

CONAMA 2022

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

**Balance CO₂
emitido / CO₂
absorbido en el
término municipal
de Sevilla**



CONAMA 2022

BALANCE CO₂ EMITIDO / CO₂ ABSORBIDO EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE SEVILLA

Autor Principal: Josefa María Rodríguez Mellado (Consultora medioambiental)
josefarm7@hotmail.com

Otros autores: Francisco Rivero Pallarés (Investigador medioambiental independiente)
friverop@hotmail.com

ÍNDICE

1. Título
2. Palabras Clave
3. Resumen
4. Introducción
5. Metodología
6. Resultados
7. Discusión
8. Conclusiones
9. Bibliografía

TÍTULO

Balance CO₂ emitido / CO₂ absorbido en el término municipal de Sevilla.

PALABRAS CLAVE

Arbolado viario; Parques y jardines; Sumideros naturales de CO₂; Cobertura vegetal; Balance de CO₂; Sevilla.

RESUMEN

Se realiza un balance del CO₂ emitido y del CO₂ absorbido en el término municipal de Sevilla. Este término emite un total de 828.797,65 toneladas de CO₂ por año (Tn CO₂/año). El tráfico rodado de Sevilla emite 525.472,85 Tn CO₂/año, lo que supone un 63,40 % del total de emisiones, mientras que el sector doméstico emite 176.037,05 Tn CO₂/año, lo que supone un 21,24 % del total de emisiones. Se ha realizado una estimación del CO₂ absorbido en el término municipal de Sevilla. Los árboles de parques y jardines absorben 52.689,89 Tn CO₂/año, y los diferentes usos y coberturas del término municipal absorben 98.908,62 Tn CO₂/año, por lo que el total de CO₂ absorbido es 151.598,51 Tn CO₂/año. Esta cantidad de CO₂ absorbida es un 18,29 % del total de CO₂ emitido. Se aplica una metodología para valorar la sostenibilidad entre +1 (sostenibilidad EXCELENTE) y -1 (sostenibilidad TOTALMENTE NEGATIVA) y se obtiene un valor de -0,6342 (sostenibilidad EXCESIVAMENTE NEGATIVA). Resulta llamativo el bajo porcentaje de emisiones de CO₂ producidas por las diferentes actividades económicas de Sevilla. Este dato puede interpretarse de dos formas: las actividades económicas de Sevilla tienen una baja huella de carbono, o bien dichas actividades económicas son muy escasas. Es muy probable que la

segunda posibilidad sea la más real. Las conclusiones son evidentes. Primera: Sevilla debe reducir las emisiones de CO₂, fundamentalmente en el tráfico rodado, ya que este ítem aporta más de la mitad de las emisiones de CO₂. Segunda: Sevilla debe aumentar los sumideros naturales de CO₂ en su término municipal, ya sea incrementando el arbolado viario y de parques y jardines, ya sea mejorando la tipología de las coberturas vegetales con especies que absorban más CO₂.

INTRODUCCIÓN

El aumento de la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera parece ser la principal causa del incremento de la temperatura media atmosférica. Las emisiones de CO₂ son las mayoritarias entre las emisiones GEI, aunque existe la doble ventaja de que los organismos fotosintéticos (cianobacterias, algas y plantas) pueden actuar como sumideros naturales de CO₂ y como productores naturales de oxígeno. Un aspecto que puede ser interesante desarrollar es la realización de balances del CO₂ emitido y del CO₂ absorbido en un determinado territorio. La organización meteorológica mundial ha publicado en su página web un balance a nivel mundial, aunque está un poco anticuado (Canadell y Carlson, 2017); los autores han realizado diversos trabajos sobre balances de CO₂ para Andalucía (Rivero y Rodríguez, 2008) y para la Aglomeración Urbana de Sevilla (Rodríguez y Rivero, 2010). El trabajo que se propone realiza dicho balance para el término municipal de Sevilla, actualizando algunos datos de absorción de CO₂.

METODOLOGÍA

Emisiones de CO₂

Las emisiones de CO₂ del término municipal de Sevilla corresponden al año 2017, que son las más recientes publicadas en el momento de realizar este trabajo (Informe de Medio Ambiente 2019, Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía).

