



Densificación con criterios de soleamiento. Un método gráfico para el cálculo de áreas adecuadas para nueva edificación en entornos construidos en el caso de Zabalgana en Vitoria-Gasteiz

Autor: Fernando Miguel García Martín

Institución: Universidad Politécnica de Cartagena

Otros autores: Ester Higuera García (Universidad Politécnica de Madrid)

Resumen

En la ciudad de Vitoria-Gasteiz, al norte de España, el gobierno local estableció una propuesta para aumentar la densidad en los barrios de Zabalgana y Salburúa de la original de 47 hasta 73 viviendas por hectárea, más cercano al modelo de ciudad compacta. El propósito es lograr un modelo más sostenible a través de la reducción de uso del suelo, la mejora de la rentabilidad de los servicios urbanos y el aumento de la calidad de vida. Esta iniciativa será, sin duda, un ejemplo para otros suburbios de baja densidad en España.

Este trabajo expone un método gráfico para el estudio de las posibilidades y limitaciones de la densificación urbana de acuerdo a los criterios de acceso solar. El objetivo principal es la definición de áreas aptas para dar cabida a nueva edificación que se ajuste a sus necesidades de energía solar y respete la de los edificios existentes y los espacios públicos.

A partir de la definición de "envoltura solar" por Ralph Knowles en 2003, esta investigación desarrolla una metodología aplicable a las grandes zonas urbanas evitando los procesos de cálculo laboriosas. Este objetivo se logra a través de las herramientas bien conocidas para los planificadores urbanos y otros especialistas como el diseño asistido por ordenador y el software de procesamiento de imágenes.

A lo largo de las diferentes etapas de este método fue posible también analizar las condiciones solares de los edificios existentes de acuerdo a su orientación, las limitaciones de acceso solar debido a las construcciones colindantes y las condiciones del espacio libre.

El método podría servir de ayuda tanto para un caso como el del estudio en el que hubiera que enfrentarse a la redensificación de un área como a otros casos más comunes de construcción en entornos con edificación. Tanto los responsables de diseño urbano como los desarrolladores de software podrían estar interesados en esta investigación.

Palabras claves: Acceso solar, urbanismo sostenible

Capítulo 1: Conceptos generales y condiciones de diseño por soleamiento.

Importancia del acceso solar.

El objeto de este trabajo es el estudio de las posibilidades de preservación del derecho de acceso al sol en los barrios de Vitoria-Gasteiz en los que se están planteando los planes de redensificación. El concepto de que las viviendas tengan un derecho a que el sol pueda acceder hasta ellas es en la actualidad reconocido, pero no siempre ha existido esta percepción. Sin tratar de hacer un repaso histórico de la génesis y aceptación del derecho de acceso solar, se hará una breve introducción basándose en cuál es el significado del concepto y por qué es necesario.

El soleamiento tiene gran influencia sobre la calidad de vida de las personas como podremos ver citando concisamente algunos de los trabajos más importantes sobre el tema.

Podemos entender el soleamiento de las edificaciones como un factor clave para satisfacer las necesidades fisiológicas, básicas en la jerarquía de Maslow (1970). Para ello será conveniente hacer referencia al concepto de confort. Aunque se trata de un valor subjetivo que depende de la edad, el género o la cultura entre otras condiciones; en la práctica se utiliza como referencia para que las condiciones generadas en un entorno sean aceptables por la mayoría de los usuarios. Descritos en algunos lugares como aquellas condiciones que producen bienestar y comodidad y en otros como el ambiente en el que no se producen molestias, ambas definiciones implican la satisfacción de las necesidades fisiológicas

En lo relativo a la acción del sol, podríamos distinguir entre confort térmico y confort visual.

1. Confort térmico. Para el caso de entornos urbanos o arquitectónicos, el confort térmico según lo describía Givoni es el estado en el que se mantiene un equilibrio entre la temperatura del cuerpo humano y la del entorno (GIVONI, 1976).

Olgay definió los rangos térmicos del entorno que los humanos pueden soportar en base a la temperatura del aire, la radiación, el movimiento del aire y la humedad, recogiendo los resultados en su carta bioclimática.

2. Confort visual. El segundo aspecto del confort en el que influye el sol es en la iluminación. Se entiende como confort visual el estado en que existe la luz adecuada tanto en cantidad como en calidad para desarrollar una determinada actividad. Aunque, como indica Rasmussen (1993) *“la luz solar está en constante cambio (...) la luz natural no puede controlarse, cambia de la mañana a la tarde, de día en día tanto en intensidad como en color”*, existen mecanismos en la arquitectura que permiten acomodar sus condiciones a las necesidades de la actividad siempre y cuando exista una cantidad mínima de luz natural disponible.

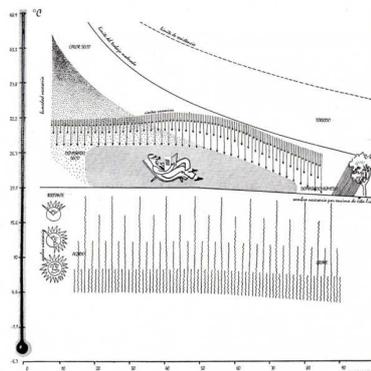


Fig. 1. Carta bioclimática de valores óptimos para el confort humano. Fuente: OLGAY, 1963.

Pero quizá fue Knowles el que unió la calidad de vida con las condiciones de soleamiento a través del confort físico, las posibilidades de situaciones que éste permitía, la sensación de bienestar y la alegría.

“Confort físico: Es generalmente expresado en rangos numéricos de temperatura, humedad, movimiento del aire, luz y otras propiedad físicas del entorno que influyen directamente en nuestros cuerpos. El acceso al sol tiene un impacto directo en al menos los componentes térmicos y lumínicos de este complejo juego y una relación secundaria en la mayoría del resto. (...)

Bienestar: Es la razón por la que buscamos el confort. Incluso con un concepto tan de moda debemos cerciorarnos de que es la base tanto de la estética como del sistema de valores que orienta una construcción.

Alegría: Es la forma superlativa de bienestar. Podemos experimentar la alegría en sí misma. Puede ser consecuencia de estímulos externos, pero está dentro de nosotros y es excesiva. En la medida en que el acceso solar provee confort, oportunidades y bienestar, ofrece la posibilidad de alegría. Tal vez la alegría se encuentra en los cálidos rayos del sol que alcanzan nuestros cuerpos extendidos, o puede estar en las reflexiones de una flor o la cara de un niño. Pero en la alegría puede estar la mayor justificación para el acceso al sol.” (Knowles, 1981)

Para Knowles, el bienestar y la alegría son componentes relacionados con el sol y la calidad de vida. Y el sol es determinante en el confort físico y la presencia de oportunidades.

El sol como fuente de energía.

Otro de los valores del sol es su utilización como fuente prácticamente inagotable de energía. Ésta, puede ser utilizada de forma pasiva o activa, pero para ambas el acceso del sol es una condición ineludible a la hora de diseñar estrategias de aprovechamiento.

La energía solar percibida por una superficie podría dividirse entre la que procede de las radiaciones directa y difusa.

La radiación solar directa es la percibida a través los rayos solares y varía sensiblemente dependiendo del ángulo de incidencia de los rayos respecto a la superficie. En entornos urbanos resultan principalmente interesantes conocer la radiación solar sobre superficies horizontales y verticales, pudiendo calcularse la irradiancia solar (W/m²) y su distribución temporal a lo largo del día.

Sin embargo no toda la energía radiada por el sol llega a la superficie terrestre. Las condiciones de nubosidad reducen la cantidad de energía mientras que las obstrucciones especialmente presentes en las ciudades suponen la eliminación completa de este tipo de energía.

La radiación difusa es la que procede de la refracción y la difusión de la incidencia de la radiación solar directa sobre las superficies colindantes o la atmósfera (especialmente en días nublados). Su presencia es determinante para la iluminación interior de las edificaciones sin embargo su relevancia como aporte energético es mucho menor.

El derecho de acceso solar. La envolvente solar.

Una vez entendido el importante papel del sol en la calidad de vida y su potencial como fuente de energía se pone de relevancia la necesidad de que exista un acceso solar equitativo en el medio urbano, aquel en el que las obstrucciones suponen un grave riesgo de interrumpir este acceso.

Respondiendo a esta necesidad han surgido distintos tipos de normativa que buscaban preservar el acceso solar de una forma equitativa. Como ejemplo sirvan las limitaciones de altura, las “set back” neoyorquinas o la regla de los 45º de Tony Garnier entre otras muchas.

En todas ellas se establece unas condiciones mínimas de acceso solar que deben cumplirse para todas las edificaciones. Se entiende que en un medio urbano no es posible el acceso del sol durante todas las horas del día todos los días del año. Las características de densidad y compacidad de las ciudades, beneficiosas en otros aspectos y generadoras de la vida urbana impiden el acceso completo del sol.

Ante estas limitaciones y mediante un estudio apropiado de las necesidades energéticas (para alcanzar el confort) y psicológicas (iluminación, etc.) dependientes del soleamiento se establecen unos derechos de acceso solar mínimos que permitan satisfacer dichas demandas.

La aplicación de estos derechos requiere un acercamiento tridimensional a la zonificación ya que cada pieza de edificación debe tener cubierto su derecho de soleamiento a la vez que no debe condicionar el del resto de las piezas.

Como resultado de esta aproximación R.L. Knowles definió la envolvente solar, que consistía en un volumen cuya geometría dependa del tamaño, la forma la pendiente y la orientación de la parcela y que se caracteriza porque cualquier construcción en su interior tendrá satisfechos su derechos solares a la vez que no violará los de las construcciones o parcelas del entorno.

La envolvente solar se conforma por una serie de planos cuya inclinación dependerá de las condiciones solares establecidas y aplicadas al lugar geográfico del estudio.

- **Límites diarios:** El movimiento aparente del sol de Este a Oeste a lo largo del día conforma estos límites como planos correspondientes a la altura solar en los momentos límite impuestos por los criterios de horas de soleamiento mínimo que se hayan elegido. Ver Fig. 2.

