

## **LA REHABILITACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE EDIFICIOS PÚBLICOS DE CARA A LOS OBJETIVOS DE LA DIRECTIVA EUROPEA 20-20-20, CASO DE APLICACIÓN EN EL CENTRO CÍVICO IPARRALDE DE VITORIA**

**<sup>1</sup>Higueras García, Ester; <sup>1</sup>Carretero Monteagudo, Jorge**  
**<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Madrid**  
**e-mail: ester.higueras@upm.es jmcmarq@hotmail.com**

### **RESUMEN**

El artículo presente presenta el análisis de una supuesta rehabilitación en el ámbito de lo ecoeficiente, aplicada sobre el caso del centro cívico Iparralde en la ciudad de Vitoria Gastéiz. Esta rehabilitación, que busca el cumplimiento de los objetivos de la Directiva 20-20-20, tiene como objetivo principal la demostración de la eficacia de las soluciones mixtas entre técnicas de rehabilitación. Por consiguiente, para el análisis de esta supuesta rehabilitación fueron empleadas las cubiertas verdes y las fotovoltaicas, estudiando los efectos beneficiosos de las mismas de cara a los objetivos medioambientales de la directiva 20-20-20. Una vez realizado el estudio, se estableció como conclusión que las mejores soluciones eran las mixtas entre diferentes modelos de rehabilitación, debido a que estas engloban los objetivos del 20-20-20 desde diferentes ámbitos.

Keywords: rehabilitación, medioambiental, europa 20-20-20, edificios, dotacionales

## 1.- Antecedentes y estado del arte

El tema de la eficiencia energética en la edificación y la rehabilitación es a día de hoy un tema de importancia a escala mundial, cuya consideración viene fundamentada por los problemas medioambientales actuales.

Por supuesto, todas las operaciones sobre la edificación destinadas a lograr una mayor eficiencia energética pueden o no estar incluidas dentro de un contexto legal y de objetivos a cumplir, cuyo fin es incentivar a los diferentes gobiernos e instituciones nacionales, regionales o locales, en la mejora de la eficiencia energética de la edificación con un único fin, la reducción del consumo de energía y de la contaminación en las zonas urbanas y rurales.

Dentro del contexto de la Unión Europea, entre otras medidas incentivadoras de la eficiencia energética, está la Directiva Europea de objetivos 20-20-20 (año 2008), en la que se propone una reducción del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero, una reducción del 20% en el consumo de energía, y un aumento de la presencia de las energías renovables como fuente energética, en al menos un 20% respecto de la generación total de energía [1]. Respecto al tema de la edificación, el informe de comunicación de la Comisión Europea del 20-20-20, responsabiliza al funcionamiento de los edificios del 40% del consumo energético, y el 36% de las emisiones totales comunitarias de CO<sub>2</sub>. También explica de forma explícita, que la reducción del consumo de energía en un 30% respecto al total actual, en todos los edificios de la Unión Europea, equivaldría a una reducción del mismo en un 11% respecto al total del consumo de energía de la Unión Europea. Un reto que a día de hoy es también es calificado como perfectamente viable.

A su vez, esta directiva especifica que la responsabilidad en la reducción del consumo energético y de las emisiones recae en los estados miembros. De modo que es necesario tomar medidas de cara a este objetivo, y así, la Comisión Europea se compromete a lanzar iniciativas de cara a la difusión y desarrollo de los medios de construcción sostenibles [2], [3]. De ahí, que resulte de interés la investigación de posibles métodos para lograr estos objetivos en la rehabilitación de edificaciones. En España. En los últimos años, se ha comenzado a fomentar desde las administraciones públicas el impulso de la rehabilitación. Sin embargo, la mayoría de las intervenciones se rigen todavía por parámetros constructivos o estéticos a escala del edificio, mientras que los aspectos de mejora energética aún no tienen la importancia que deberían.

En este sentido, revisando la actual normativa, se ve que han comenzado a aparecer normativas e iniciativas mediante las cuales se busca la mejora de la eficiencia energética.

De este modo, se realizará una breve revisión de la normativa española respecto de este tema:

La ley 8/2013 del BOE, menciona el compromiso en los objetivos del 20-20-20, y habla de la gestión de las obras y de la importancia de la mejora energética a través de la rehabilitación sin proponer medidas ni establecer casos guía, ni pautas de cálculo para el impacto medioambiental [4].

A partir de esta ley, están las ordenanzas tanto a escala de comunidad autónoma, como de provincia y municipio en relación a la protección del medio ambiente urbano, (calidad del aire, salubridad en las calles, alcantarillado, parques...) las cuales se caracterizan por estar muy enfocadas en ámbitos muy específicos.

Por poner un ejemplo, la Ordenanza de Protección del Medio Ambiente urbano del Ayuntamiento de Madrid (1985, última actualización en 2001), hace un especial hincapié en el mantenimiento de las condiciones de salubridad en la ciudad, y el saneamiento de la misma, considerando apenas el tema de la reducción tanto del dióxido de carbono como de energía, y la implantación de energías renovables, que

son las bases del objetivo 20-20-20, esto se debe principalmente a la antigüedad de la ordenanza [5]. Con la intención de suplir un poco estas indefiniciones, el Ayuntamiento de Madrid en 2003 aprobó otra ordenanza centrada en el uso de la energía solar térmica, considerando un aporte mínimo de acuerdo a las características del edificio y sus habitantes. [6] No obstante, la Comunidad de Madrid en el año 2011 aprobó un plan de impulso de las energías renovables, el cual no está vigente actualmente [7].

Acercándonos más al contexto en el que vamos a trabajar, el ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, centra sus ordenanzas municipales medioambientales en el saneamiento de la ciudad, la calidad del aire y la explotación de las instalaciones de tratamiento de residuos (2005-2013), sin establecer pautas sobre la rehabilitación o el ahorro de energía [7]. A pesar de ello, el ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz ofrece ayudas para la rehabilitación de edificios residenciales, que centran su atención en los temas de la mejora de los cerramientos del edificio y las instalaciones, sin considerar apenas el tema de las reducciones propuestas por el objetivo 20-20-20 [8]. Además el carácter de esta norma es parcial, ya que se centra exclusivamente en edificios residenciales, con preferencia en edificaciones que se encuentren en estado de degradación en cerramientos e instalaciones.