Absorción de CO₂

Para analizar la vegetación que absorbe el CO₂ se consideran dos grupos de datos relativos a la vegetación. El primero de ellos son los usos y coberturas vegetales a partir del SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación de Suelo en España, sección Andalucía (SIOSE_A), por municipios, 2016. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía) para el término municipal de Sevilla. El segundo grupo de datos son los árboles plantados en la ciudad de Sevilla (Plan Director del Arbolado, Sevilla, Catálogo de Especies Presentes, 2019).

Se han usado cuatro grupos de datos para calcular la absorción de CO₂ por parte de la vegetación, ya sea como árboles individuales, ya sea como algún tipo de formación arbolada o cobertura vegetal.

El primer grupo de datos provienen de la “Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono, versión 4” (Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2019). La tabla-

BALANCE CO₂ EMITIDO / CO₂ ABSORBIDO EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE SEVILLA

resumen de esta publicación recoge los datos de absorción de CO₂ por pie y año, de diferentes especies y para cinco edades de los árboles. El trabajo que se propone usa la absorción correspondiente a 30 años porque los árboles pueden no crecer igual en la ciudad que en la naturaleza, y porque las podas que se realizan en las ciudades pueden actuar como un reseteo de los árboles.

El segundo grupo de datos provienen de “Los sumideros de carbono a nivel local” (Red Española de Ciudades por el Clima. Federación Española de Municipios y Provincias, 2012). Muchas especies arbóreas y arbustivas están presentes en varias de las ciudades estudiadas, por lo que se calcula el valor medio de los valores de absorción de CO₂ obtenidos. Los datos vienen expresados en kgCO₂/pie y año (kilogramos de CO₂ por pie y año) (Cuadro 1) o en Tn CO₂/ha y año (toneladas de CO₂ por hectárea y año). En este último caso sólo se consideran los datos cuando hay más de diez pies por hectárea.

Cuadro 1. Valores de la absorción de CO₂, expresados en kg CO₂/pie y año, de las especies estudiadas en el documento “Los sumideros de carbono a nivel local”.

Especie	Absorción CO ₂
<i>Abies alba</i>	355,19
<i>Acacia spp</i>	256,30
<i>Hacer spp</i>	270,71
<i>Alnus glutinosa</i>	268,26
Arboles de ribera	206,30
<i>Arbutus unedo</i>	175,96
<i>Betula spp</i>	188,53
<i>Castanea sativa</i>	235,17
<i>Ceratonia siliqua</i>	376,59
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	68,60
<i>Corylus avellana</i>	51,01
<i>Crataegus spp</i>	108,94
<i>Cupressus spp</i>	420,40
<i>Erica arborea</i>	52,15
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	286,28
<i>Eucalyptus globulus</i>	333,03
<i>Eucalyptus gomphocephalus</i>	338,22
Otros eucaliptus	454,10
<i>Eucalyptus spp</i>	154,24
<i>Fagus sylvatica</i>	451,90
<i>Fraxinus angustifolia</i>	936,14
<i>Fraxinus spp</i>	295,55
Otras frondosas gran porte	198,87
Otras frondosas pequeño porte	92,07
Otras frondosas	174,91
<i>Gleditsia triacanthos</i>	291,89
<i>Ilex aquifolium</i>	90,52
<i>Ilex canariensis</i>	144,20
<i>Juglans regia</i>	286,20
<i>Juniperus communis</i>	102,43

