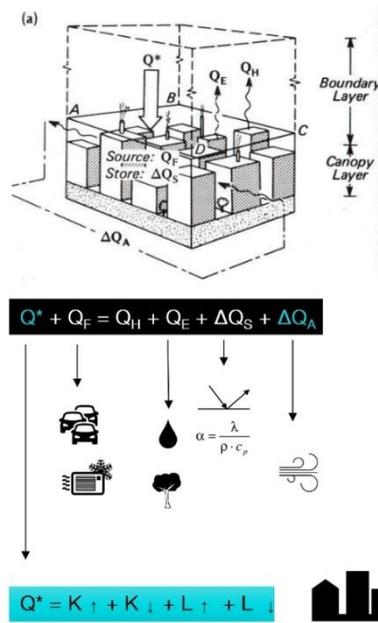
AVERAGE INTENSITY IN MEDITERRANEAN ZONE
between 2° and 9° C (Mat Santamouris, 2007)

RELEVANT URBAN VARIABLES:

- % of impervious surfaces
- % of vegetation and water
- Anthropogenic heat due to space heating/cooling
- Building density and morphology

EFFECT ON ENERGY CONSUMPTION
Increase of energy demand, above all in cooling dominated climates

↑ +2-9° C ↑ 13%



Fuente: Agnese Salvati. Imagen de la presentación de las “Jornadas Internacionales sobre Morfología Urbana Mediterránea”. Barcelona 2016.

Los parámetros morfológicos tienen una importancia capital a escala de tejido urbano. La relación entre el factor de vista de cielo y la intensidad de la isla de calor se ha evidenciado en múltiples estudios. Algunos resultados contradictorios son fruto de la observación y la medición puntual sobre partes limitadas y no homogéneas de ciudades situadas en climas muy diversos. Para realizar la evaluación de la demanda energética de los edificios existentes en un determinado contexto urbano es necesaria una integración entre los modelos de simulación del clima urbano y los modelos de simulación detallada a escala de edificio (Bouyer, Inard y Musy, 2011).

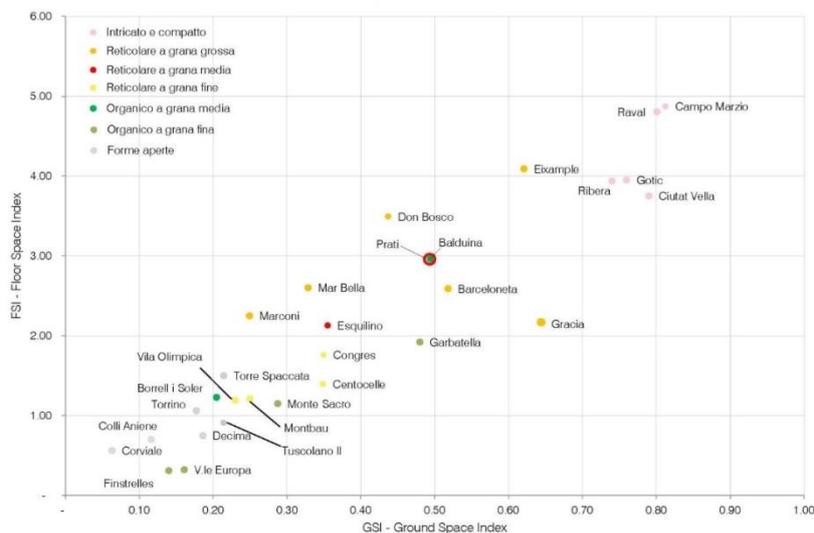
Parece interesante referirse al trabajo desarrollado por el Dr. Bueno (Bueno et al. 2013) en el MIT, que desarrolla un programa de cálculo que incorpora la modificación micro-climática ejercida por la ciudad en el clima urbano, el Urban Weather Generator (UWG). La doctora A. Salvati (2016) ha desarrollado una tesis que, a partir de las tramas identificadas por M. Morganti en su estudio sobre la densidad (Morganti, 2013), introduce las características urbanas en el programa UWG generando una entrada de datos corregida en el simulador energético Energy+ para extraer conclusiones sobre el efecto de la morfología urbana sobre el comportamiento energético en general y la isla de calor en particular.

5. El parámetro de densidad urbana y su definición

Una tercera cuestión importante en el estudio de la morfología urbana es la definición de densidad urbana, término al que se le han atribuido un amplio rango de definiciones y sentidos

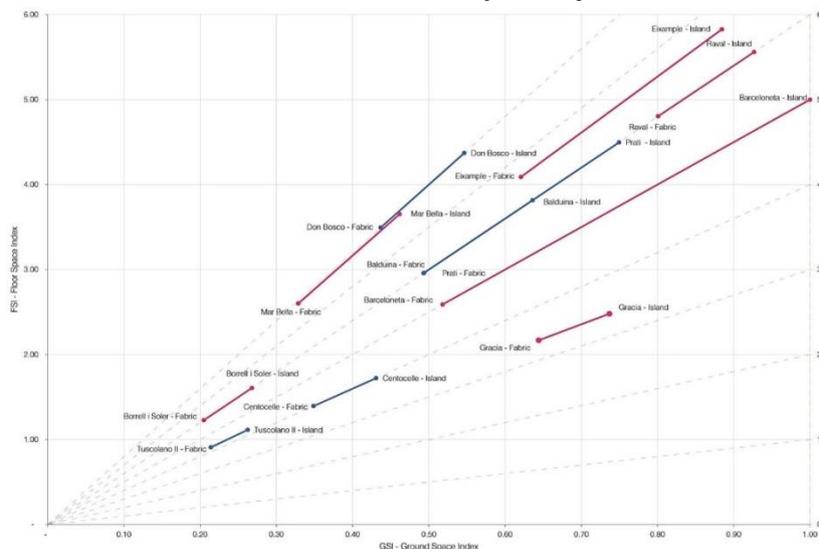
a lo largo del tiempo en publicaciones (Berghauer y Haupt, 2010). La investigación del doctor Michele Morganti (2013) busca explorar significados, calidades y habilidades analíticas del concepto de densidad y sus interpretaciones potenciales en el campo de la arquitectura y urbanismo. El concepto de densidad ha demostrado la capacidad de describir los rendimientos morfológicos del entorno construido. Esta investigación determina relaciones entre forma construida, energía y tejido urbano a través del parámetro de densidad en la ciudad compacta mediterránea.

Figura 5. **Spacemate. Valores de densidad-morfología urbana de los tejidos analizados en Barcelona y Roma**



Fuente: Michele Morganti. Sustainable Density. Form, Built Environment, Energy. Imagen de la presentación de las "Jornadas Internacionales sobre Morfología Urbana Mediterránea", Barcelona 2016.