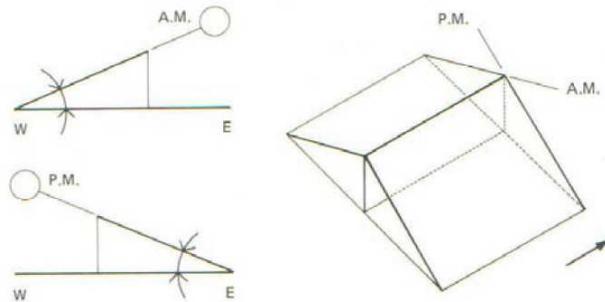


Fig. 2. Volumen generado por límites diarios. Fuente: KNOWLES 1981.

- **Límites anuales:** La variación anual de la posición aparente del sol es la encargada de trazar los límites Norte y Sur de la envolvente solar. Knowles seleccionaba la altura solar en invierno como pendiente del plano límite norte y la altura solar en verano para el plano límite sur (para lugares cuya altura solar sobrepasa los 90° en verano). Ver Fig. 3.

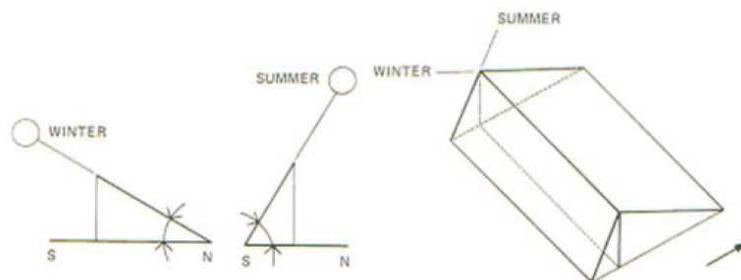


Fig. 3. Volumen generado por límites anuales. Fuente: KNOWLES, 1981.

- **Integración de límites diarios y anuales:** El volumen común al establecido por los límites diarios y anuales conformarían la envolvente solar de una parcela. Ver Fig. 4.

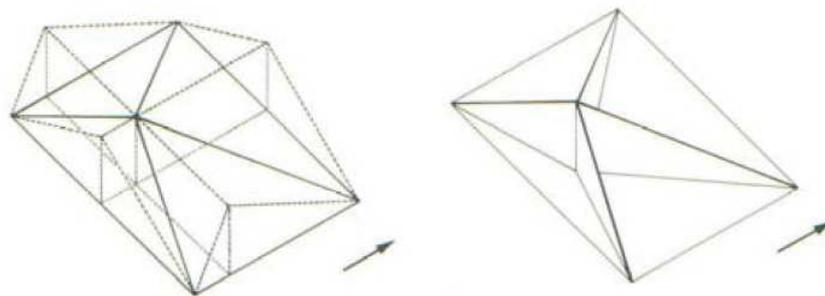


Fig. 4. Volumen integrado o envolvente solar. Fuente: KNOWLES, 1981.

Obstrucciones.

Una obstrucción es una sombra que produce un elemento sobre la posición del observador en un determinado momento. El cálculo puede realizarse de manera sencilla para una posición, un objeto y un día gracias a la carta solar cilíndrica (ver Fig. 5), sin embargo el proceso resulta mucho más complicado cuando se trata de calcular las obstrucciones en un área extensa con múltiples edificios.

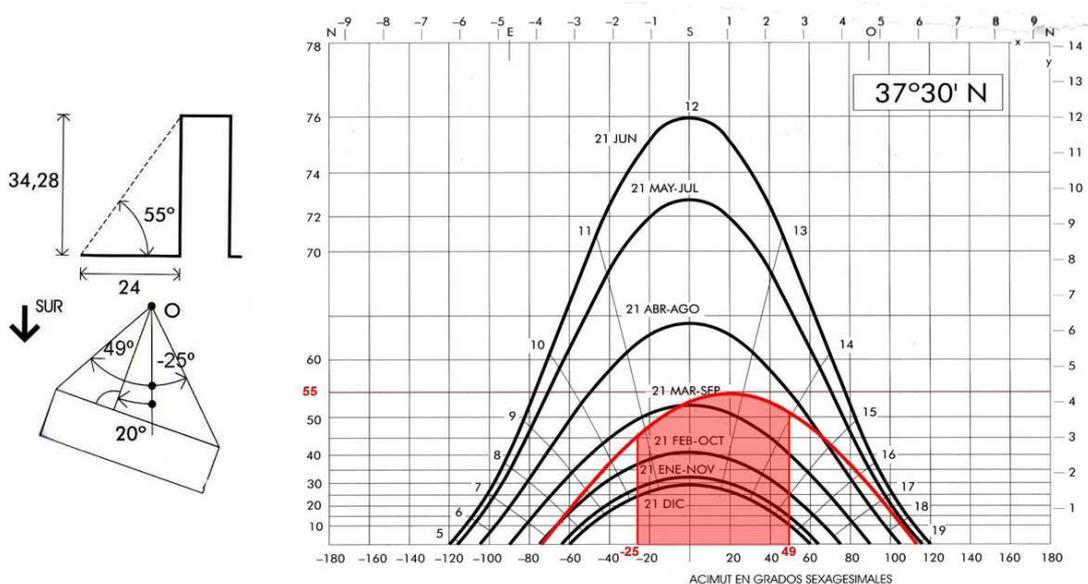


Fig. 5. Ejemplo de cálculo de obstrucciones con la carta cilíndrica. Fuente: FARIÑA, 1998.

Capítulo 3. Análisis de las posibilidades solares para la redensificación de los sectores 2, 3, 5 y 6 de Zabalzana.

El estudio se centrará en los sectores 2, 3, 5 y 6 de Zabalzana, cuya modificación de planeamiento está pendiente de aprobación definitiva. El área presenta zonas casi consolidadas al Este, las más próximas al centro urbano, y otras, las más alejadas, casi totalmente pendientes de desarrollarse.

2.3.1. Método de análisis utilizado. Uso combinado de softwares de CAD-3D y de tratamiento de imágenes.

Uno de los objetivos de esta investigación consistía en la utilización de un método de análisis que permitiera obtener aquellas áreas de suelo que cumplieran las condiciones de soleamiento establecidas y que fuera aplicable a amplias áreas urbanas sin la necesidad de recurrir a laboriosos procesos de cálculo.

Para ello se recurrió a un uso combinado de software de CAD (*computer-aided design*) en 3d y otros de tratamiento de imágenes. En este caso se utilizaron Google SketchUp 7.0 y Adobe Photoshop CS5.

Como se verá a continuación, el software CAD se utilizó para crear un modelo tridimensional del área de análisis. A partir de este modelo, y aprovechando las funcionalidades de los CAD para simular iluminaciones se generaron una serie de imágenes ráster (mapas de bits o bitmaps) con las sombras arrojadas en una serie de momentos del día seleccionados.

Con el software de tratamiento de imágenes ráster se pudieron superponer las distintas imágenes de las sombras obtenidas para realizar los procesos de cálculo necesarios a través de sus propiedades de color.

Con el empleo de este software se trata de ofrecer un método accesible. Para ello se ha considerado la extensión del uso de estos programas entre los profesionales del urbanismo y la arquitectura.

Además, se ha valorado la existencia de una amplia variedad de productos CAD y de tratamiento de bitmaps capaces, en su mayoría de desarrollar las acciones utilizadas en este análisis.

La accesibilidad del método queda también garantizada por la existencia de alternativas de software libre.

2.3.2. Criterios de soleamiento utilizados.

A partir de las condiciones climáticas de Vitoria-Gasteiz expuestas y de las características del caso de análisis se establecen una serie de criterios de soleamiento:

1. Es necesario un mínimo de 4 horas de soleamiento en la franja central del día, de 10 a 14h, sobre la edificación en los meses infracalentados.

Esta franja se deduce de la observación de los datos de irradiación y posición solar. Como puede observarse en los gráficos (ver Fig. 6 y Fig. 7) la radiación incidente sobre superficies horizontales es mucho mayor en estas horas centrales que en las más lejanas del mediodía.

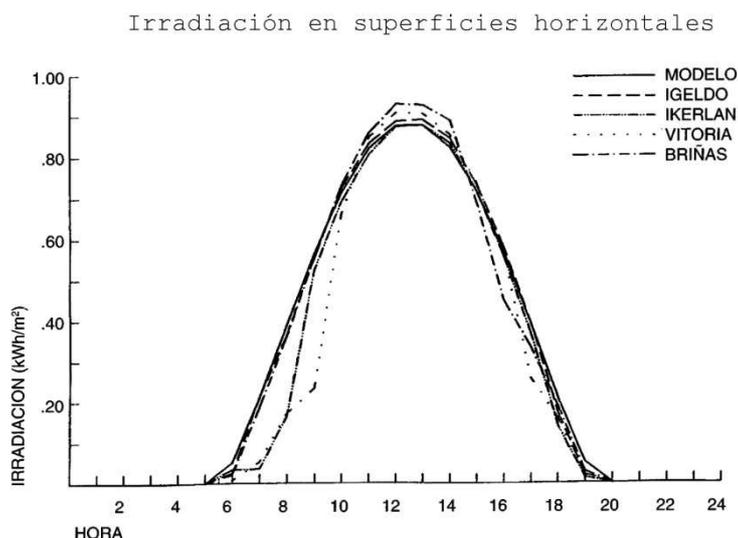


Fig. 6. Valores de irradiación global sobre superficie horizontal tomados en distintas estaciones el día 22 de abril de 1989. Fuente: Atlas de Radiación Solar del País Vasco, 3ª edición, 1999.

Sin embargo, al hacer el análisis de la irradiación sobre superficies inclinadas (ver Fig. 7) podemos observar que los valores son mayores en las últimas horas del día en fachadas (inclinación 90°) orientadas al oeste que en fachadas orientadas al sur en las horas centrales del día.

No obstante, si observamos también la posición solar (ver Fig. 11) puede notarse que la altura solar en el solsticio de invierno, el mes más infracalentado, son muy bajas fuera de la franja de 10 a 14h (10,84° a las 9h y 12,96° a las 15h) por lo que considerar estas horas como objetivo de soleamiento sobre las fachadas produciría grandes condicionantes sobre la posición de las edificaciones entre sí, obligando a estar muy separadas para evitar las sombras arrojadas entre ellas.