<i>Juniperus oxicedrus</i>	102,43
<i>Juniperus phoenicea</i>	83,17
<i>Juniperus thurifera</i>	120,36
<i>Juniperus spp</i>	96,22
<i>Larix spp</i>	126,22
<i>Laurus azorica</i>	177,94
<i>Laurus nobilis</i>	63,19
<i>Otras laurisilvas</i>	120,03
<i>Olea europaea</i>	117,24
<i>Myrica faya</i>	132,37
<i>Persea indica</i>	165,81
<i>Pinus canariensis</i>	464,44
<i>Pinus halepensis</i>	245,28
<i>Pinus nigra</i>	195,70
<i>Pinus pinaster</i>	303,81
<i>Pinus pinea</i>	412,42
<i>Pinus radiata</i>	336,20
<i>Pinus sylvestris</i>	326,37
<i>Pinus uncinata</i>	182,84
<i>Otras coníferas</i>	215,70
<i>Platanus spp</i>	874,92
<i>Populus alba</i>	206,94
<i>Populus nigra</i>	490,10
<i>Populus nigra x P. canadiensis</i>	461,11
<i>Populus tremula</i>	129,22
<i>Prunus spp</i>	361,11
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	159,52
<i>Quercus canariensis</i>	213,64
<i>Quercus faginea</i>	162,03
<i>Quercus ilex</i>	183,05
<i>Quercus petrea</i>	446,04
<i>Quercus pyrenaica</i>	251,62
<i>Quercus 4irenaica/pubescens</i>	436,70
<i>Quercus pubescens</i>	301,05
<i>Quercus robur</i>	317,39
<i>Quercus suber</i>	518,30
<i>Robinia pseudoacacia</i>	334,05
<i>Salix spp</i>	210,16
<i>Sambucus nigra</i>	59,51
<i>Sambucus racemosa</i>	59,51
<i>Sambucus spp</i>	56,25
<i>Sophora japonica</i>	291,89
<i>Sorbus spp</i>	151,52
<i>Taxus baccata</i>	594,91
<i>Tilia spp</i>	390,29
<i>Ulmus spp</i>	317,03

Fuente: "Los sumideros de carbono a nivel local". Elaboración propia.

BALANCE CO₂ EMITIDO / CO₂ ABSORBIDO EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE SEVILLA

El tercer grupo de datos provienen del estudio realizado sobre diversos cultivos (Mota *et al.*, 2011). Los datos de la publicación se transforman en Tn CO₂/ha y año. El cuadro 2 recoge estos datos agrupados según los diferentes tipos de cultivo.

Tabla 2. CO₂ absorbido por diferentes cultivos.

Cultivo	Especie	Tn CO ₂ /Ha. y año	Tn CO ₂ /Ha. y año
Herbáceas enregadío	Tomate	31,80	12,725
	Pimiento	22,64	
	Sandía	5,96	
	Melón	8,02	
	Cogollo	8,31	
	Lechuga	8,44	
	Brócoli-Parthenon	7,36	
	Brócoli-Naxos	9,75	
	Coliflor	11,99	
	Alcachofa	12,98	
Herbáceas ensecano	Avena	13,61	13,4 5
	Cebada	13,00	
	Trigo	13,75	
Frutales de hueso	Albaricoquero	17,24	23,8 6
	Ciruelo	23,24	
	Melocotonero	29,37	
	Nectarina	26,59	
	Uva de mesa	19,12	
Cítricos	Limonero	29,66	21,1 5
	Naranja	20,72	
	Mandarino	13,06	

Fuente: Mota *et al.*, 2011. Elaboración propia.

El cuarto grupo de datos provienen del estudio sobre el balance de CO₂ para Andalucía (Rivero y Rodríguez, 2008), aunque se han modificado algunos de ellos a causa de los cambios realizados en las categorías de usos y coberturas vegetales, y a los nuevos datos disponibles sobre absorción de CO₂. El cuadro 3, que aparece en el apartado de resultados, recoge los diferentes usos y coberturas vegetales del término municipal de Sevilla con los valores de absorción de CO₂, expresado en Tn CO₂/ha.

Los datos de absorción de CO₂ se han calculado de la siguiente forma:

- Casco, Ensanche, Cementerio (árboles ya incluidos). Asimilados a “roquedos y suelo desnudo” (1,21 Tn CO₂/Ha. y año).
- Urbanizaciones agrícolas/residenciales. Se mantiene 11,11 Tn CO₂/Ha. y año. El mismo valor para Agrícola/ganadero.