Figura 6. **Valores de densidad para los casos de estudio a la escala de la manzana y del tejido**



Fuente: Michele Morganti. Sustainable Density. Form, Built Environment, Energy. Imagen de la presentación de las "Jornadas Internacionales sobre Morfología Urbana Mediterránea" Barcelona 2016.

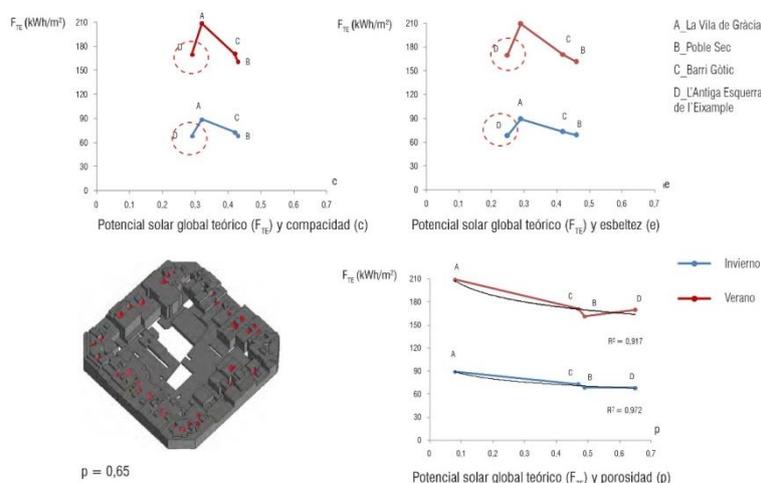
El concepto de densidad también está relacionado con la superficie de intercambio (S_p) entre el volumen habitable (V_h) y el volumen urbano (V_u). El parámetro capaz de relacionar estas tres variables nos puede acercar a un término de densidad volumétrica de la ciudad y, de esta forma, poder considerar el intercambio energético entre lo público y lo privado globalmente. Este término de compacidad urbana puede relacionarse con las características específicas de las tramas y, de esta forma, extraer las pautas de funcionamiento térmico de cada una de ellas. Esta información permitiría hallar unas pautas generales de comportamiento para asignar prioridades en el momento en que se plantea la rehabilitación en situaciones.

En el seno del proyecto MUM se ha profundizado en el estudio de los parámetros de densidad analizados por el Dr. Morganti en su tesis (Morganti 2013) a través de la realización de un workshop práctico, “Second International Workshop on Mediterranean Urban Morphology”, mayo 2016, Roma, en el que varios grupos de estudiantes analizaban diversos tejidos situados dentro de una misma trama general, desde el punto de vista de densidad urbana, con el objetivo de sacar conclusiones energéticas.

6. La piel del edificio como punto de intercambio entre el entorno urbano y el interior del edificio

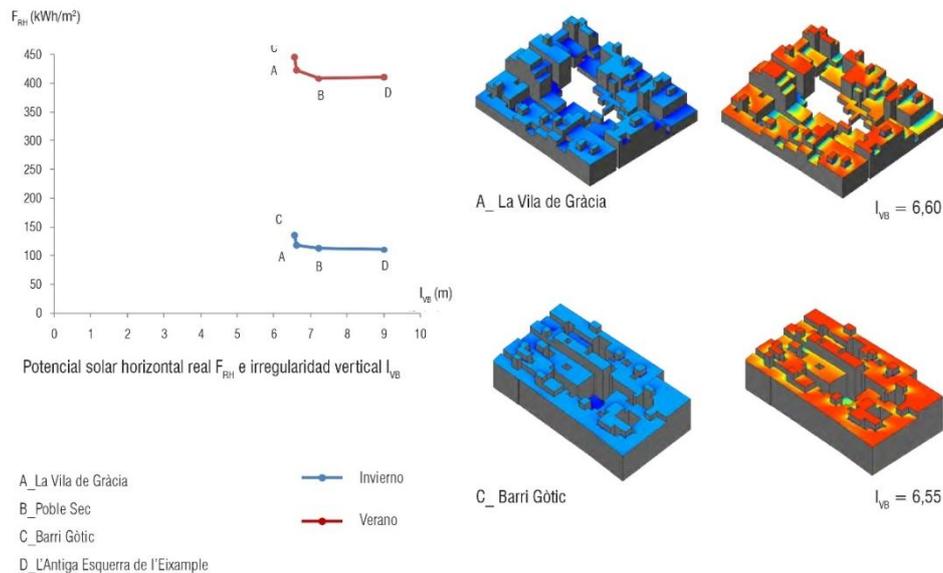
El tema de la densidad urbana y su relación energética con la ciudad construida está relacionado directamente con la piel de los edificios, y las posibilidades de rehabilitación del parque edificado, en cuanto a materiales y soluciones constructivas. El parámetro de densidad volumétrica propuesto se concluye como necesario para llegar a resultados significativos a partir de los estudios realizados por la Dra. Pagès en el trabajo coordinado por el Dr. Cuchí y el Sr. Sweatman del Grupo de Trabajo sobre Rehabilitación “Una visión-país para el sector de la edificación en España. Hoja de ruta para un nuevo sector de la vivienda” (Cuchí y Sweatman, 2011), donde se consideran variables en el parque edificado existente, como el año de construcción o el tipo edificatorio, con el objetivo de establecer estrategias de rehabilitación.

Figura 7. La influencia de la morfología del bloque en la envolvente



Fuente: Alessandra Curreli. Acceso solar y morfología urbana: El caso de Barcelona. Imagen de la presentación de las “Jornadas Internacionales sobre Morfología Urbana Mediterránea”, Barcelona 2016.

Figura 8. La influencia de la morfología del bloque. La irregularidad vertical



Fuente: Alessandra Curreli. Acceso solar y morfología urbana: El caso de Barcelona. Imagen de la presentación de las "Jornadas Internacionales sobre Morfología Urbana Mediterránea", Barcelona 2016.

El proyecto de investigación también ha abordado el tema de la rehabilitación energética desde una escala más próxima, teniendo en cuenta materiales y soluciones constructivas aptas para la edificación existente o para nueva edificación en entornos urbanos. La Dra. Pardal ha trabajado anteriormente con soluciones constructivas de doble piel, principalmente en fachadas (Paricio y Pardal, 2015; Pardal, Paris y Paricio, 2012). Éste campo se presenta con un amplio rango a investigar sobre los materiales adecuados para la rehabilitación de fachadas en climas cálidos y con alta radiación solar, ya que la mayoría de trabajos realizados se han centrado en climas más fríos y con menor radiación que los de la franja mediterránea.