Como conclusión, se podría decir que la normativa española respecto a este tema enfoca los problemas relacionados al medio ambiente desde un punto de vista muy sectorial y específico, proponiendo a su vez medidas de rehabilitación muy específicas que rara vez consideran las respuestas múltiples o las combinaciones tecnológicas, que a priori es lo que se puede considerar como la solución más eficiente a la hora de acometer una rehabilitación medioambiental sobre un edificio de cualquier tipo, ya sea público o privado.

De este modo, la temática del presente trabajo de investigación aplicada será considerar los efectos a la hora de acometer soluciones que son combinación de técnicas de rehabilitación medioambiental, de cara a una reducción de las emisiones de dióxido de carbono, y el consumo energético, a la vez que la inserción de energías renovables. Y así de esta manera, ver si es posible un acercamiento mayor o menor a los objetivos de la Directiva 20-20-20, que para su cumplimiento, en el caso de los edificios propone una reducción de aproximadamente el 30%.

De este modo, el reto europeo del 20-20-20, y sus posibles repercusiones tanto a escala nacional como internacional (Posibles tema de investigaciones futuras), plantea una extraordinaria oportunidad de investigación aplicada, relativa a las medidas más oportunas que pudieran ser de aplicación en la arquitectura y en la rehabilitación medioambiental de los espacios urbanos, y por consiguiente, el presente trabajo de investigación, se centrará en el análisis de las diferentes medidas de rehabilitación para alcanzar los objetivos anteriormente citados de la Directiva Europea 20-20-20. Y por consiguiente, este estudio estará aplicado sobre edificios de gran tamaño, uso público y propiedad municipal, que sin duda son una gran oportunidad para un análisis de cómo podrían lograrse los objetivos anteriormente mencionados.

El presente trabajo se centró en la aplicación de diferentes técnicas de rehabilitación medioambiental sobre un caso de edificio dotacional con un único fin y objetivo: evaluar la oportunidad de dar una respuesta ecológica a los grandes equipamientos de la ciudad de cara al cumplimiento de los objetivos del 20-20-20, reduciendo de esta manera el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>, se evaluaron tres métodos de rehabilitación medioambiental. El objetivo de la presente investigación, es ver cuál es la solución más beneficiosa respecto a:

1. Mediante la transformación de las cubiertas y plazas colindantes al edificio en superficies verdes.
2. Mediante la introducción de paneles fotovoltaicos en los lugares en los que resulte viable en las cubiertas.
3. Mediante una combinación de las dos propuestas anteriormente mencionadas.

De este modo, para el presente trabajo se formula la siguiente hipótesis:

- La combinación de cubierta verde y fotovoltaica aporta más beneficios para el caso de edificaciones de gran superficie, como son los equipamientos urbanos.

De este modo, el análisis que se hará en el presente trabajo estará centrado en la corroboración de la hipótesis anteriormente mencionada, a través de el estudio de un caso de edificio dotacional, que será el Centro Cívico Iparralde en la localidad de Vitoria-Gastéiz.

## **2.- Metodología**

Para acometer el estudio del caso del Centro Cívico Iparralde , en primer lugar se hará necesario dentro del edificio definir el área de actuación, que en nuestro caso será su cubierta, la plaza aledaña y la marquesina adjunta.

El segundo paso es la realización de un análisis de la irradiación solar en las zonas , que nos será de ayuda para más adelante estimar la cantidad de energía, que mediante el uso de energías renovables fotovoltaicas pudiera utilizarse para generar la reducción de consumo energético y uso de renovables demandada en los objetivos del 20-20-20.

El análisis de la irradiación solar sobre las áreas a intervenir, se realizó considerando en primer lugar diferentes puntos localizados sobre la cubierta, la fachada y la plaza (todas zonas a rehabilitar) para más adelante considerar un análisis de máscaras de sombra mediante la realización sobre las cartas solares estereográficas. Estas cartas, que muestran todos los diferentes ángulos de radiación solar a lo largo de todo el año, indican las horas en un día arquetípico de un mes determinado, así como los períodos en los cuales los puntos de estudio se encuentran en sombra.

Los resultados de este análisis están relacionados con un punto dentro del área a analizar dentro de la cubierta, fachada y plaza de Centro Cívico Iparralde marcándose como zona sombreada, las horas en las que los rayos solares no inciden sobre el punto debido a la presencia de obstáculos que interrumpen la irradiación solar (Máscara de sombra) [9].

El proceso de elaboración de ésta máscara de sombra, considera el ángulo de altura y de azimut solar entre el borde del obstáculo que interrumpe la irradiación de los rayos solares y el punto de analizar. Este análisis será de importancia, ya que permite la cuantificación del número de horas de asoleo y así se puede establecer unas sub-áreas de intervención y rehabilitación dentro cada elemento de análisis, ya sea de la fachada, de la cubierta y o de la plaza del Centro Cívico Iparralde en relación a las horas de sol recibidas.

El tercer paso, consistió en el cálculo de los diferentes factores ambientales que van a ser de aplicación para el trabajo actual. Se considerará a priori la radiación solar sobre el punto que va a generar energía fotovoltaica. De este modo, la transformación de las horas expuestas a la irradiación solar descritas por las cartas estereográficas en valores numéricos relacionados con la energía irradiada, va a ser realizado mediante el uso de una hoja de cálculo realizada por el catedrático Javier

Neila de la Universidad Politécnica de Madrid (2010), en el que se pueden insertar datos climáticos, así como la configuración de la superficie a analizar. El segundo factor a analizar en este trabajo de investigación es el relacionado con la absorción del dióxido de carbono que las plantas pueden acometer. Esto se hará en base a la interpolación y la adaptación de los datos resultantes de trabajos de investigación realizados previamente.

Una vez estudiado el contexto del Centro Cívico Iparralde a efectos de prestaciones bioclimáticas, se definirá el alcance del presente trabajo para las medidas de rehabilitación a aplicar sobre el contexto de las sub-zonas de rehabilitación dentro del edificio, de modo que van a ser consideradas exclusivamente las cubiertas verdes intensivas y extensivas, a la vez que las de tipo fotovoltaico. Respecto a estos tipos de cubiertas, se calcularán y ponderarán las prestaciones y datos necesarios para el análisis de las medidas de rehabilitación, a partir del análisis de modelos, estudios y otras investigaciones centradas en tema, que se citarán más adelante. Es decir la insolación para el análisis del rendimiento energético de las cubiertas de paneles fotovoltaicos, y la capacidad de absorción de dióxido de carbono, para el caso de la rehabilitación a través de las cubiertas verdes.