BALANCE CO₂ EMITIDO / CO₂ ABSORBIDO EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE SEVILLA

- Suelo artificial en construcción. Se mantiene 0,04 Tn CO₂/Ha. y año. El mismo valor para Zonas mineras, Zona de extracción o vertido, Balsa industrial o minera, Vía de comunicación no asfaltada, Vial, aparcamiento o zona peatonal sin vegetación, Puerto deportivo y/o pesquero, Puerto industrial.
- Discontinuo: suponemos que la mitad está construido, como Casco, y que la mitad es Suelo artificial en construcción. Se obtiene 0,625 Tn CO₂/Ha. y año.
- Parques, plazas, jardines, paseos marítimos, paseos marítimos, zonas verdes ajardinadas. Los cuatro usos tienen árboles que ya se han considerado. Puede quedar algo de matorral y arbusto que no se han contabilizado. Todos se asimilan a Matorral denso: 8,8 Tn CO₂/Ha. y año.
- Comercial y oficinas, complejo hotelero, complejo comercial y/o de ocio, parque tecnológico/empresarial, complejo administrativo institucional, polígono industrial ordenado, polígono industrial sin ordenar, áreas industriales. Todos se asimilan a zonas industriales y comerciales: 1,48 Tn CO₂/Ha. y año.
- Penitenciario, complejo sanitario, complejo educacional, complejo religioso, instalaciones militares, área de servicio, aeropuertos, helipuertos, telecomunicaciones, infraestructura técnica, instalaciones eléctricas. Todos se asimilan a otras infraestructuras técnicas: 3,64 Tn CO₂/Ha. y año
- Camping. Se asimila a urbanizaciones residenciales: 7,20 Tn CO₂/Ha. y año.
- Instalaciones de tenis, instalaciones de pádel, instalaciones de baloncesto, parque recreativo, complejo cultural, instalaciones de fútbol, hipódromos, campos de golf, recinto ferial, otras instalaciones deportivas, polideportivos: todos se asimilan a equipamiento deportivo y recreativo: 7,20 Tn CO₂/Ha. y año.
- Red viaria. Se asimila a autovías, autopistas y enlaces viarios: 2,61 Tn CO₂/Ha. y año.
- Red ferroviaria. Se asimila a complejos ferroviarios: 1,93 Tn CO₂/Ha. y año.
- Escombreras, vertederos, desguaces y chatarrería. Se asimilan a escombreras y vertederos: 2,17 Tn CO₂/Ha. y año.
- Cultivo herbáceo distinto de arroz. No especifica si son de secano o de regadío, ni especies que se cultivan. Se hace el promedio de las trece herbáceas de la referencia Mota *et al.* (2011): 12,89 Tn CO₂/Ha. y año.
- Arrozales. Se mantiene 14,55 Tn CO₂/Ha. y año.
- Invernaderos de estructura permanente. Se mantiene 18,43 Tn CO₂/Ha. y año.
- Frutales de hueso. Se hace el promedio de albaricoquero, ciruelo, melocotonero y nectarina de la referencia Mota *et al.* (2011): 23,86 Tn CO₂/Ha. y año.
- Otros cultivos leñosos. No especifica si son de secano o de regadío, por lo que se usa el promedio de los valores de otros cultivos leñosos en secano y otros cultivos leñosos en