El Instituto Tecnológico de Energías Renovables (ITER, 2016) de Canarias trabaja con casos de estudio reales con usuarios, sobre los que puede aplicar prototipos de soluciones y monitorizarlas. Este proceso se ha realizado con simulaciones y monitorizaciones del comportamiento térmico de casos reales y también en monitorización del comportamiento lumínico. El proyecto MUM ha incluido una visita a esta institución con el fin de obtener datos sobre las monitorizaciones.

Figura 9. Instituto Tecnológico de Energías Renovables de Canarias



Fuente: Fotografías de Marta López Viana.

Otros trabajos, como la tesis doctoral del Dr. Rieradevall (2014), han trabajado en el estudio del potencial de rehabilitación de una trama urbana concreta, en este caso, los polígonos de viviendas de los años 70 en general y el caso de Montbau, en Barcelona, en particular. Por otro lado, el workshop internacional realizado en Roma permitió estudiar la relación energética de la piel con el interior del edificio con más profundidad a través de un análisis comparativo de la piel de los edificios de los tejidos estudiados en su relación lleno-hueco.

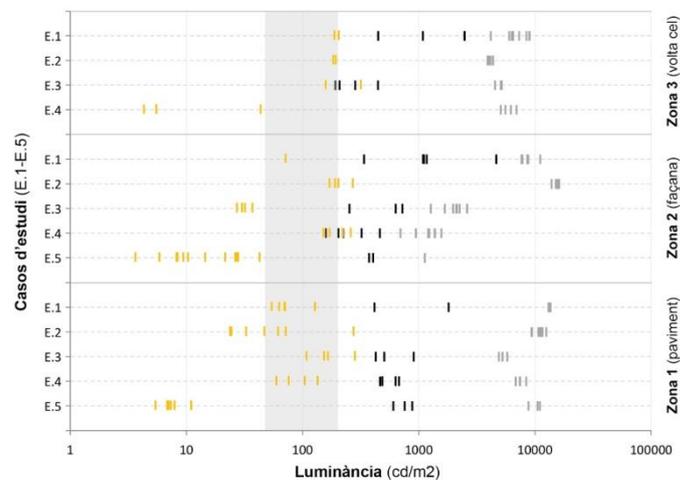
Finalmente, el intercambio de energía entre el interior y exterior de los edificios construidos no se plasma únicamente en la piel como delgada línea de transición, sino en todos sus espacios adyacentes. La luz y la sombra, el frío y el calor, la humedad y la sequedad, se transmiten a los espacios contiguos a los exteriores a través de la membrana que entendemos como fachada. Sin embargo, la piel propiamente dicha abarca unas dimensiones mayores dependiendo del tipo de arquitectura o del tipo de energía tenido en cuenta. Las galerías del ensanche, analizadas en la tesis del Dr. Solsona (2015) “La cara oculta de Barcelona”, son unos de estos espacios de transición que dan forma al intercambio interior-exterior.

7. La luz y la sombra como elementos conformadores del entorno urbano

La luz es una forma de energía que da forma al espacio construido y su introducción en el interior del entorno habitado es la responsable de grandes decisiones geométricas y arquitectónicas. Por otro lado, el confort en el espacio urbano está estrechamente relacionados con este factor y, por supuesto, la otra cara de la misma moneda: la sombra. Una plaza con sombra o plenamente expuesta al sol en un clima concreto tendrá una respuesta muy diferente de sus usuarios. Sin olvidar que los efectos del contraste pueden afectar de gran manera a los movimientos de los usuarios en la ciudad.

La tesis de la Dra. López-Besora (2015), “La luz mediterránea y los espacios de acceso de la arquitectura” explora la influencia de la luz y la sombra en los espacios de transición de la piel.

Figura 20. Análisis de las luminancias en los espacios de acceso en la arquitectura



Gráfica resumen de las 3 zonas de la escena urbana y los valores de luminancia medidos en el interior y exterior de los diferentes casos de estudio. Amarillo los valores interiores, en gris los valores al sol y en negro los valores a la sombra.

Fuente: Judit López-Besora. La llum mediterrània i els espais d'accés a l'arquitectura p 71.

Los accesos de los edificios son un punto clave en la concurrencia de los parámetros ambientales exterior e interiores, el área limítrofe entre el espacio urbano y la arquitectura. Por otro lado, las tesis del Dr. Domínguez-Carreño (2015) y la Dra. Anagnou (2014) trabajan la sombra y la luz, respectivamente, tanto en la arquitectura concreta como su efecto en el entorno urbano.

El papel de la sombra en el espacio urbano se ha investigado de forma general a través de la organización del Workshop Internacional Fabrics, con participantes de la Escuela de Arquitectura de Barcelona, ETSAB, y la Keio University de Tokio (Japón). Sus participantes reflexionaron sobre la interacción de la algo tan simple y etéreo como la sombra en la ciudad construida. Por otro lado, el trabajo de la doctoranda Rojas-Cotorreal (Rojas, Roset y Navés, 2015), en proceso de realización actualmente, estudia el efecto de la vegetación urbana sobre su entorno a través de la sombra proyectada de los árboles.

8. “Jornadas Internacionales sobre Morfología Urbana Mediterránea.” Discusión y puesta en común de resultados

Con el objetivo de favorecer el intercambio de conocimiento y facilitar el trabajo conjunto de los investigadores que participan en el proyecto MUM, se organizaron el 4 y 5 de abril de 2016 unas Jornadas en Barcelona. Presentamos a continuación las diferentes aportaciones hechas por miembros del equipo y colaboradores con el objetivo de que actúen como resumen de los ejes de investigación abiertos en este proyecto.

Estas jornadas sirvieron para componer el mosaico formado por la suma de aportaciones, tesis doctorales, trabajos académicos y profesionales y comunicaciones a congresos que forman parte de esta investigación. El conjunto representa un espléndido panorama de los diferentes estudios realizados y reúne las conclusiones a las que cada trabajo ha llegado. Estas conclusiones parciales toman un papel mucho más relevante cuando se ponen en común y permiten consolidar un progreso que puede acabar de tomar forma en futuras investigaciones.

La parte más sustancial de las jornadas sobre el proyecto MUM la componen tres tesis doctorales. Michele Morganti (2013) (profesor de la universidad Roma 1, Sapienza) presentó su trabajo titulado “Indicadores de densidad para el análisis energético a escala urbana en clima mediterráneo” Alessandra Curreli (2016), arquitecta en ejercicio profesional, presentó “Acceso solar y morfología urbana: el caso de Barcelona” y Agnese Salvati (2016), con la tesis “Morfología, isla de calor y energía: parámetros y herramientas de análisis a escala urbana.”