Irradiación en superficies inclinadas

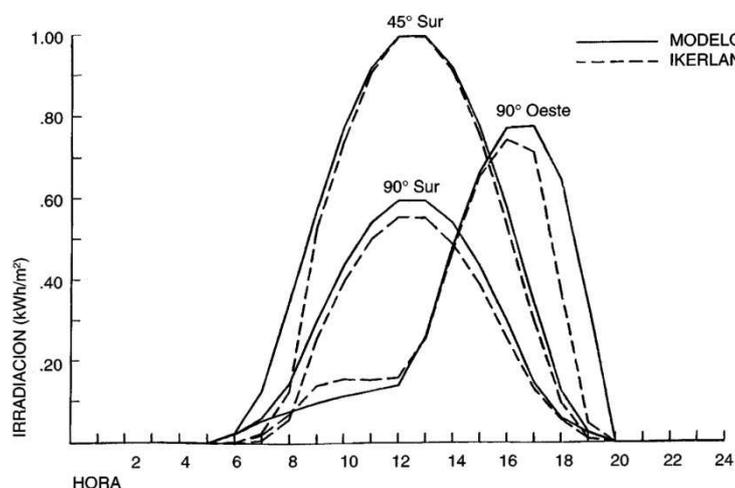


Fig. 7. Valores de irradiación global sobre superficies inclinadas de 45° Sur; 90° Sur y 90° Oeste el 22 de Abril de 1989. Fuente: Atlas de Radiación Solar del País Vasco, 3ª edición, 1999.

Estos presupuestos son confirmados en la carta de irradiación directa (Fig. 8) para invierno elaborada por los investigadores del Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid (IES-UPM <http://www.polis-solar.eu>) en la que pueden observarse los valores de irradiación para distintas inclinaciones.

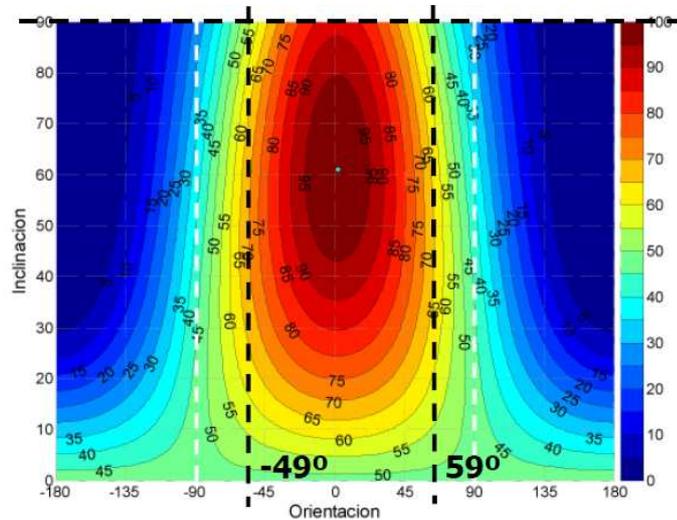


Fig. 8. Carta de irradiación directa de invierno en Vitoria-Gasteiz, promedios diarios. Fuente: Proyecto Polis-ETSAM

2. El anterior mínimo no será aplicado a la planta baja al no tener éstas uso residencial en los bloques de vivienda colectiva.
3. Observándose como tipología dominante el bloque lineal con una profundidad en torno a los 12m, se asume que éstos están compuestos por viviendas “pasantes”, con fachadas opuestas por lo que las condiciones de soleamiento deben cumplirse en al menos una de sus fachadas longitudinales. En la misma situación se encuentran las unifamiliares en hilera.

Existen en el área también edificaciones en torre con dimensiones no mayores de 18x18m en las que se considera que las viviendas tendrán al menos dos fachadas perpendiculares, por lo que las condiciones de soleamiento deben cumplirse en al menos dos de sus fachadas.

4. Las condiciones de soleamiento serán iguales y deberán cumplirse tanto para las edificaciones existentes como para las de nueva incorporación.

2.3.3. Elaboración del modelo tridimensional del área.

En el primer paso se elaboró un modelo digital de la edificación y del terreno que sirviera de base para los siguientes pasos del análisis. Para ello se utilizó la cartografía municipal a escala 1:500 que incluía información sobre la altura de las edificaciones y las cotas del terreno. A partir de esta cartografía y siguiendo los procesos propios de cada software se puede elaborar un modelo como el que se presenta a continuación (ver Fig. 9).

Se incluyó, además de la edificación existente, aquella que está pendiente de ejecutarse y que no está afectada por la modificación del planeamiento, al entender que su construcción conllevará nuevas afecciones sobre el soleamiento que deben tenerse en cuenta. La edificación fuera del ámbito de los sectores que pudiera afectar a las condiciones de soleamiento dentro de Zabalzana también fue incorporada al modelo.

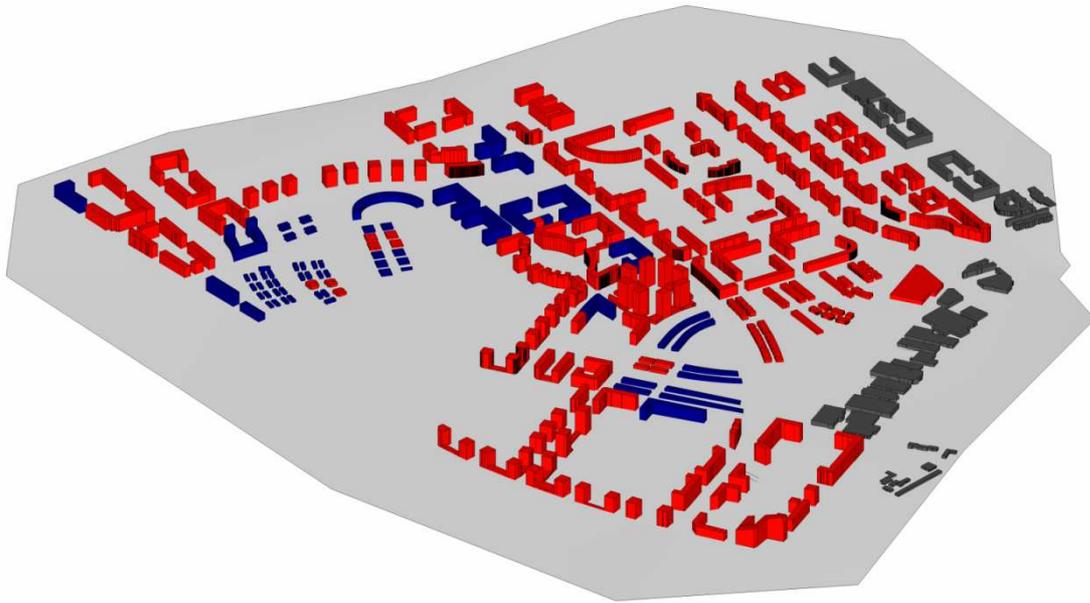


Fig. 9. Modelo digital del área generado para el análisis. En rojo edificación existente, en azul edificación prevista y en gris las construcciones colindantes fuera de los sectores estudiados. Fuente: Elaboración propia.

Para elaborar el terreno se optó, en este caso, por la elaboración de una malla de caras planas (ver Fig. 10) a partir de las cotas en cruce de los viarios más importantes.

Cualquier otro método de los habitualmente utilizados para generación de terrenos en los programas de CAD es válido siempre que obtenga una superficie sobre la que se puedan proyectar las sombras de la edificación.

La elección de una malla de caras planas se basó en la escasa complejidad del terreno que cuenta con un desnivel máximo de 35,75m a lo largo de 2km en dirección sur-norte, generando una pendiente del 1,78% máximo que orienta el terreno hacia el norte. Con estas características no se consideró necesario generar un modelo más preciso.

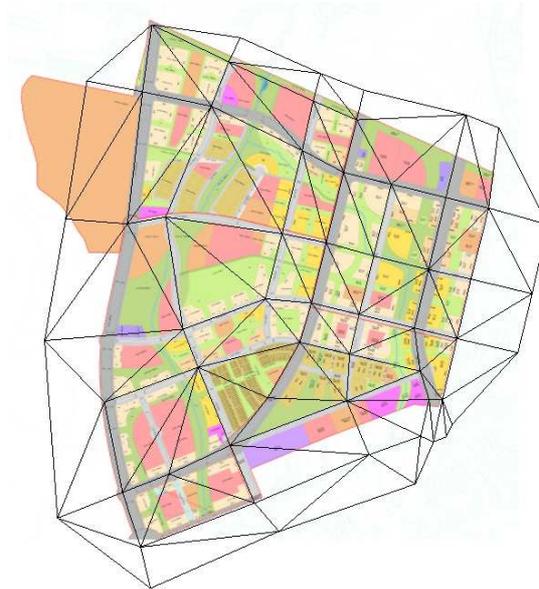


Fig. 10. Malla utilizada para la generación del terreno superpuesta a planeamiento vigente. Fuente: Elaboración propia.

2.3.4. Cálculo de sombras arrojadas por la edificación existente.

El siguiente paso fue la localización de áreas en las que las condiciones de soleamiento impuestas por la edificación existente garantizaran los requisitos mínimos establecidos.

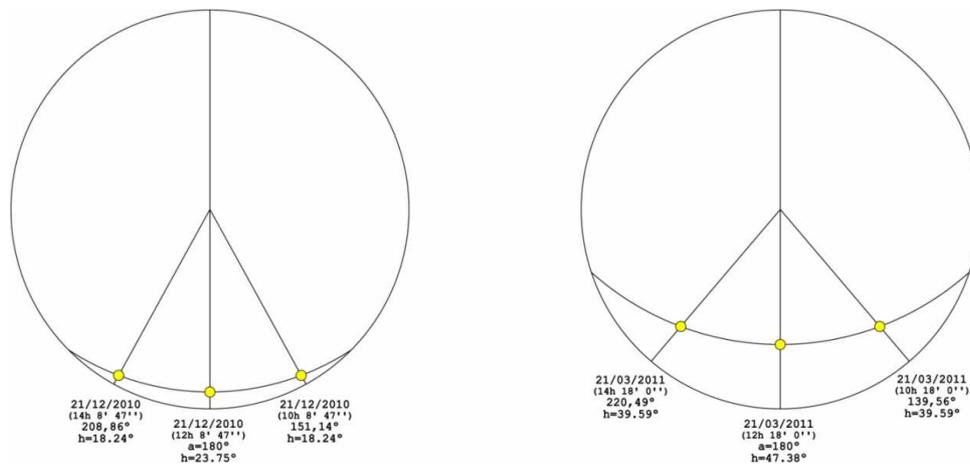


Fig. 11. Posición del sol para el 21 de diciembre (izquierda) y 21 de marzo (derecha) en Vitoria-Gasteiz. Fuente: Elaboración propia.