- regadío (Rivero y Rodríguez, 2008): 8,05 Tn CO₂/Ha. y año.
- Olivar. Se tiene la densidad promedio de plantación: 258,66 árboles/Ha. (Análisis de la densidad en las plantaciones de olivar en Andalucía. Servicios de Estudios y Estadísticas. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía). La absorción de CO₂ es 98,62 kg CO₂/árbol y año (promediando los valores de las referencias XXXXXX, por lo que se obtiene 25,51 Tn CO₂/Ha. y año.
 - Viñedo. Asimilado a uva de mesa de Mota *et al.* (2011): 19,12 Tn CO₂/Ha. y año.
 - Cítricos. Se usa el promedio de los tres cítricos de Mota *et al.* (2011): 21,15 Tn CO₂/Ha. y año.
 - Cultivo herbáceo arbolado: quercíneas dispersas. Se mantiene 13,69 Tn CO₂/Ha. y año.
 - Pastizal continuo. Se mantiene 7,24 Tn CO₂/Ha. y año.
 - Pastizal con claros (roca, suelo). Se mantiene 6,34 Tn CO₂/Ha. y año.
 - Matorral denso. Se mantiene 8,80 Tn CO₂/Ha. y año.
 - Matorral disperso con pastizal. Se mantiene 7,79 Tn CO₂/Ha. y año.
 - Matorral disperso con pasto y roca o suelo. Se mantiene 7,20 Tn CO₂/Ha. y año.
 - Formación arbolada: coníferas. Se realiza el promedio de todas las absorciones de coníferas del documento "Los sumideros de carbono a nivel local" siempre que haya más de 10 pies/Ha. Se obtiene 56,49 Tn CO₂/Ha. y año.
 - Formación arbolada: eucaliptos. Mismo razonamiento que el realizado para coníferas. Se obtiene 56,26 Tn CO₂/Ha. y año.
 - Formación arbolada: otras frondosas. Se supone que hay 150 pies/Ha. y que cada pie absorbe como una frondosa de gran porte (240,62 kg CO₂/pie), por lo que se obtiene 36,09 Tn CO₂/Ha. y año.
 - Matorral disperso arbolado: otras frondosas. Se realiza el promedio de matorral disperso (7,79 Tn CO₂/Ha. y año) y el dato anterior (36,09 Tn CO₂/Ha. y año.), por lo que se obtiene 21,94 Tn CO₂/Ha. y año.
 - Matorral disperso arbolado: coníferas + eucaliptos. Se realiza el promedio de matorral disperso con el promedio de formación arbolada: coníferas y formación arbolada: eucaliptos. Se obtiene 32,08 Tn CO₂/Ha. y año.
 - Pastizal arbolado: quercíneas disperso. Se calcula el promedio de todas las absorciones del género *Quercus* del documento "Los sumideros de carbono a nivel local" siempre que haya más de 10 pies/Ha. Se obtiene 16,03 Tn CO₂/Ha. y año; se toma la mitad al ser un arbolado disperso (8,02 Tn CO₂/Ha. y año). Ahora se realiza el promedio entre el dato de pastizal continuo y el dato de quercíneas dispersas; se obtiene 7,63 Tn CO₂/Ha. y año.

BALANCE CO₂ EMITIDO / CO₂ ABSORBIDO EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE SEVILLA

- Pastizal arbolado: coníferas denso. Se realiza el promedio entre el dato de pastizal continuo y el dato de coníferas; se obtiene 31,87 Tn CO₂/Ha. y año.
- Pastizal arbolado: coníferas disperso. Se realiza el promedio entre el dato de pastizal continuo y la mitad del dato de coníferas; se obtiene 17,75 Tn CO₂/Ha. y año.
- Pastizal arbolado: eucaliptos. Se realiza el promedio entre el dato de pastizal continuo y el dato de eucaliptos; se obtiene 31,75 Tn CO₂/Ha. y año.
- Pastizal arbolado: otras frondosas. Se realiza el promedio entre el dato de pastizal continuo y el dato de frondosas; se obtiene 21,67 Tn CO₂/Ha. y año.
- Pastizal arbolado: otras mezclas. Para Otras mezclas se realiza el promedio de quercíneas, coníferas, eucaliptos y frondosas; se obtiene una absorción de 41,22 Tn CO₂/Ha. y año. Ahora se realiza el promedio entre el dato de pastizal continuo y el dato anterior; se obtiene 24,23 Tn CO₂/Ha. y año.
- Suelo desnudo. Se mantiene el valor de 1,21 Tn CO₂/Ha. y año.
- Instalaciones de conducción de agua y Lámina de agua artificial. Asimilados a Canales artificiales: 2,78 Tn CO₂/Ha. y año.
- Balsa de riego o ganadera. Se mantiene el valor de 4,92 Tn CO₂/Ha. y año.
- Cauce sin vegetación. Asimilado a la mitad de Canales artificiales: 1,39 Tn CO₂/Ha. y año.
- Ríos y cauces naturales: bosque galería. Se realiza el promedio de las absorciones de *Alnus glutinosa*, Árboles de ribera, *Salix spp.*, *Populus alba*, *Populus nigra*, *Populus nigra x Populus canadiensis*, y *Populus tremula* del documento "Los sumideros de carbono a nivel local"; se obtiene un valor de 281,73 kg CO₂/pie y año). Considerando que haya 150 pies/Ha., se obtiene una absorción de 42,26 Tn CO₂/Ha. y año.
- Ríos y cauces naturales: otras formaciones riparias. Se considera que la absorción es la mitad del valor anterior: 21,13 Tn CO₂/Ha. y año.
- Cursos de agua naturales: lámina de agua. Se mantiene el valor de 8,33 Tn CO₂/Ha. y año.
- Ríos canalizados. Asimilado a lagunas continentales: 9,83 v/Ha. y año.