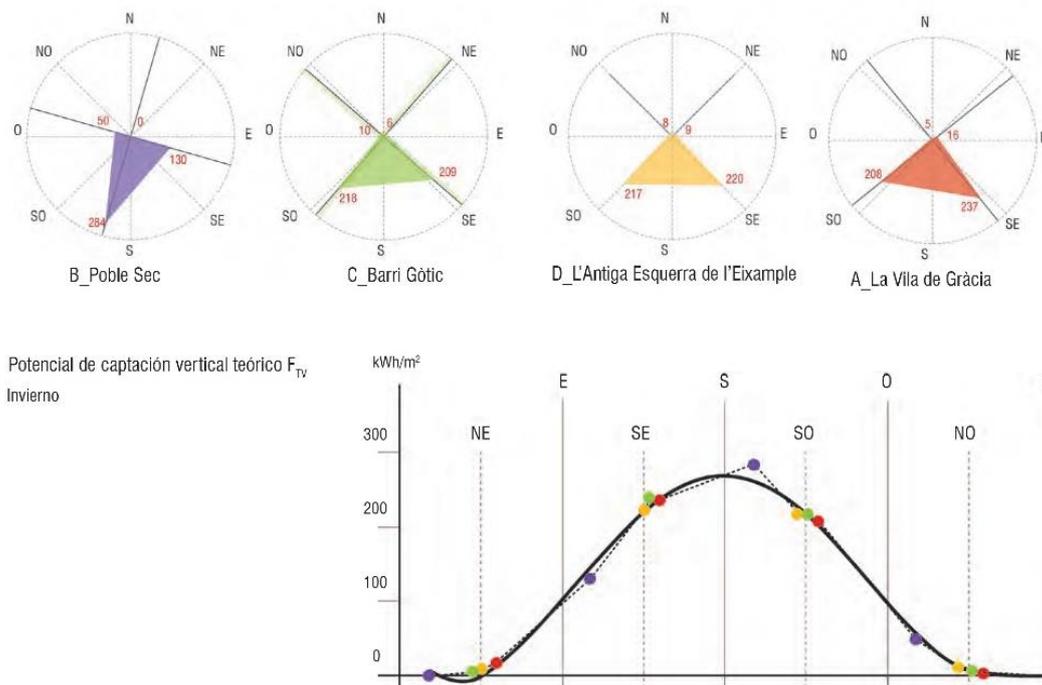
La presentación del Dr. Morganti planteaba el papel de la densidad de la trama urbana como factor determinante en el comportamiento energético de los edificios. Su trabajo le llevó a determinar los parámetros de medición del tejido urbano real y a establecer los criterios de simplificación que pudieran definir los diferentes modelos digitales de estudio. Morganti llega a determinar que existe una relación entre masa y energía según la cual, la variable masa es importante al evaluar la demanda energética de la edificación, ya que su acción reguladora actúa de forma positiva en climas mediterráneos. Teniendo en cuenta que la masa de los edificios tiene relación directa con la forma del tejido urbano de estudio y con la época de construcción, el trabajo determinó que estos factores eran los que tenían mayor implicación en

la “pesadez” como característica tipológica del comportamiento energético de los diferentes tejidos urbanos en ciudades consolidadas.

La tesis doctoral de Alessandra Curreli (2016), se centra en el acceso solar y su posible explotación como tema principal, determinando las características de compacidad de la ciudad mediterránea (Curreli y Coch, 2013b). Curreli diferencia el concepto de densidad social del de densidad física y propone dejar de lado los aspectos sociales para ahondar en las características formales. A partir de muestras de tejido urbano reales y de la simplificación de los modelos 3D sin perder cualidades formales que distorsionen los resultados, llega a diferenciar los modelos tipológicos (simplificados) de los modelos morfológicos (más cercanos a la realidad concreta) (Curreli y Coch, 2013). Con este proceso, Curreli determina los elementos de estudio a partir de los cuales obtener datos comparables. A partir de muestras de tejidos urbanos de la ciudad de Barcelona somete a análisis los modelos. Las conclusiones del estudio ponen de relieve la importancia de las irregularidades en el comportamiento de la ciudad compacta mediterránea ante el acceso solar.

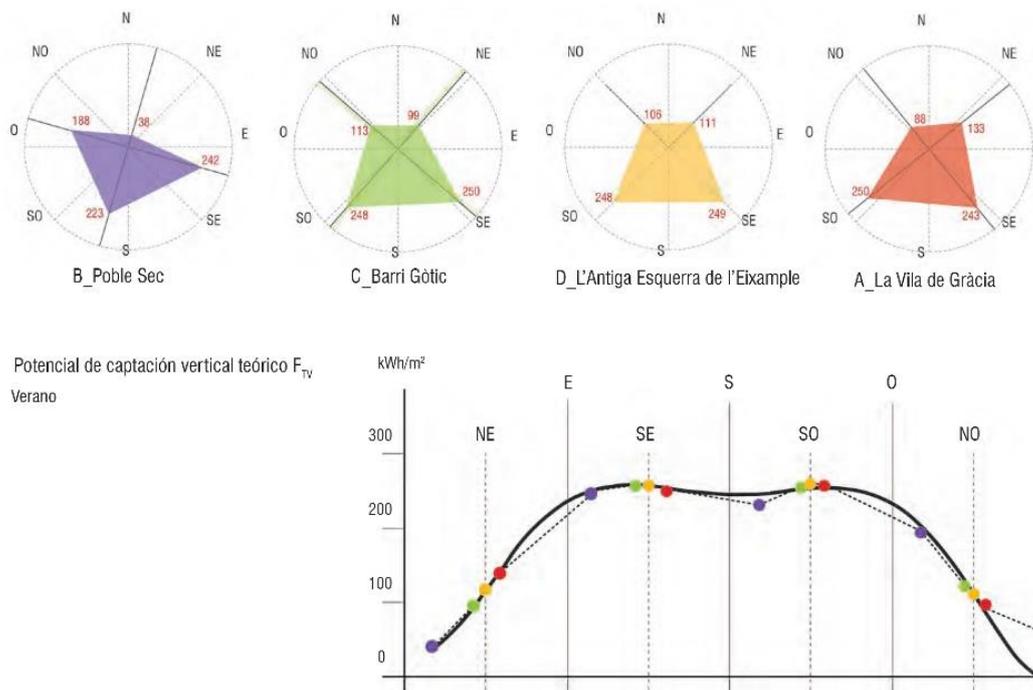
Se observa que las irregularidades en el plano vertical, lo que podría ser el skyline de la calle, pueden ser beneficiosas y facilitar el acceso solar a las fachadas, en una ciudad compacta consolidada. Sin embargo las irregularidades del plano horizontal de la ciudad, es decir el conjunto de cubiertas de los edificios, pueden suponer un perjuicio al potencial de captación solar de la masa edificada.