Para ello se obtuvieron las imágenes ráster de sombras arrojadas por la edificación existente (ver Fig. 12) para el 21 de diciembre a las 10, 11, 12, 13 y 14 horas.



Fig. 12. Ejemplo de bitmaps obtenidos del software CAD con las sombras de la edificación existente el 21 de diciembre a las 10 (izquierda), las 12 (centro) y las 14 (derecha) horas. Fuente: Elaboración propia.

Para la obtención de estas sombras se consideró que la altura de las edificaciones era de una planta menor a la que realmente tenían. Con esta sencilla operación, como se puede ver en la Fig. 13, se obtienen las áreas que cumplen las condiciones de soleamiento para nuevas edificaciones excluyendo la planta baja. En la figura se observa como al considerar una altura de la edificación a la derecha de una planta menos que la real obtendríamos una sombra cuyo límite en planta es la ubicación más próxima de una edificación que obtendría soleamiento a partir de la primera planta.

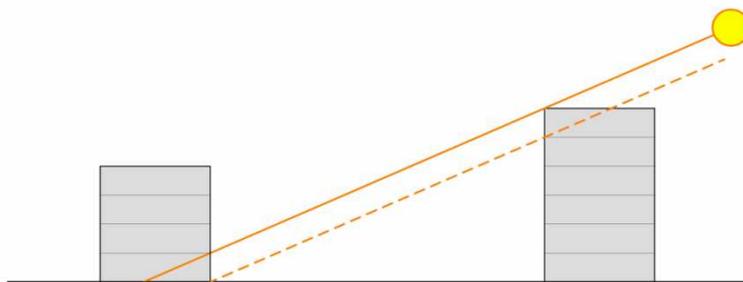


Fig. 13. Delimitación de sombras arrojadas para permitir soleamiento en primera planta. Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso ya se llevó a cabo en el software de tratamiento de imágenes en el que se incorporaron las distintas imágenes como capas de un mismo archivo para poder trabajar con sus características de color.

La primera operación aplicada fue aislar de las imágenes obtenidas del CAD las sombras arrojadas por la edificación. Para ello y mediante herramientas de selección de color se eliminaron todos aquellos pixels cuyo color fuera diferente al de las sombras, obteniendo unas capas finales en las que todos los pixels exceptuando los de las sombras eran transparentes.



Fig. 14. Ejemplo de bitmaps obtenidos tras selección de las sombras para el 21 de diciembre a las 10 (izquierda), las 12 (centro) y las 14 (derecha) horas. Fuente: Elaboración propia.

La siguiente operación consistió en aplicar a estas capas un grado de transparencia y otorgarles el mismo color (ver detalle en Fig. 15) de manera que representará la trayectoria de las sombras en el periodo estudiado y al superponerse generaran un gradiente de color que indicará superficies con un mismo número de horas de sombra.

De este paso se obtuvo un plano de “sombras de la edificación existente” que puede verse en GARCÍA e HIGUERAS (2011).

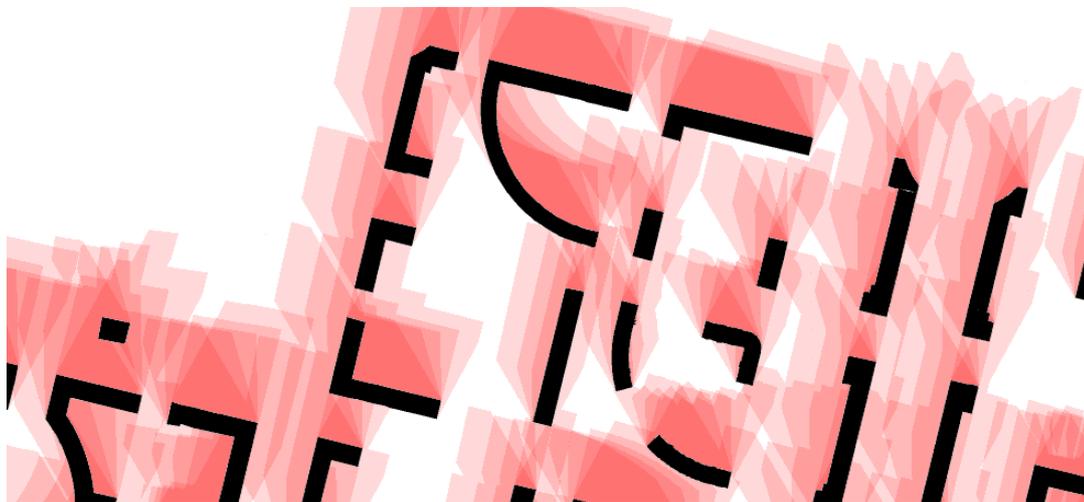


Fig. 15. Detalle de superposición de las capas de sombras para el 21 de diciembre en un área de Zabalgana. Fuente: Elaboración propia.

Este plano nos da una imagen del soleamiento en el espacio público en las horas estudiadas indicándonos las áreas más frías que permanecen en sombra durante gran parte de este periodo y otras más cálidas con mayor número de horas de sol.

2.3.5. Cálculo de áreas de protección del soleamiento sobre la edificación existente.

En el siguiente paso se hallaron las áreas de protección del soleamiento de la edificación existente, es decir, aquellas superficies que debieran mantenerse libres de para evitar que nuevas construcciones comprometan las horas de soleamiento mínimo establecidas.

Estas áreas se configuran por debajo del ángulo de incidencia solar tal como puede verse en la Fig. 16 en la que se marcan los sucesivos escalones de alturas de la edificación posible.

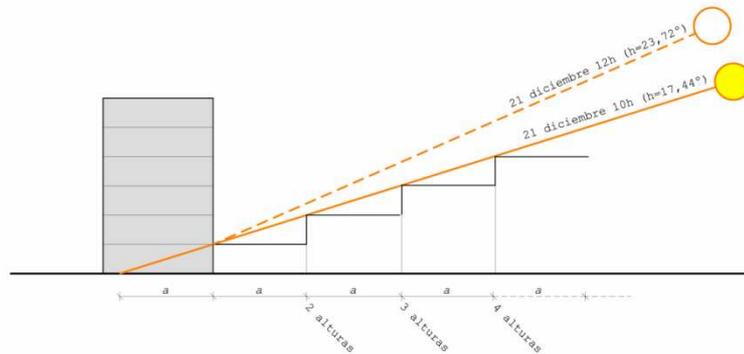


Fig. 16. Determinación áreas de protección del soleamiento sobre edificación existente. Sección. Fuente: Elaboración propia.

El ancho de la franja de protección depende del ángulo de incidencia solar, de la altura de planta y de la inclinación del terreno (ver Fig. 17). En este análisis se utiliza 3,2m de altura como valor de referencia, por lo que las franjas de protección indicarán superficies capaces de contener un número entero de veces plantas de esta altura.

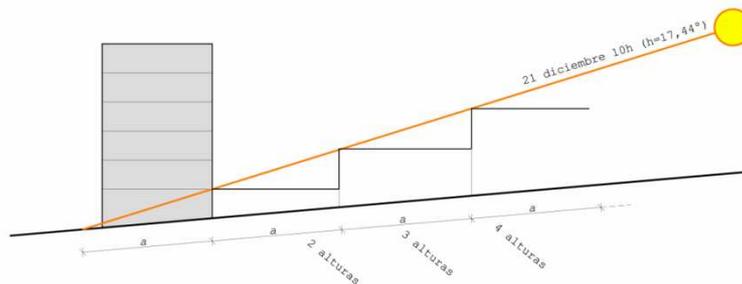


Fig. 17. Determinación áreas de protección del soleamiento sobre edificación existente en un terreno inclinado. Sección. Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la altura solar considerada, teniendo en cuenta que la mínima en el intervalo de tiempo estudiado será precisamente en sus momentos inicial y final, el ancho de la franja de protección en cualquier otro instante intermedio será menor (ver Fig. 18). El análisis se realizó, por lo tanto tomando las situaciones más restrictivas, las 10 y las 14h, pudiendo asegurarse que respetar la franja de protección de estos momentos conlleva el cumplimiento de las condiciones para todo el intervalo. Al tratarse del solsticio de invierno, la diferencia del azimuth de ambos momentos era de sólo 62°, por lo que la necesidad de tomar referencias intermedias para trazar correctamente una envolvente de todas ellas era muy reducida, aún así se obtuvo el área de protección para las 12h para completar el análisis.

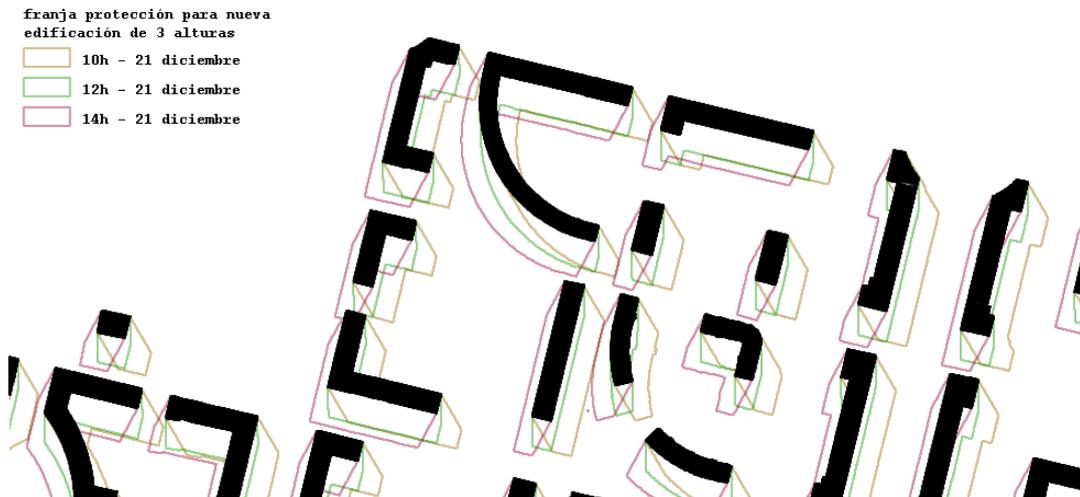


Fig. 18. Detalle de franjas de protección para nueva edificación mayor de 3 alturas el 21 de diciembre.
 Fuente: elaboración propia.