Finalmente, una vez estudiadas las capacidades tanto de generación de energía a través de las cubiertas fotovoltaicas, como la capacidad de absorción por parte de las cubiertas verdes, se analizarán tres escenarios en el que se considerarán diferentes tipos de rehabilitación que combinarán en mayor o menor medida la cubierta fotovoltaica, con la verde, de acuerdo a lo establecido como los tres escenarios propuestos. Una vez obtenidos los resultados, tanto del energía que puede ser captada mediante paneles solares, a la vez que el del dióxido de carbono que puede ser absorbido por las cubiertas verdes tras aplicar la rehabilitación. Como paso previo a las conclusiones, se estimará aproximadamente el consumo de energía del Centro Cívico Iparralde, considerando y ponderando datos con el programa de calificaciones energéticas CE3X (2013).

Una vez realizado este paso se establecerá finalmente un umbral de relevancia de las rehabilitaciones, de acuerdo con los objetivos de la directiva europea 20-20-20 para el caso del edificio Iparralde, buscando la generación de energía por fuentes renovables y la reducción de gases de efecto invernadero.

No obstante, cabe destacar que la reducción de dióxido de carbono, se va a considerar exclusivamente para soluciones de cubierta verde, debido a que la ponderación de la reducción del dióxido de carbono a través del uso de los paneles solares es un tema que requiere del conocimiento de las emisiones de los diferentes tipos de energía, además de la procedencia de las mismas para el caso del Centro Iparralde. Conocimiento del cual el autor carece, y que es un futuro tema de investigación de gran interés.

### **3.- Estudio de casos**

En relación a la exposición solar, hay que considerar que el Centro Cívico Iparralde, está situado dentro de un contexto de ciudad consolidada. Las características ambientales de cada fachada dependen directamente de su orientación. Cualquier análisis de captación de energía se llevará a cabo teniendo en cuenta las condiciones solares del entorno urbano en el que este edificio está ubicado (Figura 1).



Fig. 1 “Contextualización del Centro Iparralde. Fuente: Bing Maps”.

El edificio del centro Iparralde, fue inaugurado en el año 1989 tiene un uso marcadamente dotacional. Dentro de sus usos hay un teatro, una piscina pública, varios aulas y un centro social. Respecto a la materialización del edificio, la estructura del mismo es de pilares y vigas, y los enormes espacios diáfanos del interior son cubiertos mediante el uso de cubiertas inclinadas metálicas ligeras. Los cerramientos son de fábrica de ladrillo en su mayoría, utilizando un aplacado pétreo para el exterior, y revoco o azulejos para el interior dependiendo del uso, a continuación se muestra un detalle constructivo de la zona de la piscina cubierta (Figura 2).

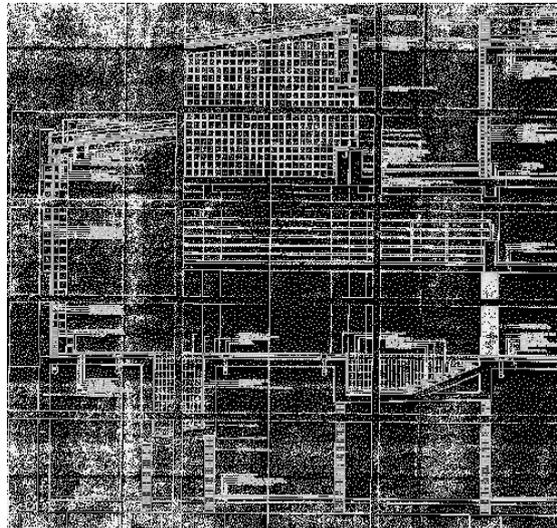


Fig. 2 “Detalle Constructivo del Centro Iparralde. Fuente: Proyecto”.

### 3.1.- Análisis de la irradiación solar

Para calcular la irradiación solar sobre la cubierta del Centro Cívico Iparralde, diferentes puntos fueron ubicados sobre las áreas a analizar, en cada una de ellas se calculará su máscaras de sombra. De este modo se situaron ocho puntos representativos sobre diferentes secciones de la cubierta, además de dos puntos en la fachada, y tres en la plaza ubicada al suroeste del edificio. Los resultados del análisis previo mediante simulación de sombras y gracias a las carta solares de 42°, correspondiente a la latitud de Vitoria-Gasteiz serán la base de un estudio más detallado para calcular las horas de sol en las zonas a analizar. Fue necesario , conocer tanto los datos del parcelario como las alturas de cornisa del entorno urbano. La cubierta del ala suroeste del Centro Cívico Iparralde tiene un obstáculo urbano relevante que proyecta sombra sobre la cubierta, sin embargo en las otras fachadas apenas hay obstáculos debido a que no hay diferencias entre alturas de cornisa, o los edificios de mayor cota no proyectan sombra sobre la cubierta debido a su alejamiento. Es importante considerar las características de la cubierta, y su división en áreas de diferente cota de cara al posterior análisis de irradiación solar.

#### 3.1.2. - Análisis de máscaras solares.

Se estimaron las horas de sol dentro de cada punto referencial de la cubierta, la fachada y la plaza, gracias al estudio por máscaras de sombra, cuya resultante se muestra en la siguiente figura (Figura 3).

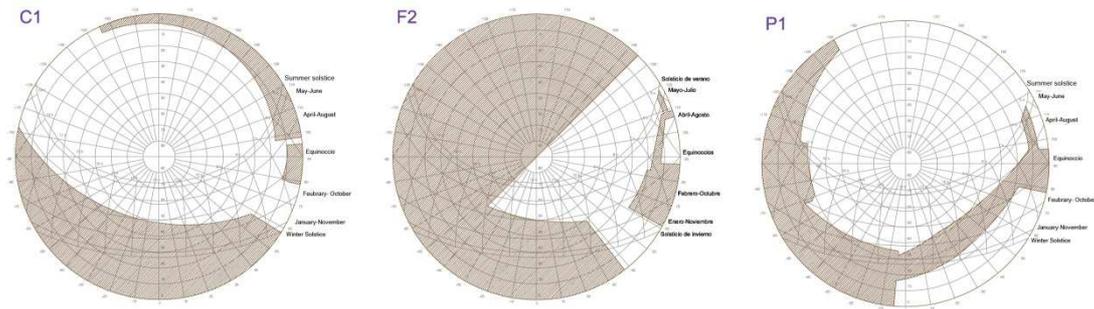


Fig. 3 “Máscaras Solares”. Fuente: Elaboración propia.