Figura 31. La influencia de la orientación de las fachadas en el acceso solar según los casos de estudio. Potencial de captación vertical teórico en invierno



Fuente: Alessandra Curreli. Acceso solar y morfología urbana: El caso de Barcelona. Imagen de la presentación de las “Jornadas Internacionales sobre Morfología Urbana Mediterránea”, Barcelona 2016.

Figura 42. La influencia de la orientación de las fachadas en el acceso solar según los casos de estudio. Potencial de captación vertical teórico en verano

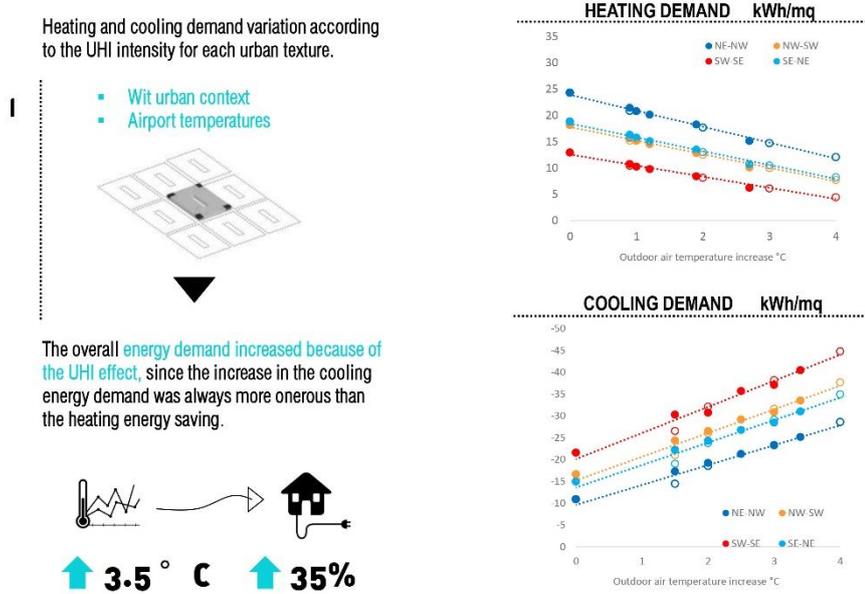


Fuente: Alessandra Curreli. Acceso solar y morfología urbana: El caso de Barcelona. Imagen de la presentación de las "Jornadas Internacionales sobre Morfología Urbana Mediterránea", Barcelona 2016.

La tesis doctoral de Agnese Salvati (2016) se centra en la importancia del efecto de isla de calor en ciudades compactas y la incidencia de la morfología urbana en ésta. Para este trabajo se tomaron casos de tramas urbanas de dos ciudades mediterráneas, Roma y Barcelona, y tomaron modelos ya trabajados por Morganti y Curreli. El trabajo más significativo de Salvati es la determinación de un sistema de parámetros que se pudieran combinar entre sí para describir con más precisión el efecto de isla de calor, ya que los datos que expresan éste fenómeno son en general poco completos y no definen la situación real, cercana al ciudadano, que es quien disfruta o sufre el ambiente urbano.

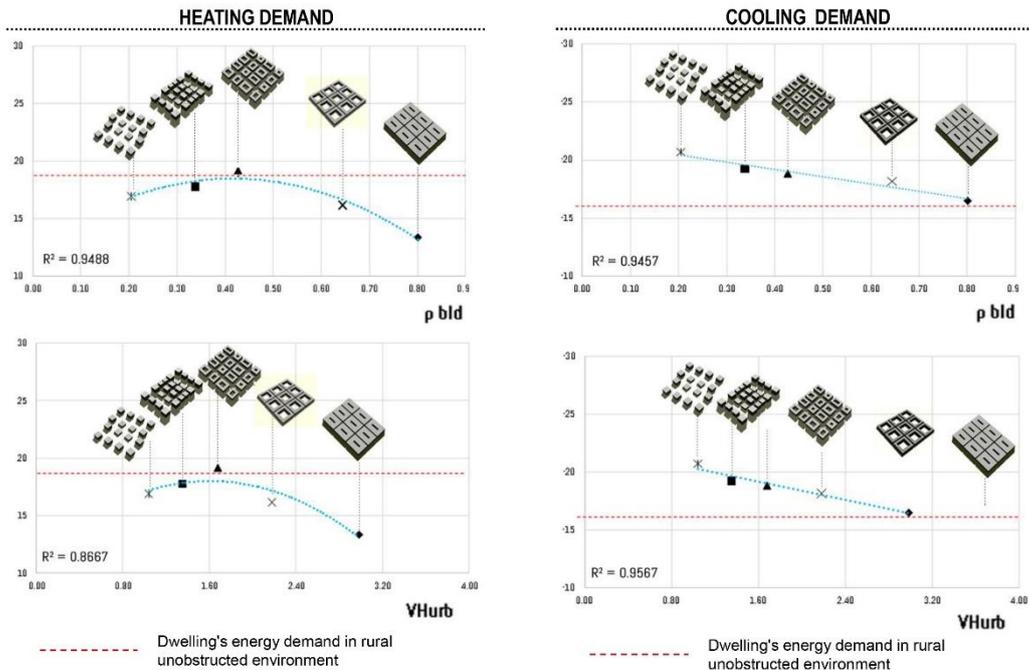
La principal herramienta digital usada para el trabajo es el Urban Weather Generator (Bueno et al. 2013), ya que el programa incorpora en su modelo de cálculo la morfología como una de las variables que afectan el efecto de isla de calor. Los parámetros definidos (*site coverage ratio*, *façade site ratio* y altura media de los edificios) complementan la idea de compacidad de los tejidos urbanos con la dimensión de la verticalidad. En su trabajo se puede observar que, en determinados rangos de compacidad urbana, en ciudades muy compactas, las consecuencias del efecto de isla de calor pueden quedar mitigadas por el difícil acceso de la radiación solar y reducir la demanda de energía si se considera el balance anual. Una aportación significativa de este trabajo es el concepto de densidad vertical, entendiéndolo que puede ser un parámetro trascendente en la caracterización de la trama urbana en climas de la zona mediterránea y que no ha sido estudiado.

Figura 53. Relación entre la demanda de calefacción/refrigeración y la Isla de Calor Urbana



Fuente: Agnese Salvati. Imagen de la presentación de las “Jornadas Internacionales sobre Morfología Urbana Mediterránea”, Barcelona 2016.