Pero ¿cómo calcular estas áreas de una manera rápida? Como se observa en la Fig. 19 la sombra arrojada por las fachadas expuestas al sol sobre el terreno es igual a la franja de protección que indica el límite a la que debiera situarse cualquier obstáculo de la misma altura que las fachadas analizadas. Por lo tanto, siendo capaces de obtener esas sombras conoceríamos las franjas de protección que se buscan. La siguiente pregunta es, ¿cómo lograr esto sin recurrir a complicadas operaciones con el modelo tridimensional de terreno y edificación?

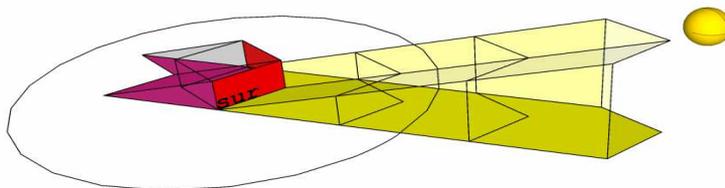


Fig. 19. Vista volumétrica de áreas de protección de dos fachadas expuestas al sol el 21 de diciembre a las 10h. Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en la Fig. 20, podríamos hallar la sombra de esas fachadas sin modificar los volúmenes de la edificación a partir de la sombra que arrojaría esa misma edificación situada al otro extremo de la línea que une la posición del modelo con la del sol.

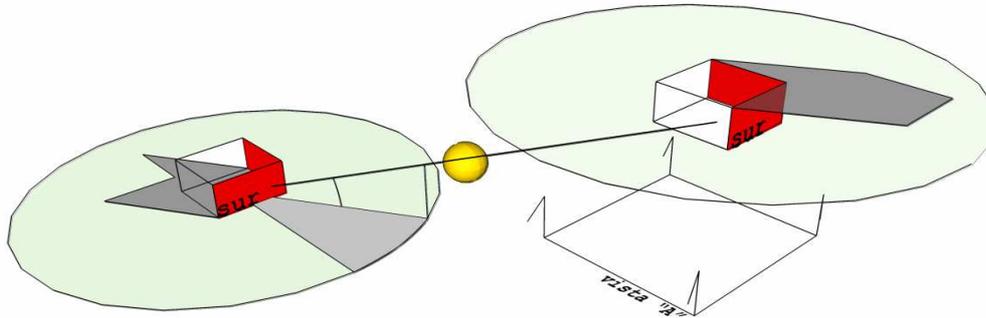


Fig. 20. Procedimiento conceptual de obtención de áreas de protección de dos fachadas expuestas al sol el 21 de diciembre a las 10h. Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, si desde nuestra posición junto a la edificación original miráramos al cielo obtendríamos la vista "A" expuesta en la Fig. 21.

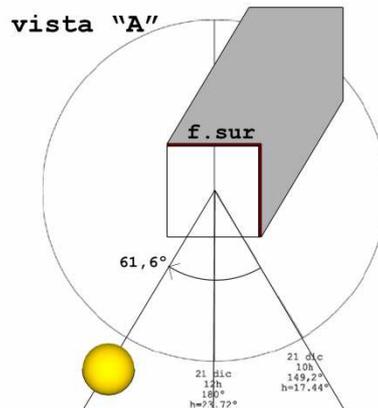


Fig. 21. Vista "A", para obtención de área de protección de dos fachadas expuestas al sol el 21 de diciembre a las 10h. Fuente: Elaboración propia.

Volviendo al modelo en CAD, explicaremos cómo operar con él para obtener esa vista y las sombras que indiquen el área de protección.

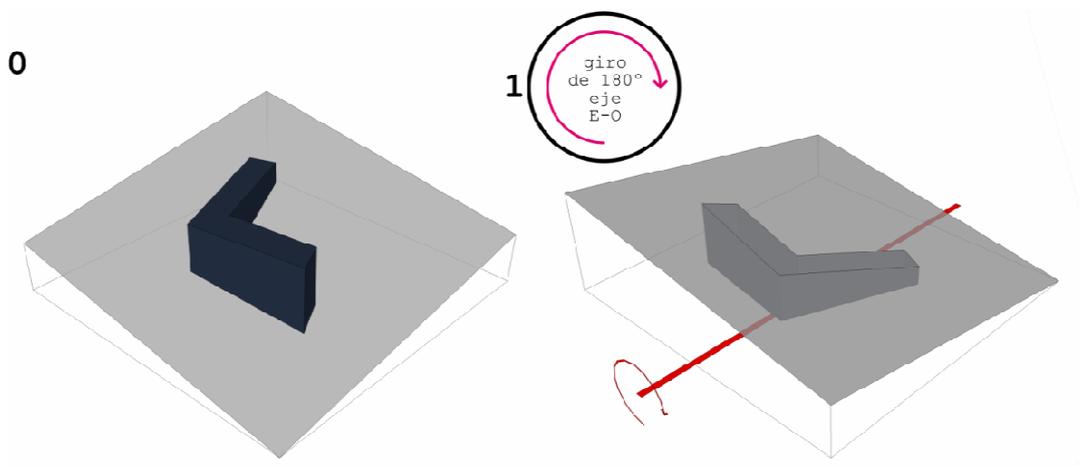


Fig. 22. Esquema de operaciones en CAD para obtener las áreas de protección. Fuente: Elaboración propia.

El primer paso a realizar es girar el conjunto 180° en el eje E-O. Una vez realizada esta operación tendremos el modelo en la misma disposición que en la vista “A” (Fig. 21) aunque con el terreno en la parte superior.

Será necesaria una segunda operación consistente en el desplazamiento del terreno 3,2m en negativo en el eje Z del modelo. Descubriremos así la misma altura de la edificación con la que podremos hallar la primera franja de protección para edificaciones nuevas de una planta (ver Fig. 17). Repitiendo este desplazamiento del terreno podremos ir obteniendo las distintas franjas de protección para las alturas que deseemos, que en este análisis serán saltos sucesivos de 3,2m hasta completar 6 plantas (19,2m).

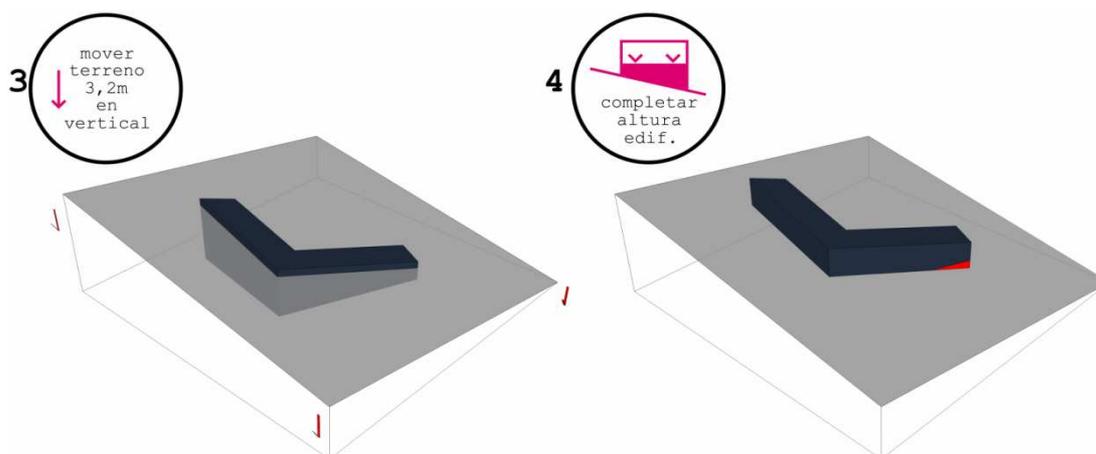


Fig. 23. Esquema de operaciones en CAD para obtener las áreas de protección. Fuente: Elaboración propia.

Señalar que al existir edificaciones menores a esta altura será necesario modificarlas para que alcancen esta elevación. Este proceso se puede realizar de forma sencilla mediante la copia de estos elementos.

La última operación por realizar es el cálculo de las sombras de este modelo modificado y su exportación como imagen rasterizada. Sin embargo, tal como se ve en las Fig. 20 y Fig. 21, la sombra equivalente al área de protección a una determinada hora es la que se obtiene de una posición solar simétrica respecto al mediodía solar. Es decir, que para obtener el área de protección a las 10h debemos hallar las sombras a las 14h.

Las imágenes ráster así conseguidas necesitarán de una transformación que haga un volteo vertical de la imagen de manera que se deshaga el giro de 180° realizado al modelo. Esta operación es posible ejecutarla en el software de tratamiento de imágenes donde continuará el resto del procedimiento de manera análoga a lo explicado en el apartado 2.3.4. *Cálculo de sombras arrojadas por la edificación existente.*

El primer paso consistió en la incorporación de las distintas imágenes como capas de un mismo archivo prestando atención a que las capas de las áreas de protección de menor altura se muestren encima de las de mayor altura.

A estas capas se les aplicó el procedimiento explicado para dejar transparente todos los píxeles no pertenecientes a las áreas de protección mediante herramientas de selección de color.



Fig. 24. Detalle de franjas de protección del acceso solar sobre la edificación existente según alturas. Fuente: Elaboración propia.

Por último se otorgó un color a cada una de ellas que permitiera distinguirlas claramente pudiendo lograrse un plano de franjas de protección del acceso solar sobre la edificación existente según el número de alturas máximas posibles en cada área que puede verse en GARCÍA e HIGUERAS (2011) y del que se presenta un detalle en la Fig. 24.

2.3.6. Cálculo de áreas de movimiento para incorporación de nueva edificación que cumplan los requerimientos de soleamiento impuestos.

A partir de los planos de áreas con horas suficientes de soleamiento y el de franjas de protección de la edificación existente se puede elaborar un plano combinado de ellas en el que indiquen las áreas de suelo en la que se cumplen simultáneamente ambas condiciones



Fig. 25. Detalle de áreas de movimiento para nuevas edificaciones de 3 alturas que cumplen las condiciones solares. Fuente: Elaboración propia.