En los meses más fríos las obstrucciones son mayores y la irradiancia es menor. Para conocerla con rigor, se hizo necesario un recuento de las horas de sol en base a los datos recogidos en las cartas estereográficas como base para obtener los resultados de horas de sol (Tabla 1).

Cálculo de horas de sol anual (Partiendo de horas de sol mensuales)														
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total Anual	% horas de sol anual
C1	31	84	202	390	403	390	403	403	195	93	30	0	2623,5	0,60
C2	15,5	84	264	390	434	435	450	403	255	93	15	0	2837,5	0,65
C3	31	196	295	360	372	375	372	372	285	217	30	0	2904,5	0,66
C4	0	84	217	375	403	420	403	388	210	93	0	0	2592,5	0,59
C5	46,5	154	248	240	248	240	248	248	240	171	45	46,5	2174,5	0,50
C6	77,5	238	341	420	450	435	450	419	330	264	75	62	3559,5	0,81
C7	217	252	372	390	450	435	450	450	360	279	210	31	3894,5	0,89
C8	202	238	357	420	450	435	450	434	345	264	195	62	3849,5	0,88
P1	93	154	217	300	357	360	357	310	210	171	90	93	2710,5	0,62
P2	202	210	264	300	341	330	341	310	255	233	195	186	3165,5	0,72
P3	217	210	279	300	310	300	310	310	270	233	210	171	3119	0,71
F1	77,5	168	248	255	264	255	264	264	240	93	75	62	2264	0,52
F2	62	56	202	225	264	255	264	233	195	62	60	62	1938	0,44

Tabla 1 “Horas de sol mensuales y anuales”. Fuente: Elaboración Propia.

Partiendo de estos datos, se realizó un diagrama explicando la cantidad de incidencia solar sobre los puntos seleccionados. En base a este análisis los ámbitos de actuación se agruparon (Figura 4).

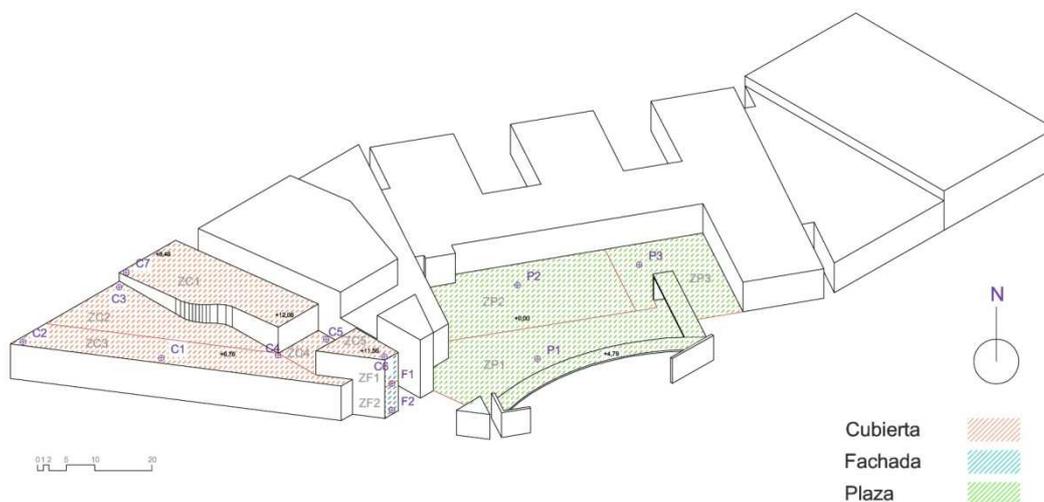


Fig. 4 “Zonas de Análisis del Centro Iparralde”. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.- Primeros resultados y establecimiento de las áreas a analizar

Para el presente trabajo, se hace necesario definir las áreas a rehabilitar (Tabla 2), además de enfocar los resultados del análisis solar hacia la ponderación de la eficiencia energética de las medidas de rehabilitación. De este modo basándonos en el patrón de zonas ordenadas por exposición solar anual, y los datos de máscaras solares relativas a puntos seleccionados, la división por áreas definitiva fue realizada. Estas áreas van a ser tratadas como aptas o no aptas para las diferentes medidas de rehabilitación energética, en base a sus características.

ÁREA A: PLAZA	Altura de cornisa (m)	Superficie (m2)	Puntos de referencia	Inclinación	Azimut	Características
Cubierta 1 (ZC1)	12,06 a 8,63	380,88	C7-C8	6º	-135º	Cubierta inclinada, inclinación 6º
Cubierta 2 (ZC2)	6,76	329,27	C1-C2	0º	0º	Cubierta plana
Cubierta 3 (ZC3)	6,76	276,36	C3-C4	0º	0º	Cubierta plana
Cubierta 4 (ZC4)	6,76	81,45	C5	0º	0º	Cubierta plana
Cubierta 5 (ZC5)	11,56	54,56	C6	0º	0º	superficie total de 61,42 m2, dos lucernarios de 3,43 m2 fueron restados
ÁREA B: FACHADA	Altura de cornisa (m)	Superficie (m2)	Puntos de referencia	Inclinación	azimut	Características
Fachada 1 (ZF1)	5,9 a 11,56	18,48	F1	90º	45º	Muro sureste
Fachada 2 (ZF2)	0 a 5,9	18,48	F2	90º	45º	Muro sureste
ÁREA C PLAZA	Altura de cornisa (m)	Superficie (m2)	Puntos de referencia	Inclinación	azimut	Características
Plaza 1 (ZP1)	0	762,84	P1	0º	0º	Area sur de la plaza, marquesina ubicada al sur
Plaza 2 (ZP2)	0	590,62	P2	0º	0º	area oeste de la plaza
Plaza 3 (ZP3)	0	339,7	P3	0º	0º	limita a norte y a oeste con el edificio Iparralde
Marquesina 1 (ZM1)	4,79	127,91	P2	0º	0º	área curva de la marquesina ubicada al sur de la plaza
Marquesina 2 (ZM2)	4,79	65,47	P2	0º	0º	Area recta de la marquesina ubicada al este de la plaza

Tabla 2 “Características de las zonas a analizar”. Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.- Cálculo de la energía solar irradiada

El cálculo de la irradiancia solar es necesario para estimar la cantidad de energía solar generada por los medios de generación fotovoltaica. Para calcular la irradiancia solar en medidas de energía, se utilizó una hoja de cálculo realizada en 2010 por el catedrático Javier Neila de la Universidad Politécnica de Madrid. En esa hoja, los datos climáticos y geográficos de Vitoria-Gasteiz fueron insertados además de la información relacionada con la nubosidad, también se insertaron los azimuts y las inclinaciones de las diferentes zonas.