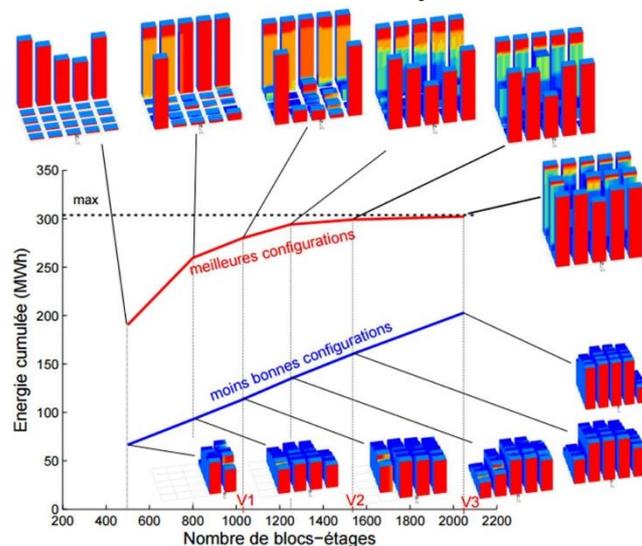
Figura 64. Relación entre la demanda energética y la morfología urbana



Fuente: Agnese Salvati. Imagen de la presentación de las “Jornadas Internacionales sobre Morfología Urbana Mediterránea”, Barcelona 2016.

Las jornadas incluyeron aportaciones valiosas para completar el panorama del trabajo desarrollado por el grupo de investigación. El profesor Benoit Beckers presentó la ponencia “Simulación multifísica para el diseño urbano”. El Dr. Beckers propone una virtud de las ciudades, desde el punto de vista energético, es la relación entre el peso y el tamaño ocupado por los edificios y los espacios usados. Según esta ecuación, se pone de relieve que ciudades históricas, en las que la ocupación de la ciudad era menor y el peso de las construcciones mayor, podían proporcionar condiciones energéticamente más favorables. Sostiene que un malentendido progreso sigue la tendencia contraria, de manera desbocada, cuya consecuencia, entre otras, es la migración del calor urbano a las zonas frías del planeta. Hacen falta, por lo tanto, herramientas de análisis y de medición que pongan cifras a estas consideraciones, un tema que Beckers identifica con el término de la física urbana, que se ha explorado en más profundidad en el “First International Conference on Urban Physics”, 25 de septiembre – 2 de octubre de 2016.

Figura 75. Evolución de la función-objetivo con la densidad



Fuente: Benoît Beckers. Imagen de la presentación de las “Jornadas Internacionales sobre Morfología Urbana Mediterránea”, Barcelona 2016. (Thibaut Vermeulen 2014, Tesis Doctoral)

Beckers también nos recuerda que, en esta disciplina, es importante poder tener una perspectiva a diferentes escalas de manera simultánea y plantear un grano de análisis unitario adecuado a cada una. Las diferentes escalas implican diferentes plazos de duración: las decisiones de planeamiento urbano tienen consecuencias a mucho más largo término, de mínimo 300 años; las decisiones arquitectónicas tienen consecuencias más inmediatas, de unos 100 años; y finalmente las decisiones en las instalaciones tienen una trascendencia mucho más inmediata, a unos 15 años vista. Es peligroso tomar decisiones sobre planeamiento urbano con datos y mentalidad a escala y mentalidad de instalaciones. La ponencia expuso el ejemplo del caso de estudio de un fragmento de la ciudad de Compiègne (Francia) y las herramientas de cálculo, cámaras termográficas y software de simulación con las que están trabajando en este caso.

Las conclusiones de los trabajos del Dr. Beckers incluyen apreciaciones de las cualidades de los diferentes tejidos de ciudades. Un caso en concreto expuesto en la ponencia es la

confirmación de la importancia de la morfología urbana en el comportamiento energético dependiendo del clima en concreto y, sobretodo, de la incidencia solar, considerando que a latitudes más altas la incidencia del sol es más rasante y puede ser crítica. En estos casos, se puede apreciar que, en general, las ciudades con mayores irregularidades, en la dimensión vertical especialmente, se demuestran más eficientes. La ponencia aboga decididamente por huir de la uniformidad de la forma urbana, reafirmando de nuevo la idea de la conveniencia de las irregularidades como elemento de mejora en la forma de la ciudad, como ya apuntaba la Dra. Curreli.

Las jornadas contaron con la aportación de miembros del equipo CPSV-UPC, Josep Roca Cladera y Pilar García Almirall, catedráticos del Departamento de Tecnología de la Arquitectura de la UPC y Carlos Marmolejo, Dr. Arquitecto profesor en la ETSAB.

La Dra. García Almirall expuso resultados de un trabajo (García-Almirall y Moix Bergadà, 2013), “Estrategias de crecimiento residencial de la ciudad consolidada” que, mediante técnicas de representación de sistemas de información geográfica, permitió analizar la situación actual y proponer el “potencial de crecimiento interior” de una ciudad mediterránea como Mataró. Su presentación abundó en la idea de que los dibujos no sólo representan los datos sino que en cierto modo representan la misma ciudad. El estudio representa en un solo dibujo la situación de la forma actual del parque edificado, localiza y caracteriza las oportunidades de mejora que, desde la intervención puntual y propone actuar en la ciudad como conjunto. Redensificar, rehabilitar edificios vacíos, reciclar edificios obsoletos o subdividir viviendas de gran dimensión, son las medidas que García Almirall propone en su trabajo, para absorber el crecimiento urbano y paliar la invasión del territorio. En definitiva, *residencializar* el centro de las ciudades – una idea de media escala- buscando los puntos de oportunidad en el detalle a escala de edificio.

El Dr. Josep Roca Cladera aportó una visión global de las posibilidades del análisis adecuado a partir del comportamiento del tejido urbano y su incidencia en el medio ambiente. La relación entre el cambio climático y el urbanismo ha de poderse analizar de forma coherente y para ello debemos saber escoger las herramientas que evalúen el comportamiento urbano a diversas escalas. Presentó un trabajo sobre el efecto que la vegetación puede tener en el mapa radiante de la ciudad, y para ello la información satelital es imprescindible.

El Dr. Carlos Marmolejo presentó un estudio sobre la trascendencia que ha tenido la implantación de las certificaciones energéticas en el mercado inmobiliario. Marmolejo demostró con datos objetivos que el comportamiento de los agentes del mercado de la vivienda, compradores y agencias, no han considerado que una valoración energética positiva sea un valor añadido a las cualidades de una vivienda. Las etiquetas energéticas generan trabajo, leyes y normas pero de momento no han generado valor en los bienes inmuebles, por lo que se han convertido en un impedimento socio-económico más que una herramienta de mejora.