Indicador de sostenibilidad para el CO₂ y cálculo de la sostenibilidad.

Se establece un indicador de sostenibilidad para el balance de CO₂ (I_{CO_2}), y se define como el porcentaje de CO₂ absorbido en relación al CO₂ emitido. Se calcula según la expresión:

$$I_{CO_2} = \frac{TnCO_2(a)}{TnCO_2(e)} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde Tn CO₂ (a) y Tn CO₂ (e) son, respectivamente, las toneladas de CO₂ absorbidas y emitidas en un determinado territorio; las unidades del indicador son tanto por ciento. Para valorar la sostenibilidad para este indicador (\check{S}_{CO_2}) se consideran varios postulados:

- Los valores de sostenibilidad están comprendidos entre +1 y -1.
- La sostenibilidad vale +1 ($\check{S}_{CO_2} = +1,0000$) cuando el valor del indicador alcanza el valor considerado óptimo ($I_{CO_2} = 100\%$). Este valor implica que todo el CO₂ emitido es absorbido por los sumideros naturales de CO₂.
- La sostenibilidad vale -1 ($\check{S}_{CO_2} = -1,0000$) cuando el valor del indicador alcanza el valor más bajo posible ($I_{CO_2} = 0\%$). Este valor implica que nada del CO₂ emitido es absorbido por los sumideros naturales de CO₂.
- Existe una relación lineal entre los valores de sostenibilidad y los valores del indicador. Se demuestra que el valor de la sostenibilidad viene dado por la expresión:

$$\check{S}_{CO_2} = \frac{I_{CO_2}}{50} - 1 \quad (2)$$

RESULTADOS

Emisiones de CO₂

El término municipal de Sevilla emitió 828.797,65 toneladas de CO₂ durante el año 2017. De todas ellas, 525.472,85 toneladas de CO₂ se han emitido por el Tráfico Rodado, lo que supone un 63,40 % del total de emisiones de CO₂. El Sector Doméstico emite 176.037,05 toneladas de CO₂, que son un 21,24 % del total de emisiones de CO₂. El sector Comercial e Institucional emite 59.841,45 toneladas de CO₂, que son un 7,22 % del total de emisiones de CO₂. Estos tres sectores emiten un 91,86 % del total de emisiones de CO₂ durante el año 2017.

Absorción de CO₂

El cuadro 3 recoge el CO₂ absorbido por los diferentes usos del suelo y coberturas vegetales del término municipal de Sevilla.

Cuadro 3. CO₂ absorbido por los diferentes usos y coberturas vegetales del término municipal de Sevilla.