De este modo, una vez que la irradiación solar fue calculada para cada área, realizando su respectiva hoja de cálculo, se hizo necesaria la aplicación del criterio de áreas de sol sobre cada zona, aplicando para ello los datos obtenidos previamente en el análisis de máscaras solares, ya que la hoja de cálculo no considera la presencia de obstáculos que obstruyan la incidencia solar teórica. Se aplicará de este modo una reducción del valor de irradiación dependiendo de si la zona está más o menos soleada en una hora determinada.

Una vez que los valores relacionados con la irradiación solar fueron calculados de forma más rigurosa, el siguiente objetivo fue valorar las posibilidades de las operaciones de rehabilitación.

## 4.- Resultados relacionados con el análisis de los medios de rehabilitación

Los siguientes análisis de operaciones de rehabilitación, se van a basar en la estimación de las prestaciones medioambientales que estas pudieran otorgar de forma individualizada sin estar todavía aplicadas sobre el edificio Centro Cívico Iparralde . De este modo se pudieron obtener los datos que nos van a ayudar a comprobar las hipótesis y premisas establecidas en los objetivos, así como la composición de los escenarios de rehabilitación anteriormente mencionados, y los efectos derivados de su aplicación de cara a los objetivos del 20-20-20. De este modo se realizó el análisis de las cubiertas de tipo verde extensiva, verde intensiva y fotovoltaica.

### 4.1.- Cubierta verde extensiva y muro verde

La prestación medioambiental de este tipo de rehabilitación de cubierta tiene una fuerte relación con las toneladas de dióxido de carbono asimiladas. Este tipo de

cubierta verde contiene plantas de poco peso adaptadas al uso de un sustrato fino. La asimilación de dióxido de carbono, se va a hallar mediante el establecimiento de un valor, y este va a ser estimado en base al análisis de los resultados de diferentes estudios de investigación acerca de las capacidades de diferentes especies de plantas para la absorción del dióxido de carbono. Tales como el realizado por KL Getter Ea [11], Carbajal Micaela [12] o Manuel Figueroa Clemente [13]. (2009)

De esta manera, el valor de capacidad de absorción de dióxido de carbono fue descrito considerando el número de plantas por metro cuadrado. Este valor se estableció como unos 1.350 gramos o 0,00135 [11], [12], [13] toneladas de CO<sub>2</sub> por año y metro cuadrado de cubierta verde extensiva. Este tipo de intervención se considera compatible con las áreas de cubierta 1,2,3 y 4. y áreas de la plaza 1,2 y 3. Su precio se estableció partiendo de las tarifas que la empresa Intemper publicó en el año 2012, acerca de sustratos de poca profundidad y su correspondiente cobertura vegetal. Teniendo en cuenta también otros datos comparativos realizados por los autores del presente trabajo.

Los resultados del cálculo relativos a tanto al balance de dióxido de carbono como a los costes de la intervención, se muestran en la tabla de resultados sobre las zonas. El muro verde, aunque no es una cubierta verde en sí, para este trabajo se entendió como la adaptación de la cubierta intensiva de cara a las fachadas. Para el cálculo del muro verde, compatible solo para las áreas de la fachada 1 y 2. Los mismos resultados del cálculo anteriormente realizado para las cubiertas verdes extensivas fueron considerados, pero los precios por unidad serán diferentes. Tanto los resultados del cálculo de balance de dióxido de carbono como el presupuesto total por área a rehabilitar, están en la tabla de resultados final.

#### **4.2.- Cubierta verde intensiva**

De manera similar a la cubierta verde extensiva, el propósito de la inserción de este modelo de rehabilitación es la reducción de dióxido de carbono. Por consiguiente, el cálculo de balance de CO<sub>2</sub> se realizó de la siguiente manera: para la estimación de la capacidad de absorción, el cálculo se llevó a cabo dentro de un proceso similar al descrito para cubiertas verdes extensivas, teniendo en cuenta para este caso vegetación arbustiva, debido a su carga no muy elevada. De esta manera, los estudios realizados por Enrique Figueroa y Susana Redondo Clemente Gómez en la Universidad de Sevilla [14], definen como las especies más eficientes en la reducción de la dioxina de carbono, el durillo (46 kg.CO<sub>2</sub> año) y el palmito (40 kg.CO<sub>2</sub> año). El estudio de las dimensiones de estos arbustos (1m<sup>2</sup> de ancho), ayudaron a estimar la absorción anual de cada metro cuadrado de cubierta verde intensiva para el análisis actual, que fue establecido con el valor de 40 kg o 0,04 toneladas de dióxido de carbono absorbido por metro cuadrado de cubierta verde intensiva y año. También es importante tener en cuenta las condiciones estructurales de la losa cuando este tipo de intervención es aplicada debido a su sobrecarga pesada. De esta manera este tipo de rehabilitación de cubierta se consideró compatible sólo con las zonas de cubierta 2,3 y 4, y las áreas de la plaza 1, 2 y 3. Para la estimación del presupuesto, se ha considerado la aplicación de una lámina impermeabilizante, además de un geotextil y un sustrato 50 cm para las plantas. Para la obtención de los precios unitarios de estos elementos constructivos, se utilizaron las tarifas establecidas por Intemper para el año 2012, siendo estos datos comparados, con otros de elaboración propia. Los resultados del balance de dióxido de carbono tras la aplicación de los techos verdes extensivos, así como los precios, se enumeran en la tabla de resultados final.