Se contó también con aportaciones de dos entidades colaboradoras con el grupo AiE y cuyo trabajo debe ponerse de lado como aportaciones instrumentales al trabajo que centra el proyecto de investigación.

En primer lugar el equipo de 3000000 Km/h, formado por Mar Santamaría y Pablo Martínez (Hostench, Santamaria y Martínez 2016), presentó sus trabajos de representación gráfica de datos a partir de sistemas de información geográfica. La información numérica de multitud de datos se puede configurar sobre el plano de las ciudades. Esto facilita el análisis de infinidad de cuestiones, a veces difíciles de medir, que no son importantes cuantitativamente, pero que, una vez localizadas en una posición geográfica concreta adquieren una relevancia notable. La traducción de los datos numéricos, sin estructura concreta, a un dibujo permite deducir información cuantificada que puede aportar conclusiones nuevas sobre determinados aspectos de la ciudad. Es importante, pues que los expertos en este manejo de datos compartan la perspectiva de la utilidad de sus conclusiones y sepan leer e interpretar los dibujos como gráficos matemáticos con leyes propias. Estos dibujos ponen en evidencia las tendencias y la relevancia de algunos datos en ciertas zonas de la ciudad, en los que fundamentar la investigación. La posibilidad de plasmar gráficamente el cruce de varios datos diferentes permite la observación de temas que no serían concluyentes por si solos como datos numéricos aislados.

Figura 8. **Geographies of Innovation**



Fuente: 300000km/s. Disponible en <http://www.300000kms.net/geografias-de-la-innovacion/>

Antonio Magariños, del Institut de Cartografia i Geologia de Catalunya (ICGC, 2014), una entidad pública que está trabajando con medios tecnológicos avanzados y cuenta con profesionales de alto nivel, presentó los servicios ofrecidos por la entidad en relación a la información gráfica de la morfología del territorio, incluidas las ciudades como relieve artificial. Magariños explicó también los avances que se están realizando actualmente en el ICGC para poder ofrecer unos datos más completos de información geográfica. Por otro lado, también presentó el sistema de organización de la información tratada, con cuatro posibles niveles de precisión, que se mostraron muy coherentes con los planteamientos de las jornadas en las que se ha puesto de manifiesto la necesidad de trabajar a diferentes escalas y de ajustar el grado de detalle en el manejo de información adecuada a cada una de ellas.

Cada sesión de presentación de aportaciones se cerró con una mesa redonda que planteó un debate a los asistentes. La primera, moderada por la directora del Grupo de investigación Helena Coch, con la participación de Michele Morganti, Agnese Salvati y Carlo Cecere, puso de relieve la dificultad de simplificar la complejidad de la ciudad. Podemos aspirar a definir esa complejidad con aproximaciones adecuadas para cada caso. La sistematización debe servir de modo adecuado al objetivo de estudio. La ciudad puede parecer un archipiélago de islas cuya

complejidad está ligada al lugar en el que se encuentra Y ante los datos presentados, se demuestra que la uniformidad es un enemigo a batir.

La segunda mesa redonda presidida por Benoit Beckers, con la participación de Antonio Magariños, Pilar García Almirall y Carlos Marmolejo, recogió las consideraciones de los ponentes de la sesión y se insistió en la necesidad de que las políticas oficiales y las normativas de certificaciones energéticas cumplan con sus objetivos de forzar al mercado a poner en valor las cualidades ambientales de los edificios. También se expresó la necesidad de romper la tendencia según la cual las decisiones sobre el planeamiento se ven condicionadas por criterios que atienden a la tecnología puntera que tiene una vigencia de corto alcance.

La tercera mesa redonda de las jornadas, presidida por Josep Roca Cladera, Mar Santamaría, Alessandro Rogora y Benoit Beckers, puso en relevancia un factor común a las ponencias del día: el gran potencial de la representación gráfica como mecanismo de análisis. Es importante la superposición del tiempo en la morfología urbana o, dicho de otro modo, la planificación debe incorporar la manera de vivir la ciudad a lo largo del tiempo. Los modelos abstractos, que pueden servir para visualizar los datos o establecer las fórmulas de cálculo, han de convertirse inmediatamente en estrategias que incorporen la configuración del modo de vida. Por ese motivo, un reto planteado es poder representar el comportamiento como base para analizar los cambios de uso de la ciudad y la adecuación de nuevas estrategias para su mejora.

Estas jornadas permiten percibir las aportaciones del proyecto MUM. En primer lugar, de reafirmar la re-densificación como una aportación positiva desde el campo de la arquitectura para revertir la tendencia desbocada de crecimiento urbano. En segundo lugar, se presentan el peso y la compacidad de las ciudades, en climas mediterráneos, como elementos positivos para el comportamiento energético. Por otro lado, se afirma que las ciudades compactas funcionan de forma más adecuada ambientalmente desde el punto de vista del potencial solar si cuentan con irregularidades en el plano vertical pero a la vez mantienen al máximo la regularidad del plano de cubiertas. A su vez, se impone incorporar a los análisis la idea de densidad vertical urbana, identificable también con la densidad percibida. Finalmente, es necesario destacar que las herramientas de representación de la información, como los sistemas de GIS y los criterios de selección intencionados para aislar datos concretos permiten construir dibujos que se convierten ellos mismos en método de investigación y de análisis.

9. Conclusión

La finalidad central de este proyecto es la generación de conocimiento para establecer una base científica fiable sobre la cual fundamentar los criterios que rijan la toma de decisiones en el diseño de ciudades o la intervención en las existentes. La labor de construcción pero, sobre todo, de rehabilitación de nuestras ciudades no debe abordarse desde un punto de vista individual, sino social. Las disposiciones o recomendaciones que se tomen en el momento de determinar una política de rehabilitación no deberían favorecer al individuo sino al conjunto.

El objetivo final del proyecto es poder tener pautas claras sobre el comportamiento energético y ambiental de las ciudades a partir de evaluaciones suficientemente aproximadas al comportamiento global de éstas. Basándose en estas pautas de funcionamiento, se pueden

proponer actuaciones que contribuyan en la reducción del impacto de la actividad humana sobre el medio ambiente.

Agradecimientos

Este artículo recoge diversas aportaciones hechas al proyecto “Morfología Urbana Mediterránea” MUM- financiado por el Ministerio de España (BIA2013-45597) y presenta los resultados de las participaciones a la II Jornada Internacional sobre Morfología Urbana Mediterránea realizada el mes de abril de 2016 en Barcelona.