Estas áreas serán aquellas en las que no existan ni sombras arrojadas ni franjas de protección, por lo que su obtención es sencilla a partir de las imágenes ya elaboradas. En la Fig. 25 se muestra como ejemplo un detalle del área de movimiento para nuevas edificaciones de 3 alturas. Como puede verse, para su obtención se utiliza el plano de sombras arrojadas por la edificación existente y las franjas de protección para nuevas edificaciones de 3 alturas.

A través de una selección de color de los espacios en los que no existe ninguna de las dos restricciones, en este caso los píxeles en blanco, se obtuvieron las áreas de movimiento para cada altura.

Superponiendo las distintas áreas de acuerdo al método ya comentado se pudo lograr un plano de áreas de movimiento posibles para nueva edificación que puede verse en GARCÍA e HIGUERAS (2011) y del que se presenta un detalle en la Fig. 26.

Hasta este momento no se ha tenido en cuenta la calificación de uso del suelo sino que se ha trabajado únicamente con el espacio construido y el no construido. Sin embargo, se hace necesario una reflexión de la calificación del suelo en el que de acuerdo a estas áreas es posible incorporar nuevas edificaciones cumpliendo los parámetros de soleamiento establecidos.



Fig. 26. Detalle de áreas de movimiento que cumplen las condiciones solares. Fuente: Elaboración propia.

Los suelos privados son sin duda un lugar interesante en el que podría incorporarse nueva edificación. Más polémico puede resultar ocupar los espacios verdes con este fin ya que supondría una disminución de estas áreas para los habitantes. En el caso de estos sectores de Zabalgana, la cantidad de espacios libres y zonas verdes era muy elevada generándose una serie de inconvenientes que mermaba su calidad. Para posibilitar una reconfiguración de los espacios libres existentes que mejoren sus cualidades se consideran las zonas verdes como adecuadas para incorporar nueva edificación. Por último, la superficie de viarios se ha excluido como área posible debido a la imposibilidad de modificar su trazado debido por un lado a su enlace con la red de viario de Vitoria-Gasteiz y por otro por la fuerte relación que tiene con la edificación que se adosa a sus lados.

2.4. Evaluación de la modificación de planeamiento de Zabalzana según criterios solares.

Con la información obtenida hasta el momento puede realizarse la última parte de la investigación, que sería la evaluación de acuerdo a criterios de soleamiento de la modificación del planeamiento propuesta.

Pero además es posible realizar también una evaluación de las condiciones de acceso solar tanto de las edificaciones como de los espacios libres existentes que permita hacer una valoración global del barrio. Este análisis permitirá a la vez extraer algunas conclusiones que puedan ser usadas para realizar una propuesta de redensificación más apropiada a las necesidades solares.

2.4.1. Condiciones solares de las edificaciones existentes.

El número de horas de soleamiento de las fachadas existentes depende tanto de su propia orientación como de las obstrucciones producidas por el resto de edificaciones.

a. Condiciones generadas por la orientación de las fachadas del bloque.

Dado el limitado arco "1" de posiciones del sol en el periodo estudiado, de $151,14^\circ$ a $208,86^\circ$, es decir, un arco de $57,72^\circ$ con bisectriz en el Sur solar, el arco "2" de orientaciones de fachadas que recibirán soleamiento completo se limita a un arco de $122,28^\circ$ (desde $118,86$ a $241,14^\circ$) lo que supone sólo un tercio de las posibles orientaciones de fachada (360°).

Por el contrario, las fachadas orientadas entre los $298,86^\circ$ y los $61,14^\circ$, conformando un arco "3" de $122,28^\circ$ entorno al Norte, no recibirán ninguna hora de sol independientemente de la influencia de las obstrucciones.

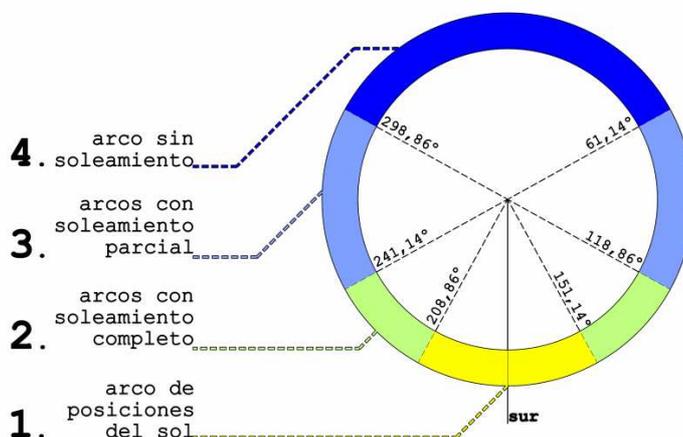


Fig. 27. Arcos de orientaciones de fachada para el 21 de diciembre en el periodo 10-14h. Fuente: Elaboración propia.

Completan el círculo dos arcos "3" que reciben radiación solar directa sólo durante algunos momentos del periodo de estudio.

Se descarta el soleamiento recibido por las fachadas incluidas en estos últimos arcos con soleamiento parcial dado que además de no cumplir con las horas de soleamiento requeridas, en los momentos en que la recibe se produce de forma tangencial a las fachadas disminuyendo su influencia sobre estas. Sí se ha decidido incluir de forma completa el arco 2, pues aunque el soleamiento es prácticamente tangencial para las

orientaciones extremas en algunos momentos, se comprende que el periodo de estudio es el más desfavorable por lo que en cualquier otra fecha las condiciones serán mejores.

En base a estas consideraciones y utilizando el mismo método que para el cálculo de las áreas de protección se puede realizar una distinción de las fachadas orientadas a cada uno de los arcos anteriores. Esta clasificación se muestra completa en GARCÍA e HIGUERAS (2011) y un detalle en la Fig. 28.

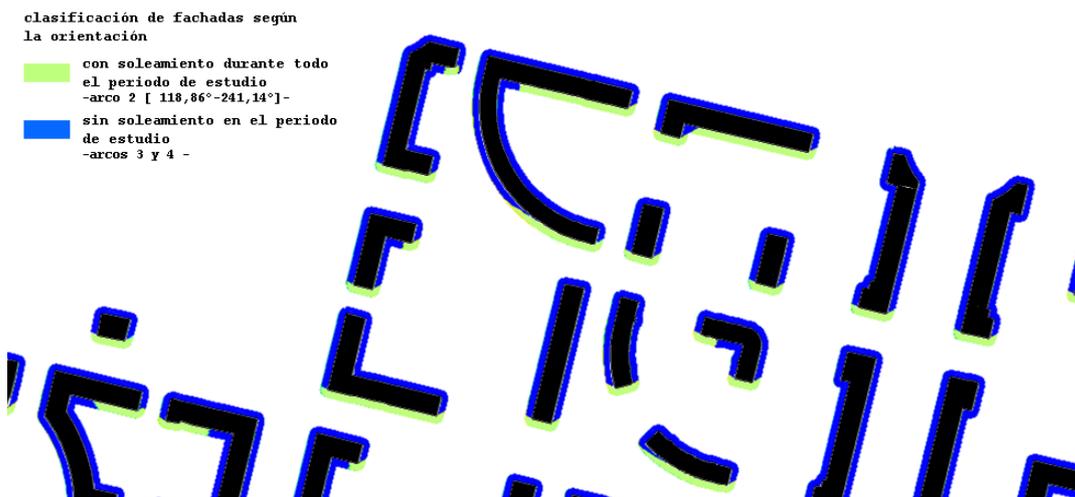


Fig. 28. Detalle de clasificación de fachadas según orientaciones favorables el 21 de diciembre. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a este plano puede afirmarse que los bloques lineales en dirección N-S presentan sus fachadas mayores dentro del arco "3" con soleamiento parcial en el periodo estudiado, recibiendo los rayos solares de manera tangencial. Como se verá en el siguiente apartado, esta disposición genera, por el contrario los espacios libres mejor soleados.

Los bloques lineales en dirección E-O presentes tienen una de sus fachadas mayores orientadas dentro del arco "2" de soleamiento completo, por lo que los requisitos de soleamiento serán más fácilmente alcanzables.

b. Limitaciones de acceso solar ocasionadas por la edificación del entorno.

Una vez tenidas en cuenta las limitaciones de acceso solar impuestas por la orientación de cada una de las fachadas puede realizarse un estudio de la influencia de las obstrucciones a partir del plano de sombras arrojadas.

Para ello se realiza una selección de colores de las sombras en el área inmediata a las edificaciones, pudiendo obtenerse un plano de horas de sombras sobre fachadas que puede verse completo en GARCÍA e HIGUERAS (2011) y del que se muestra un detalle en la Fig. 29.

Debe recordarse que en el cálculo de sombras arrojadas se elevó el terreno una altura (3,5m) de manera que la información sobre el soleamiento de las fachadas se refiere a la planta primera de la edificación, la primera ocupada por viviendas. Las plantas superiores irán sucesivamente mejorando sus condiciones de soleamiento según las obstrucciones vayan disminuyendo. Resaltar también que el soleamiento de las fachadas obtenido se refiere al periodo central (de 10 a 14h) del 21 de diciembre.

Como se puede observar, las secciones de fachada que cumplen los requisitos de soleamientos de 10 a 14 horas el 21 de diciembre es muy reducido dada la combinación de un arco de orientaciones que podrían cumplir este requisito muy reducido y a las sombras recibidas por las edificaciones del entorno.