Uso – Cobertura vegetal	Sup. (Ha.)	CO ₂ (a) (Tn/Ha año)	CO ₂ (a) Tn
Casco	367,25	1,21	444,37
Agrícola residencial	100,64	11,11	1.118,06
Suelo artificial en construcción	18,09	0,4	7,24
Ensanche	2.631,95	1,21	3.184,66
Discontinuo	53,96	0,625	33,72
Parques	487,26	8,8	4.287,89
Parques, plazas, jardines, paseos marítimos	379,92	8,8	3.343,26
Paseo marítimo	5,57	8,8	49,01
Zona verde ajardinada	49,22	8,8	433,13
Comercial y oficinas	142,84	1,21	172,83
Complejo hotelero	19,78	1,48	29,27
Complejo comercial y/o de ocio	28,67	1,48	42,43
Parque tecnológico/empresarial	47,67	1,48	70,55
Complejo administrativo institucional	73,52	1,48	108,81
Cementerio	29,79	1,21	36,05
Penitenciario	33,47	3,64	121,83
Complejo sanitario	40,99	3,64	149,19
Complejo educacional	216,01	3,64	786,26
Complejo religioso	23,58	3,64	85,82
Camping	3,08	7,2	22,21
Instalaciones militares	46,59	3,64	169,59
Área de servicio	0,77	3,64	2,82
Instalaciones de tenis	0,46	7,2	3,29
Instalaciones de pádel	0,48	7,2	3,47
Instalaciones de baloncesto	0,14	7,2	1,04
Parque recreativo	58,10	7,2	418,35
Complejo cultural	59,94	7,2	431,54
Instalaciones de fútbol	52,69	7,2	379,36
Hipódromos	30,78	7,2	221,59
Campos de golf	44,69	7,2	321,78
Recinto ferial	52,73	7,2	379,67
Otras instalaciones deportivas	136,48	7,2	982,63
Polideportivos	39,61	7,2	285,22
Agrícola/ganadero	70,36	11,11	781,72
Polígono industrial ordenado	724,37	1,48	1.072,06
Polígono industrial sin ordenar	73,27	1,48	108,44
Industria aislada	150,62	1,48	222,92
Zonas mineras	40,07	0,04	1,60
Zona de extracción o vertido	29,35	0,04	1,17
Balsa industrial o minera	6,73	0,04	0,27
Red viaria	740,08	2,61	1.931,60
Red ferroviaria	138,52	1,93	267,34
Vía de comunicación no asfaltada	48,32	0,04	1,93
Vial, aparcamiento o zona peatonal sin vegetación	161,46	0,04	6,46
Puerto deportivo y/o pesquero	0,79	0,04	0,03
Puerto industrial	279,14	0,04	11,17
Aeropuertos	531,30	3,64	1.933,92

BALANCE CO₂ EMITIDO / CO₂ ABSORBIDO EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE SEVILLA

Helipuerto	0,33	3,64	1,22
Escombreras y vertederos	47,58	2,17	103,25
Desguaces y chatarrería	6,90	2,17	14,96
Telecomunicaciones	0,47	3,64	1,70
Infraestructura técnica	11,01	3,64	40,08
Instalaciones eléctricas	25,93	3,64	94,40
Cultivo herbáceo distinto de arroz	3.209,43	12,89	41.369,57
Arrozales	3,99	14,55	58,01
Invernadero de estructura permanente	0,65	18,43	11,97
Frutales de hueso	42,51	23,86	1.014,40
Otros cultivos leñosos	47,49	8,78	416,95
Olivar	336,37	25,51	8.580,80
Viñedo	0,31	19,12	5,86
Cítricos	335,49	21,15	7.095,61
Cultivo herbáceo arbolado: quercíneas dispersas	2,79	13,69	38,24
Pastizal continuo	390,63	7,24	2.828,18
Pastizal con claros (roca, suelo)	417,51	6,34	2.647,02
Matorral denso	0,94	8,8	8,31
Matorral disperso con pastizal	15,79	7,79	122,99
Matorral disperso con pasto y roca o suelo	0,47	7,2	3,41
Formación arbolada: coníferas	12,42	56,49	701,64
Formación arbolada: eucaliptos	15,02	56,26	845,19
Formación arbolada: otras frondosas	2,29	36,09	82,48
Matorral disperso arbolado: otras frondosas	6,30	21,94	138,15
Matorral disperso arbolado: coníferas+eucaliptos	23,73	32,08	761,18
Pastizal arbolado: quercíneas. Disperso	1,95	7,63	14,91
Pastizal arbolado: coníferas. Denso	7,93	31,87	252,86
Pastizal arbolado: coníferas. Disperso	6,56	17,75	116,49
Pastizal arbolado: eucaliptos	4,24	31,75	134,59
Pastizal arbolado: otras frondosas	32,37	21,67	701,43
Pastizal arbolado: otras mezclas	1,59	24,23	38,64
Suelo desnudo	227,83	1,21	275,68
Instalaciones de conducción de agua	198,95	2,78	553,08
Lámina de agua artificial	190,80	2,78	530,42
Balsa de riego o ganadera	4,05	4,92	19,93
Cauce sin vegetación	0,24	1,39	0,34
Ríos y cauces naturales: bosque galería	41,22	42,26	1.741,96
Ríos y cauces naturales: otras formas riparias	65,34	21,13	1.380,60
Cursos de agua naturales: lámina de agua	197,91	8,33	1.648,59
Ríos canalizados	4,68	9,83	46,00

Elaboración propia a partir de los datos del SIOSE_A, de "Sumideros de carbono a nivel local" y Rivero y Rodríguez (2008) más las modificaciones que se describen en el texto.