### 4.3.- Cubierta fotovoltaica

El cálculo del balance de energía derivado de la aplicación de la cubierta fotovoltaica está estrechamente vinculado a la radiación solar recibida en la superficie. Para el cálculo de la energía generada por la irradiación solar, el servicio técnico de la empresa Intemper, se encargó de proporcionar datos acerca de la cantidad de energía que se puede generar. Para el caso del Centro Cívico Iparralde, este servicio técnico estimó aproximadamente 44.984,36 kWh, para una superficie de 500 metros cuadrados, teniendo en cuenta las condiciones climáticas de Vitoria-Gasteiz. (55kW, utilizando el modelo de placa fotovoltaica Filtrón I40). Pero sin embargo, para enfocar el análisis de una manera más específica, va a ser necesario realizar una interpolación estimativa de los satisfactorios resultados proporcionados por el servicio técnico de Intemper. Para llevar a cabo esta tarea, la primera operación será definir el valor de la energía generada por las células fotovoltaicas en kWh por metro cuadrado, dividiendo los totales mensuales proporcionados por Intemper entre la superficie estándar considerada (500 m<sup>2</sup>). En segundo lugar, hay que tener en cuenta el hecho de que los valores proporcionados por Intemper, parten de la premisa de que no hay ni obstáculos a la irradiación solar sobre la cubierta, por lo que era necesario tener en cuenta los porcentajes de irradiación solar entrante para cada zona, de acuerdo a las horas de sol anteriormente obtenidas.

De este modo, una vez obtenidos estos datos, pasaremos al análisis de escenarios, de cara a las conclusiones finales.

### 5.- Análisis de escenarios de rehabilitación

Una vez definidas las prestaciones de las cubiertas, y establecidas las áreas de rehabilitación, pasaremos al cálculo de la mejora medioambiental llevada a cabo mediante los métodos de rehabilitación explicados con anterioridad. Un criterio que nos ayudará en la elección del medio de rehabilitación más acertado para cada zona, será el que con el menor coste, tenga el mayor efecto posible, o el que resulte más viable.

#### 5.1.- Escenario 1: Transformación de las cubiertas y plazas en superficies verdes

En este escenario se optó por aplicar cubiertas verdes extensivas e intensivas en la medida de lo posible sobre las zonas de la cubierta y plaza. De este modo se considerarán los datos derivados de análisis de los efectos de las cubiertas verdes, especificados en el apartado anterior. La rehabilitación se considerará de la siguiente manera, aplicando las capacidades de absorción básicas citadas en el tema 4 para ambos tipos de cubierta, considerando estos resultados (Tabla 3).

BALANCE ESCENARIO CUBIERTAS VERDES	Rehabilitación aplicada	Toneladas de Co2 asimiladas al año
Cubierta 1 (C1)	C.V. Extensiva	0,514188
Cubierta 2 (C2)	C.V. Intensiva	11,0544
Cubierta 3 (C3)	C.V. Intensiva	13,1708
Cubierta 4 (C4)	C.V. Intensiva	3,258
Cubierta 5 (C5)	C.V. Intensiva	0,073656
Fach. 1 (F1)	Muro Verde	0,024948
Fach. 2 (F2)	Muro Verde	0,024948
Plaza 1 (P1)	C.V. Intensiva	30,5136
Plaza 2 (P2)	C.V. Intensiva	23,6248
Plaza 3 (P3)	C.V. Intensiva	13,588
Marq. 1 (M1)	C.V. Extensiva	0,1726785
Marq. 2 (M2)	C.V. Extensiva	0,0883845
<b>TOTAL</b>		<b>96,108403</b>

Tabla 3: “Resultados parciales de asimilación de dióxido de carbono del escenario de las cubiertas verdes”- Fuente: Elaboración propia.

## 5.2.- Escenario 2: Introducción de paneles fotovoltaicos

En este escenario, se optó por aplicar paneles fotovoltaicos sobre la totalidad de las áreas a rehabilitar con buenas condiciones de soleamiento.

Respecto a este escenario, cabe destacar que aunque la colocación de los paneles fotovoltaicos es compatible constructivamente con la plaza, su disposición resulta inviable debido a las sombras arrojadas, y al constante tránsito de personas, que reducen significativamente su viabilidad.

Los resultados de la generación de kW/h están en la siguiente tabla (tabla 5):

BALANCE ESCENARIO CUBIERTAS FOTOVOLTAICAS	Rehabilitación aplicada	kW/h generados al año
Cubierta 1 (C1)	Compatible	25698,027
Cubierta 2 (C2)	Compatible	20377,467
Cubierta 3 (C3)	Compatible	18801,74
Cubierta 4 (C4)	Compatible	4512,54
Cubierta 5 (C5)	Compatible	3608,57
Fach. 1 (F1)	Compatible	662,58
Fach. 2 (F2)	Compatible	503,75
Plaza 1 (P1)	Incompatible	X
Plaza 2 (P2)	Incompatible	X
Plaza 3 (P3)	Incompatible	X
Marq. 1 (M1)	Compatible	7541,23
Marq. 2 (M2)	Compatible	5047,92
<b>TOTAL</b>		<b>86753,824</b>

Tabla 5 “Resultados parciales de generación de kW/h anuales mediante el uso de paneles fotovoltaicos sobre las áreas del Centro Iparralde”. Fuente: Elaboración propia.

## 5.3.- Escenario 3: Combinación de paneles fotovoltaicos más cubiertas verdes

Para este escenario, se estudió una combinación de uso de cubierta verdes (Tabla 6), con paneles solares, dependiendo de la zona. De este modo, tanto las cubiertas verdes como las fotovoltaicas serán aplicadas en las áreas cuya colocación resulte más viable de acuerdo a los escenarios anteriormente mencionados. Sus prestaciones van a ser la suma aparte de los balances de los escenarios anteriores.

## 6.- Cálculo del balance medioambiental

Una vez analizados los tres escenarios, el siguiente paso es ver si se ha producido una mayor o menor reducción del dióxido de carbono, o de las energías renovables, estableciendo como umbral los objetivos del 20-20-20 marcados por la Directiva europea.

### 6.1.- Cálculo del consumo energético y las emisiones de dióxido de carbono del Centro Iparralde.

Para el análisis de la reducción de las emisiones de dióxido de carbono, así como la reducción derivada de la aplicación de cubiertas verdes, se realizó un análisis estimativo del edificio Centro Cívico Iparralde con el programa CE3X, que nos daría los datos de emisiones de dióxido de carbono derivadas de su uso de energía. Se debe de considerar, que la inclusión de las cubiertas y fachadas verdes también van a producir una reducción de las emisiones del edificio, al incrementar el aislamiento, de este modo, para ver esta reducción, la metodología a aplicar será insertar las características térmicas y de transmitancia (U) de estas cubiertas en los cerramientos, dentro del programa.