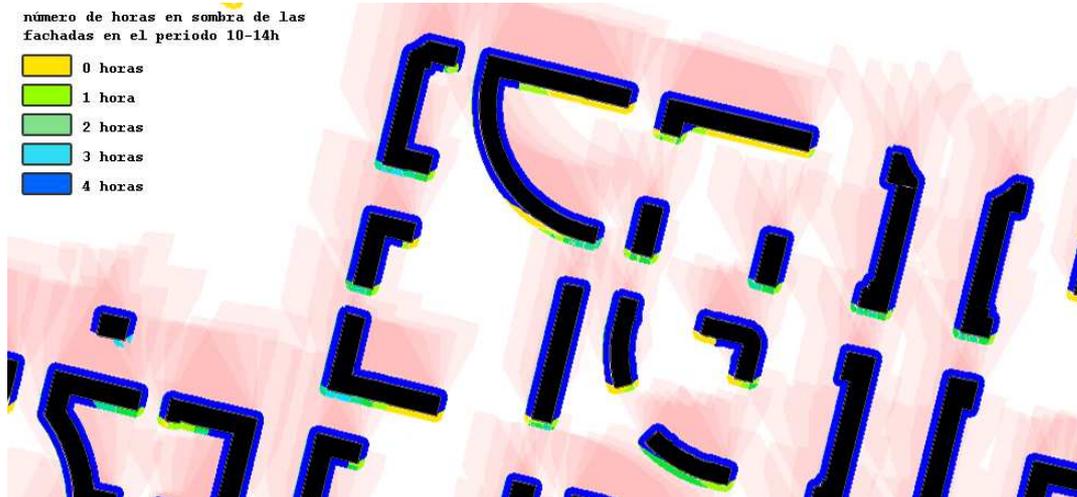


Fig. 29. Detalle de condiciones de soleamiento de las fachadas el 21 de diciembre según sombras arrojadas por edificación existente. Fuente: Elaboración propia.

c. Observación sobre las condiciones solares de las viviendas.

Es importante resaltar que los planos anteriores se refieren exclusivamente a las fachadas de la edificación, excluyendo cualquier consideración sobre la influencia de los tipos de vivienda en su interior.

Por lo tanto los resultados obtenidos sobre el cumplimiento de las horas de soleamiento mínimas establecidas no pueden extrapolarse directamente a las viviendas situadas detrás de cada fachada.

Las viviendas con varias fachadas pueden acumular las horas de soleamiento de cada una de ellas alcanzando la vivienda las horas mínimas establecidas. Este caso es muy frecuente en Zabalgana donde las edificaciones mayoritarias tienen unos fondos entre 12 y 16 metros pudiendo suponerse que las viviendas en su interior serán de tipo “pasante” con dos fachadas de orientación opuesta.

Para realizar un correcto análisis habrá que valorar las horas de sol en cada fachada con los tipos de viviendas. Para ello se facilita un plano de horas de soleamiento sobre todas las fachadas (independientemente del arco solar al que se orienten) incluido en I GARCÍA e HIGUERAS (2011) y del que se presenta un detalle en la Fig. 30.



Fig. 30. Detalle de condiciones de soleamiento de todas las fachadas el 21 de diciembre según sombras arrojadas por edificación existente. Fuente: Elaboración propia.

En este trabajo no se ha podido desarrollar un proceso dentro del software de tratamiento de imágenes que, como los seguidos hasta el momento, no precise de un cálculo individualizado de las condiciones de cada bloque para evaluar las horas de soleamiento en las viviendas teniendo en cuenta el soleamiento de todas sus fachadas. Sin embargo no se descarta que ese proceso exista, dejando la puerta abierta para futuras investigaciones.



Fig. 31. Detalle de número de horas de sol en viviendas el 21 de diciembre en el periodo 10-14h. Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, se ha realizado sobre el área que se viene mostrando en los detalles una evaluación de las horas de soleamiento de las viviendas de manera manual (ver Fig. 31). Para ello se han considerado que el interior de la edificación está ocupado por viviendas pasantes cuyo asoleo será igual a la suma de las horas de sol en sus dos (o tres) fachadas. Con este criterio se ha dividido los bloques longitudinales en distintas secciones según el número de horas de soleamiento resultantes.

En este detalle se puede observar que cerca de la mitad de la superficie de la primera planta de la edificación (49% de la muestra) cumple las cuatro horas de soleamiento

acumuladas entre sus fachadas. Otra superficie importante (el 31,7%) tiene al menos 3 horas de acceso solar, mientras que los porcentajes se reducen para las secciones con 2h (17,4%) y 1h (1,9%) de asoleo. Destaca que no hay ninguna sección con 0 horas de soleamiento.

La primera conclusión es que los tipos de edificación con viviendas pasantes son una buena solución para mejorar las horas de sol dado que duplican la superficie captadora adoptando además dos orientaciones distintas.

La mejora se hace especialmente patente en los bloques lineales con dirección N-S. No obstante debe recordarse, tal como se indicaba anteriormente, que las fachadas orientadas a Este y Oeste, dentro del arco "3", reciben los rayos solares de manera muy tangencial en muchas horas por lo que la posibilidad de captar esa radiación disminuye.

Se detectan las peores condiciones de soleamiento en aquellas secciones que forman una "L" en las que el ala que discurre hacia el Oeste arroja sombras sobre la que avanza hacia el Norte.

2.4.2. Condiciones solares de los espacios libres.

Las sombras arrojadas por la edificación sobre los espacios no construidos nos permite analizar las condiciones de soleamiento que éstos tienen. Se realizará un plano de horas de sombra en los espacios exteriores siguiendo el procedimiento de superposición de sombras a las 10, 11, 12, 13 y 14 horas y posterior selección de gamas de colores para identificar las áreas que permanecen más tiempo en sombra y las que tienen un mayor acceso solar.

Para ello será necesario volver al modelo tridimensional de CAD y obtener las sombras arrojadas por la edificación al nivel del suelo, ya que anteriormente se habían calculado únicamente para una superficie 3,5m elevada sobre éste.

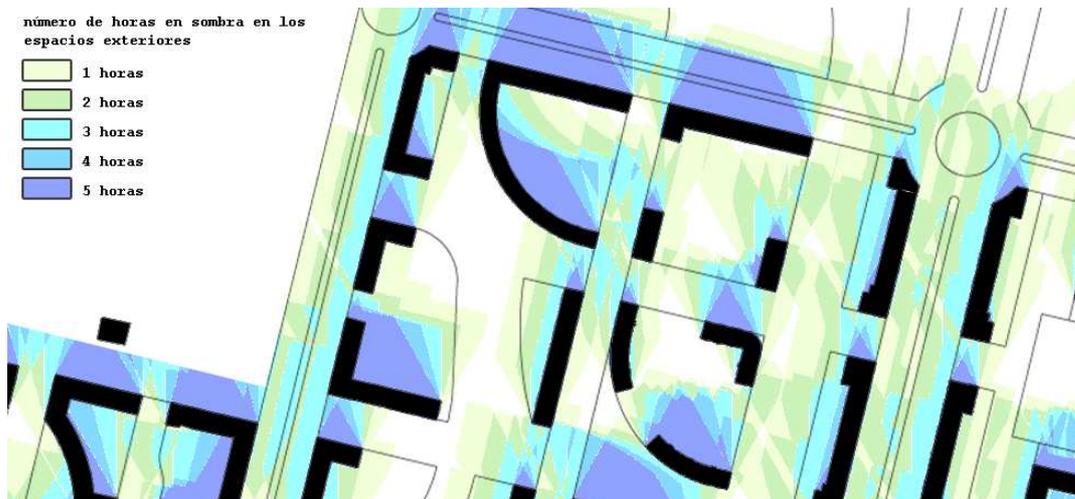


Fig. 32. Detalle de número de horas de sombra de los espacios exteriores el 21 de diciembre. Fuente: Elaboración propia.

De esta manera se puede obtener un plano de horas de sombra sobre los espacios libres del que se muestra un detalle en la Fig. 32.

Las necesidades solares en los espacios exteriores son diferentes a las hasta ahora consideradas para los espacios interiores de la edificación tanto para las necesidades en los meses fríos como en los cálidos. Además un análisis del confort climático de estos espacios debería incluir la influencia de los vientos, que en exteriores son mucho más complicados de controlar y actúan acentuando o atenuando las sensaciones de disconfort. Dado que ese análisis excede los planteamientos del trabajo, no deben tomarse las valoraciones realizadas en este apartado como conclusiones sobre el microclima de los espacios exteriores sino como unas reflexiones de las consecuencias en su soleamiento de la disposición de los bloques en el espacio urbano.

La evaluación se realizará en torno a tres puntos de escala decreciente: Las vías de circulación rodada, la agrupación de bloques formando manzanas más o menos abiertas y los tipos edificatorios.

En la ordenación inicial de Zabalgana, las vías de circulación eran planteadas como los albergues de la actividad urbana, acogiendo los bajos comerciales y acotándose su sección con la disposición de bloques a ambos lados. Para su evaluación solar se distinguirá entre las condiciones de las que tienen orientación Norte-Sur y las que discurren de Esta a Oeste, ambos tipos son los más frecuentes en el área.

- En las calles E-O las sombras arrojadas por las edificaciones lineales de la acera Sur ocupan todo el ancho de la calle provocando que el sol prácticamente no acceda en el periodo de estudio generando un microclima previsiblemente frío en los meses de invierno.

La altura de los bloques de esa acera sur será determinante para que al menos en otros meses exista una acera, la Norte, que sí disfrute de soleamiento.

Para las calles con esta orientación resultan más recomendables la disposición de bloques adoptadas al Oeste del sector en los que una serie de torres se suceden permitiendo el acceso del sol en el espacio entre ellas.

- Las calles N-S presentan unas condiciones de soleamiento mucho más favorables, al no presentar obstrucciones para las horas centrales del día. Las aceras alternan su estado de sombra o soleamiento de la mañana a la tarde de acuerdo al recorrido solar evitando zonas constantemente a la sombra.

Los bloques en Zabalgana se agrupan conformando manzanas abiertas al menos en algunos de sus lados, en teoría esta disposición garantizaría el acceso solar pero veremos a continuación como el soleamiento es variable en los distintos modelos presentes en el área.

- Un modelo frecuente en el área es aquel en el que los bloques conforman una U, son manzanas de entre 4.000 y 8.000 m² en las que la edificación se ha desarrollado en una única promoción. El soleamiento del espacio interior depende de la orientación de la abertura. Cuando esta es hacia el Sur permite el acceso del sol mientras que cuando es hacia el norte el interior queda en sombra constantemente durante el periodo de estudio. Situaciones también desfavorables son las aberturas a Este y Oeste, aunque como la trama tiene un ligero giro respecto a los ejes cardinales las aberturas a Este sí que presentan algunas zonas de soleamiento en el espacio interior.