Bibliografía

ANAGNOU, E. *Escenas comerciales de Barcelona. Atractivo visual de los escaparates con la luz natural de las ciudades mediterráneas*. Tesis doctoral. UPC. Barcelona. 2014. 505 p. Disponible en: <<http://futur.upc.edu/15244809>>.

BECKERS, B. y MASSET, L., Heliodon.net. [sitio web]. 2009. [Consulta: 5 abril 2016]. Disponible en: <<http://heliodon.net/heliodon/index.html>>.

BERGHAUSER, M. y HAUPT, P. *Spacematrix. Space, Density and Urban Form*. Rotterdam, NAI, 2010. 279 p.

BOURBIA, F. y BOUCHERIBA, F. *Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine)*. En: *Renewable Energy*, 35 (2): 343-347, 2010.

BOUYER, J. et al. *Microclimatic coupling as a solution to improve building energy simulation in an urban context*. En: *Energy and Buildings*, 43 (7): 1549-1559, 2011.

BUENO, B. et al. *The urban weather generator*. En: *Journal Of Building Performance Simulation*, 6 (4): 3-6, 2013

CRAWLEY, D.B. et al. *Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs*. En: *Building and Environment*, 43 (4): 661-673, 2008.

CUCHÍ, A. y SWEATMAN, P., 2011. *Una visión-país para el sector de la edificación en España*. GBCe, CONAMA.

CURRELI, A. *El acceso solar a la escala del tejido urbano. El enfoque morfológico y el método de análisis comparativo aplicados al caso de Barcelona*. Tesis doctoral. UPC. Barcelona. 2016. 312 p. Disponible en: <<http://www.tdx.cat/handle/10803/392707>>.

CURRELI, A. y COCH, H. *3-D geometrical modelling and solar radiation at urban scale - morphological or typological digital mock-ups*. En: *CISBAT International Conference (7ª, Lausanne, Switzerland)*. Proceedings of CISBAT Conference. Lausanne, Switzerland, , 2013. pp. 1029-1034.

CURRELI, A. y COCH, H. *Urban layout and façade solar potential: A case study in the*

Mediterranean region. En: ACE: architecture, city and environment = arquitectura, ciudad y entorno, 7(21): 117-132, 2013b.

DOMÍNGUEZ-CARREÑO, E. *El valor de la sombra*. Tesis doctoral. UPC. Barcelona. 2015. 515 p. Disponible en: <<http://www.tdx.cat/handle/10803/299069>>

GARCIA-ALMIRALL, P. y MOIX, M., 2013. Estimació del potencial d'habitatge en sòl urbà. El cas de Mataró. [consulta 5 abril 2016]. Disponible en: <<http://hdl.handle.net/2117/27794>>

HOLDEN, E. y NORLAND, I., *Three challenges for the compact city as a sustainable urban form: Household consumption of energy and transport in eight residential areas in the greater Oslo Region*. En: Urban Studies, 42 (12): 2145-2166, 2005.

HOSTENCH, O., SANTAMARIA, M. y MARTÍNEZ, P., 300.000 km/s [sitio web]. 2016. [Consulta: 5 abril 2016] Disponible en: <<http://www.300000kms.net>>

HOWARD, L. *The Climate of London deduced from meteorological observations*. London, W. Phillips, 1818.

ICGC [sitio web]. 2014. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya [consulta 5 abril 2016]. Disponible en: <<http://www.icgc.cat/ca>>

ITER [sitio web]. 2016. Instituto Tecnológico de Energías Renovables. [consulta 5 abril 2016]. Disponible en: <<http://www.iter.es>>

LÓPEZ-BESORA, J. *La llum mediterrània i els espais d'accés a l'arquitectura*. Tesis doctoral. UPC. Barcelona. 2015. 351 p. pp. 71. Disponible en: <<http://hdl.handle.net/10803/334410>>

MORGANTI, M. *Sustainable density: form, built environment, energy*. Tesis doctoral. UPC. Barcelona. 2013. 265 p. Disponible en: <<http://hdl.handle.net/10803/365041>>

MORGANTI, M. et al. *The effect of urban obstructions in mediterranean climates: built form, typology, density and energy*. En: ACE: architecture, city and environment = arquitectura, ciudad y entorno, 7(19): 13-26, 2012.

OKE, T.R., *Boundary layer climates*. 2nd. Edition. New York, Routledge. 1987. 289 p.

PARDAL, C. et al. *The Industrialization of ventilated façades*. En: International Congress on Architectural Envelopes (6º, 2012, Donostia-San Sebastián, España). Proceedings. Donostia-San Sebastián, España, 2012. pp. 119-126.

PARICIO, I. and PARDAL, C. *Approach to a light-weight façade taxonomy*. En: International Congress on Architectural Envelopes (7º, 2015, Donostia-San Sebastián, España). Proceedings. Donostia-San Sebastián, España, 2015. pp. 177-184.

RIERADEVALL PONS, J.M. *Rehabilitación energética de edificios. La piel del edificio. Los polígonos de vivienda de los años 70 en Barcelona. La rehabilitación del polígono de Montbau*.

Tesis doctoral. UPC. Barcelona. 2014. 298 p. Disponible en:
<<http://hdl.handle.net/10803/285002>>

ROJAS, G. et al. *La vegetación en el confort micro climático: comparación de especies del clima mediterráneo de Barcelona, España*. En: ACE: architecture, city and environment = arquitectura, ciudad y entorno, 11 (29): 59-84, 2015.

SALVATI, A., 2016. *La città compatta in clima Mediterraneo. Isola di calore, morfologia e sostenibilità = The compact city in Mediterranean climate: heat island, urban morphology and sustainability*. Tesis doctoral. UPC. Barcelona. 2016. 297 p. Disponible en:
<<http://www.tdx.cat/handle/10803/394047>>

SALVATI, A. et al. *Urban morphology and energy performance: the direct and indirect contribution in mediterranean climate*. En: International Conference on Passive and Low Energy Architecture - PLEA (31º, Bolonia, Italia). Proceedings of PLEA Conference. Bolonia, Italia, Building Green Futures, 2016. pp. 1-8.

SOLSONA, X., 2015. *La cara oculta de Barcelona (L'ambient a les galeries dels patis de l'Eixample Cerdà)*. Tesis doctoral. UPC. Barcelona. 2015. 510 p. Disponible en:
<<http://hdl.handle.net/10803/317956>>

TIAN, L, y ZHU, J. *Clarification of collective land rights and its impact on non-agricultural land use in the Pearl River Delta of China: A case of Shunde*. En: Cities, 35: 190-199, 2013.

UNITED NATIONS, 2014. *World Urbanization Prospects, the 2014 Revision*. S.I.: s.n. ISBN 9789211515176.