Este análisis va a ser principalmente estimativo, ya que se desconocen las características de las instalaciones del centro Centro Cívico Iparralde, y su inserción en el programa CE3X se va a hacer supuestamente con las siguientes instalaciones:

- Calefacción y ACS: caldera mixta de gas de 400 kW, con aislamiento medio.
- Iluminación por fluorescencia compacta.
- Refrigeración mediante equipos de aire acondicionado eléctricos.

De este modo, las emisiones estimadas del Centro Cívico Iparralde de acuerdo a las instalaciones anteriormente mencionadas, es de aproximadamente 56,37 kg/m<sup>2</sup> de dióxido de carbono por metro cuadrado. Considerando una superficie de aproximadamente 2258 m<sup>2</sup>, las emisiones totales son de 127283,46 kg de co<sub>2</sub>. es decir, aproximadamente 127 toneladas de dióxido de carbono.

A partir de este análisis, podemos también estimar, en cuanto se reducirían estas emisiones si se aplicaran cubiertas verdes, insertándolas en el programa CE3X. Aplicando las cubiertas verdes, las emisiones del Centro Cívico Iparralde se quedan en 55,23 kg/m<sup>2</sup> de dióxido de carbono, y aplicando la superficie, las emisiones anuales se quedan en 124709 kg de co<sub>2</sub> (124 toneladas,) con un balance positivo de tres toneladas menos que no son emitidas a la atmósfera. No obstante, el efecto más beneficioso que van a producir las cubiertas verdes va a ser la absorción de el dióxido de carbono emitido.

A efectos de consumo energético, tomando como base los datos del IDAE relacionados a consumos en edificios de vivienda, se estableció para el Centro Cívico Iparralde , un consumo base de 172 kW / h m<sup>2</sup>, y la superficie interior de aproximadamente 2258 m<sup>2</sup>. Tenemos que el consumo del Centro Cívico Iparralde es de 388376 kW hora anuales

Respecto al análisis de la energía y la reducción producida tras la rehabilitación, va a ser necesario comparar los datos de la energía solar generada mediante paneles solares con el consumo del Centro Cívico Iparralde.

### **6.2.- Balances medioambientales a partir de la aplicación de cubiertas verdes**

Como se mencionó con anterioridad, La aplicación de elementos verdes también supone una reducción en el consumo de energía, por mejora de la transmitancia. Calculando este balance mediante los datos de consumo energético de Ce3x, fue posible establecer una reducción en consumo energético de 32000 kW/h anuales.

No obstante la mayor contribución que van a realizar las cubiertas verdes de cara al estudio de la reducción de las emisiones de dióxido de carbono, la va a realizar la capacidad de asimilación de las mismas, calculada en 96 toneladas de Co<sub>2</sub> anuales en el Apartado 5.1 del presente artículo.

Las cubiertas verdes no van a ser consideradas a efectos de generación de energía.

### **6.3- Balances medioambientales a partir de la aplicación de paneles fotovoltaicos**

A efectos de ahorro en consumo energético, es de importancia considerar que las cubiertas fotovoltaicas no van a tener capacidades aislantes para lo que son los cerramientos del edificio, de manera que su aplicación no va a generar una reducción directa del consumo energético por mejora en la transmitancia.

En relación a la reducción de dióxido de carbono, cierto es que las cubiertas fotovoltaicas van a propiciarla debido a que son una fuente de energía limpia, no obstante, este balance no va a ser considerado, debido a que el autor del artículo desconoce la procedencia de la energía del centro Iparralde, además de los conocimientos y las fuentes necesarias para establecer un balance de emisiones generadas de diferentes fuentes de energía para el caso concreto de un edificio, este es sin duda un tema de investigación para futuros trabajos.

Para el presente estudio, el punto fuerte de las cubiertas fotovoltaicas, es la contribución de 86753,82 kW anuales que estas aportarán al edificio para suplir su demanda energética.

### **6.4.- Análisis comparativo entre escenarios**

De este modo, una vez obtenidos los datos comparativos para las conclusiones, se hará una comparación tanto en relación con las reducciones de dióxido de carbono obtenidas a través del uso de cubiertas verdes, como con la reducción del consumo energético y la cantidad de energía generada a partir de las placas solares. Se establecerá un umbral de relevancia, que en nuestro caso va a ser una reducción del 20% del consumo energético, la asimilación del 20% de las emisiones generadas por el edificio, y la generación del 20% de la energía demandada por el edificio mediante sistemas de energía solar, todo ello de acuerdo a los objetivos del 20-20-20 de la directiva europea (Tabla 5), (Figura 5).

	EDIFICIO SIN BUILDING WITHOUT RETROFITTING	REDUCTIONS APPLIED IN SCENARIOS					
		SCENARIO 1 (Green Roofs)		ESCENARIO 2 (Photovoltaic roofs)		ESCENARIO 3 (Mixed solution)	
		ABSOLUTE REDUCTION BALANCE	PERCENTAGE OF REDUCTION	ABSOLUTE REDUCTION BALANCE	PERCENTAGE OF REDUCTION	ABSOLUTE REDUCTION BALANCE	PERCENTAGE OF REDUCTION
ENERGY CONSUMPTION, yearly kW/h	540520	32000	5,92%	0	0,00%	15000	2,78%
CO2 EMISSIONS, Yearly tons	127,283	98,7	77,54%	0	0,00%	95,22	74,81%
RENEWABLE ENERGIES, Yearly kW/h generated	0	0	0,00%	86753	16,05%	82241	15,22%
COST IN EUROS		374742,22		206304,68		521177,61	

Tabla 5 “Comparación de los datos de los escenarios con el umbral del 20-20-20”. Fuente: Elaboración propia.

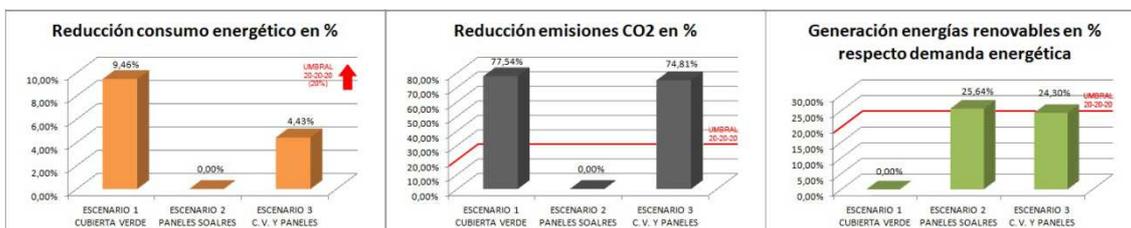


Fig. 5 “Comparación de los escenarios con el umbral del 20-20-20”. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo mostrado en la tabla, la solución combinada es la que mejores prestaciones de cara a la mejora medioambiental que ofrece ya que el método de rehabilitación mixto actúa sobre una mayor cantidad de objetivos del 20-20-20 de la directiva europea.