- Otro modelo de manzana frecuente en Zabalgana son las abiertas en varios de sus lados. Estas manzanas son de mayores dimensiones, a partir de los 8.000 m² hasta 12.000 m², compuestas por varias parcelas en las que la edificación se desarrolló en distintas promociones. Estas manzanas por la mayor dimensión de los espacios interiores que conforman y las varias aberturas presentes tienen unas condiciones de acceso solar más favorables. Aunque existen zonas en sombra continua durante todo el periodo de estudio, principalmente aquellas situadas al Norte de edificaciones lineales orientadas E-O, existen otras áreas en las que sí hay soleamiento. Esta variedad permite la existencia de distintos ambientes, beneficiando incluso la existencia de sombras en los días más calurosos del verano, sin embargo ha de tenerse muy en cuenta la adecuación de usos dentro de esos espacios a las condiciones climáticas de éstos.

- Por último, existen un par de grandes manzanas al suroeste del área de estudio, en el sector 6, en el que una edificación perimetral rodea un gran espacio en el que se incluyen usos dotacionales todavía no desarrollados. La superficie de estas agrupaciones es de 65.000 y 100.000m² y la edificación perimetral, en forma de bloque lineal o de L, proviene de distintas promociones. Dado el gran tamaño del espacio libre interior existen amplias zonas con buen soleamiento que debieran ser suficientes incluso cuando se desarrollen los equipamientos.

Por último haremos referencia a la influencia de ciertos tipos edificatorios que no conforman manzanas con espacios libres propios en su interior en el soleamiento del espacio exterior que las rodea.

- Las torres de mayor altura, dispuestas linealmente, generan un área de sombras amplia pero en el que se van sucediendo entradas de los rayos solares a través del espacio existente entre ellas.

- Las viviendas unifamiliares se agrupan en hileras dobles dejando un estrecho corredor entre ambas. Su orientación predominante es N-S orientándose unas de las hileras al Este y la otra al Oeste. En estos tipos el soleamiento del corredor queda comprometido mientras que en los espacios exteriores privados de cada una de las viviendas existen áreas con pleno soleamiento.

2.4.3. Evaluación de la propuesta de redensificación según criterios solares.

La última parte del trabajo fue, finalmente, la evaluación de la propuesta de redensificación con objeto de determinar si la edificación resultante cumple los criterios solares establecidos.

Para ello sólo es necesario superponer la edificación que pretende incorporarse al plano de áreas de movimiento. En este plano se representa la edificación residencial incluida como imagen de la propuesta (y que puede sufrir alguna alteración en su desarrollo) en un sombreado rojo continuo, además los equipamientos pendientes se muestran con una línea roja en su contorno.

Todas aquellas áreas en planta que quedan fuera de las áreas de movimiento no cumplen las condiciones solares mínimas requeridas. Debe comprobarse que la altura máxima de la edificación propuesta se corresponda con la altura máxima del área de movimiento en el que se sitúa.

3. Conclusiones.

Aunque las conclusiones específicas del análisis realizado para Zabalgana se recogen en el apartado 2.4. *Evaluación de la modificación de planeamiento de Zabalgana según criterios solares*, se incluyen a continuación otra serie de conclusiones de carácter más general sobre el método de análisis utilizado y sobre las posibilidades de redensificación de entornos urbanos con criterios de soleamiento.

Sobre el método de análisis.

Respecto al método utilizado, el trabajo ha demostrado la validez y las ventajas de trabajar con software de tratamiento de imagen para hacer estudios de acceso solar en entornos urbanos. La dificultad de estos estudios radica en la complejidad derivada de la multitud de objetos que es necesario incluir en los cálculos, con este método se permite realizar cada uno de los procedimientos de manera conjunta para todo el área de estudio.

Los resultados obtenidos serán tan precisos como lo sea el modelo tridimensional del entorno obtenido. A partir del momento del cálculo de sombras con el software CAD las sombras utilizadas como base son reales.

Precisamente la necesidad de un modelo tridimensional del terreno es detectada como una de las debilidades del sistema, ya que su elaboración puede ser compleja si no se realiza una serie mínima de simplificaciones.

A pesar de que el objetivo del trabajo era obtener las áreas de movimiento que cumplieran las condiciones de soleamiento impuestas, una especie de envoltorios solares (*solar envelope*) a escala urbana, se han elaborado también a partir de la información que se producía durante el proceso otra serie de datos como el número de horas de sol en los espacios libres o en las fachadas. Esto nos indica que quizá sea posible la aplicación del método para otro tipo de análisis que no han sido planteados en este trabajo y que podrían desarrollar la técnica.

Se ha comentado ya las limitaciones encontradas hasta el momento para obtener las horas de soleamiento de las viviendas y no sólo sobre las fachadas, quedando esa posibilidad abierta para una posterior investigación que aclare si es posible o no obtener dicha información.

Sobre las posibilidades de redensificación de Zabalgana.

Atendiendo a la evaluación de la propuesta de redensificación que maneja el Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz comparada con las áreas de movimiento posible obtenidas, se constata la impresión inicial de que las construcciones que se pretenden incorporan lo hacen sobre áreas cuya actividad residencial inicial era casi nula, estando destinadas fundamentalmente a grandes equipamientos y zonas verdes en los que se diluía la intensidad de la experiencia urbana.

Sin embargo, el trabajo demuestra que existen una gran cantidad de áreas en las que sería posible incorporar nueva edificación incluso entre las áreas residenciales más consolidadas.

La altura es determinante, reduciéndose mucho las áreas en las que sería posible utilizar los bloques altos característicos de este tipo de áreas, mientras que si se adoptan construcciones de menor altura las superficies son mucho más extensas. Este tipo de edificaciones aportaría además la variedad tipológica que genere diversidad de actores y situaciones sociales de las que muchas veces carecen estos entornos.

4. Bibliografía.

ALONSO, Andrés. 2011. Vitoria-Gasteiz Capital Verde Europea: Caminando hacia una ciudad competitiva neutra en carbono. *CONAMA 10*.

ANDRÉS ORIVE, Luis. 2006. "Relaciones ciudad-naturaleza en Vitoria-Gasteiz". <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n38/aland.html> (consultado 28/05/2011)

Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz. Vitoria-Gasteiz. Capital Verde Europea 2012-2013. Vitoria-Gasteiz.

BASANTA CARMONA, Elena. 2011. Ordenanza solar en Lakua. Tejido residencial años 80 en Vitoria-Gasteiz.

COTTON, John F. 1996. Solid modeling as a tool for constructing solar envelopes. *Automation in construction* 5: 185-192.

EIGEN, J. 1982. Environmental considerations for urban and regional planning. The environment, public health and human ecology: considerations for economic development. The World Bank, Washington D.C. Estados Unidos

ENGUITA, A e HIGUERAS, Ester. 2008 La ciudad contemporánea. Análisis de su génesis y estructura. Edita CEIM. Madrid

FARIÑA TOJO, José. (*). 1998 La ciudad y el medio natural. Akal. Madrid

GARCÍA COUTO, Miguel Ángel. 2011. *Atlas climático ibérico. Temperatura del aire y precipitación (1971-2000)*. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

GARCÍA MARTÍN, Fernando Miguel, e HIGUERAS, Ester. 2011. "Evaluación Con Criterios De Soleamiento De Zabalzana (Vitoria-Gasteiz) y Su Redensificación." In *V Conama Local. Vitoria-Gasteiz*. (<http://www.conamalocal.org/web/generico.php?idpaginas=&lang=es&menu=424&id=719&op=view&tipo=C>.)

GIVONI, B. 1978. *L'homme, L'architecture et Le Climat* Editions du Moniteur. Paris.

HIGUERAS, Ester. 2006. *Urbanismo Bioclimático*. Barcelona: Gustavo Gili.

---. 2001. *Urbanismo y medio ambiente. La ciudad, el microclima urbano y el bienestar*. Madrid: Instituto Juan de Herrera y Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.

IKERLAN. Departamento de Energía. 1999. *Atlas de Radiación Solar del País Vasco*. 3rd ed. Bilbao: Ente Vasco de la Energía (EVE).

KNOWLES, Ralph L. 2003. The solar envelope: its meaning for energy and buildings. *Energy and buildings* 35: 15-25.

LITTLEFAIR, Paul. 1998. Passive solar urban design: ensuring the penetration of solar energy into the city. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2: 203-326.

---. 2001. Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment. *Solar Energy* 70, no. 3: 177-185.

LÓPEZ DE LUCIO, Ramón. 2007. Construir ciudad en la periferia: criterios de diseño para áreas residenciales sostenibles. Madrid: Marea.

MASLOW, A., H. 1970. *Motivation and Personality*, Harper & Row, New York.

- MORELLO, Eugenio, y Carlo RATTI. 2009. Sunscapes : “ Solar envelopes ” and the analysis of urban DEMs. *Computers, Environment and Urban Systems* 33, no. 1: 26-34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2008.09.005>. (consultado el 15 de Mayo de 2011)
- NEILA GONZALEZ, JAVIER. 2004. Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible. Madrid: Editorial Munilla-Iería.
- NIEMASZ, Jeffrey, Jon SARGENT, y Christoph F REINHART. 2011. Solar Zoning and Energy in Detached Residential Dwellings. *Accepted for publication at SimAUD 2011*: 9.
- NIKOLOPOULOU, Marianela, con RUROS. Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces. 2004. *Designing open spaces in the urban environment: A bioclimatic approach. Energy*. Greece: Centre for Renewable Energy Sources.
- NINYEROLA, Miquel, Xavier PONS, y Joan M ROURE. 2005. *Atlas climático digital de la península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica. Vide Science Technique Et Applications*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. Departamento de Biología Animal, Vegetal y Ecología. Departamento de Geografía.
- OLGYAY, V. (*). 1963. Design with Climate. Princeton, New Jersey. Princeton University Press Reeditado 1999. Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili.
- RATTI, Carlo, y Paul RICHENS. 2004. Raster analysis of urban form. *Environment and Planning B: Planning and Design* 31, no. 1: 297-310.
- RUTTAKAY PERERIRA, Fernando OSCAR, Carlos Alejandro NOME SILVA, y Benamy TURKIENIKZ. 2001. A methodology for sunlight urban planning: A computer-based solar and sky vault obstruction analysis. *Solar Energy* 70, no. 3: 217-226.
- STASINOPOULOS, Thanos N. 2010. Solar envelope. A construction method using AutoCAD 2000. <http://www.ntua.gr/arch/geometry/tns/sol envelope/>. (consultado el 10 de Mayo de 2011)
- TOPALOGLU, Birol. 2003. Solar envelope and form generation in architecture. *Architecture*. The graduate school of natural and applied sciences of the Middle East Technical University.