A pesar de ello, la solución mixta ofrece unas prestaciones ligeramente más bajas, ya que se pierden parte de las prestaciones. A pesar de ello, esta solución es la más eficaz, ya que si se eligen de manera correcta las áreas en las que puede ir cada tipo de cubierta, la pérdida en prestaciones respecto a un ámbito, puede compensar respecto a otro, ofreciendo otro tipo de prestaciones.

No obstante, el precio de la cubierta mixta es casi un 40% más alto que el precio de la rehabilitación completa por cubiertas verdes, y casi un 52% más que el precio de la rehabilitación por paneles solares. El coste económico, también puede ser un factor que marque la eficacia de las medidas de rehabilitación a considerar, de modo que también es importante ver el balance obtenido por euro empleado en la rehabilitación (Tabla 6). Los datos que se sitúen por encima de la media, son las áreas en las que la línea de rehabilitación va a resultar viable, de cara a la combinación para el caso del centro Iparralde (Extrapolable a otros edificios si se hace su respectivo estudio):

VIABILIDAD ECONÓMICA	Tipo Cubierta Verde	Cubierta Verde	Cubierta fotovoltaica
	T CO2 anual por euro	T CO2 anual por euro	kW/h anual por euro
Cubierta 1 (C1)	C.V. Extensiva	0,000045	0,243574513
Cubierta 2 (C2)	C.V. Intensiva	0,00056338	0,266192151
Cubierta 3 (C3)	C.V. Intensiva	0,00056338	0,206141822
Cubierta 4 (C4)	C.V. Intensiva	0,00056338	0,200009308
Cubierta 5 (C5)	C.V. Intensiva	0,00056338	0,238770684
Fach. 1 (F1)	Muro Verde	0,0000027	0,129436448
Fach. 2 (F2)	Muro Verde	0,0000027	0,098408661
Plaza 1 (P1)	C.V. Intensiva	0,000727657	X
Plaza 2 (P2)	C.V. Intensiva	0,000979522	X
Plaza 3 (P3)	C.V. Intensiva	0,000250879	X
Marq. 1 (M1)	C.V. Extensiva	0,000045	0,212842288
Marq. 2 (M2)	C.V. Extensiva	0,000045	0,278349441
<b>Media</b>		<b>0,000362665</b>	<b>0,156143776</b>

Tabla 6 “Balance obtenido por euro invertido en rehabilitación de acuerdo a las características de las zonas , las que están por encima de la media, se marcan en rojo como las medidas más eficaces”. Fuente: Elaboración propia.

## 7.- Conclusiones

La conclusión respecto a la hipótesis, es que las soluciones mixtas van a resultar ser las más eficaces, si se estudian las características de cada zona del cerramiento, tanto de asoleo como de capacidad estructural y compatibilidad. Es muy importante estudiar las características bioclimáticas de cada zona del cerramiento, y ver qué modelo de rehabilitación es el más adecuado a sus características. Y así de esta manera adaptar los edificios a la normativa 20-20-20 de la manera más eficaz posible.

Además, se hace evidente que las administraciones locales deben ser ejemplares con la gestión de la energía y deben buscar soluciones ejemplarizantes para toda la ciudad. En este sentido, el estudio realizado sobre el Centro Cívico Iparralde de Vitoria-Gasteiz, demuestra la oportunidad, y las prestaciones de combinar cubiertas verdes y fotovoltaicas, ya que se suman los siguientes beneficios de cara a la mejora medioambiental: reducción del CO2 urbano, reducción del consumo energético con energías contaminantes, temperamento de la isla de calor urbana y por último generación de energía limpia gracias a los paneles fotovoltaicos.

## REFERENCIAS

- [1] Comunicación de la Comisión Europea, de 13 de noviembre de 2008, denominada “Eficiencia energética: alcanzar el objetivo del 20%” [COM(2008) 772 – no publicada en el Diario Oficial]. Directiva de la Unión Europea (2009).
- [2] Energy Performance of Building Directive, 2002/91/EC. Unión Europea (2002).
- [3] Directiva 2010/31/EU Del Parlamento Europeo. Unión Europea (2010).
- [4] Ley 8/2013 del BOE, relativa a la rehabilitación, regeneración y renovación urbanas. Gobierno de España (2013).
- [5] Ordenanza de Protección del Medio Ambiente urbano del Ayuntamiento de Madrid. Ayuntamiento de Madrid. (1985, última actualización en 2001).
- [6] Ordenanza Sobre Captación de Energía Solar Para Usos Térmicos. Ayuntamiento de Madrid (2003).
- [7] Plan de Impulso de las energías renovables de la Comunidad de Madrid. Comunidad de Madrid (2011).
- [8] Normativas medioambientales de Vitoria Gasteiz, Ayuntamiento de Vitoria Gasteiz (2005).
- [9] Norma reguladora de las ayudas a la rehabilitación de viviendas y edificios residenciales en el Centro Histórico de Vitoria-Gasteiz. Ayuntamiento de Vitoria Gasteiz (2012).
- [10] Arquitectura Bioclimática en un Entorno Sostenible. Francisco Javier Neila González, Munilla Lería (2004).

[11] Carbon Sequestration Potential Of Extensive Green Roofs. K.L. Getter (2009).

[12] Carvajal, Micaela. (2011). Investigación Sobre La Absorción Del Co2 Por Los Cultivos Más Representativos De La Región De Murcia. *CSIC, Revista Horticultura, año XXVIII. n. 294. (pág 58-63).*

[13] Ciudad Y Cambio Climático, 707 Medidas Para Luchar Contra El Cambio Climático Desde La Ciudad. Figueroa Clemente, Manuel Enrique, Suárez Inclán, Luis Miguel. (2009): Universidad de Sevilla, Muñoz Moya Editores.

[14] Los Sumideros Naturales De Co2: Una Estrategia Sostenible Entre El Cambio Climático Y El Protocolo De Kyoto Desde Las Perspectivas Urbana Y Territorial. Figueroa Clemente Manuel Enrique, Redondo Gómez Susana.(2007): Universidad de Sevilla, Muñoz Moya Editores.