Se obtiene un total de 98.908,62 Tn CO₂/año.

El cuadro 4 muestra las especies arbóreas, o géneros, presentes en la ciudad de Sevilla, el número de ejemplares de cada una, valor de absorción asignado, y la absorción total correspondiente a dicha especie o género.

BALANCE CO₂ EMITIDO / CO₂ ABSORBIDO EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE SEVILLA

Cuadro 4. Listado de las especies arbóreas de la ciudad de Sevilla y estimación del CO₂ absorbido por dichas especies en un año. Columna A: Número de pies de cada especie. Columna B: CO₂ total absorbido por cada especie (kg CO₂/año), es el producto de la columna A y de la columna E. Columna C: CO₂ absorbido por cada especie según el documento “Los sumideros de carbono a nivel local” (kg CO₂/pie y año). Columna D: CO₂ absorbido por cada especie según el documento “Guía para la estimación de absorción de dióxido de carbono, versión 4” (kg CO₂/pie y año). Columna E: Promedio de los valores de las columnas C y D (kg CO₂/pie y año), excepto los valores correspondientes a los cítricos que se corresponden con Mota *et al.* (2011). La columna Notas recoge diversas aclaraciones. “Asimilado” significa que no se conoce la absorción de CO₂ de la especie en cuestión y se usa la absorción de otra especie parecida. “Otras coníferas” significa que se usa el dato de otras coníferas del cuadro 1. “FGP” significa frondosa de gran porte; se calcula promediando los valores de absorción de CO₂ superiores a 100 kg CO₂/pie y año de las frondosas. “FPP” significa frondosa de pequeño porte se calcula promediando los valores de absorción de CO₂ inferiores a 100 kg CO₂/pie y año de las frondosas.

	A	B	C	D	E	Notas
<i>Abies concolor</i>	1	227,60	355,19	100	227,60	
<i>Acacia spp.</i>	1.193	182.707,95	256,3	50	153,15	Incluye <i>Albizia julibrissin</i> y <i>Leucaena leucocephala</i>
<i>Acer spp.</i>	760	186.469,80	270,71	220	245,36	
<i>Aesculum hippocastaneum</i>	5	1.203,10	240,62		240,62	FGP
<i>Ailanthus altissima</i>	206	10.300,00		50	50,00	
<i>Annona cherimola</i>	6	444,12	74,02		74,02	FPP
<i>Araucaria spp.</i>	28	6.039,60	215,7		215,70	Otras coníferas
<i>Arbutus unedo</i>	27	3.590,46	175,96	90	132,98	
<i>Bauhinia spp.</i>	415	99.857,30	240,62		240,62	FGP
<i>Beaucarnea recurvata</i>	5	370,10	74,02		74,02	FPP
<i>Brachychiton spp.</i>	7.937	1.909.800,94	240,62		240,62	FGP
<i>Broussonetia papyrifera</i>	93	22.377,66	240,62		240,62	FGP
<i>Bucida buceras</i>	1	240,62	240,62		240,62	FGP
<i>Butia capitata</i>	17	15.300,00		900	900,00	Asimilado a <i>Phoenix</i>
<i>Caesalpinia spp.</i>	13	3.128,06	240,62		240,62	FGP
<i>Callistemon citrinus</i>	13	962,26	74,02		74,02	FPP
<i>Carya illionensis</i>	2	481,24	240,62		240,62	FGP
<i>Caryota mitis</i>	1	155,00		155	155,00	Asimilado a <i>Phoenix</i> pequeña
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	1.608	386.916,96	240,62		240,62	FGP
<i>Catalpa bignonioides</i>	1.365	328.446,30	240,62		240,62	FGP
<i>Cedrus spp.</i>	109	141.700,00		1.300	1.300,00	
<i>Celtis spp.</i>	10.718	10.825.180,00		1.010	1.010,00	
<i>Cephalotaxus harringtonia</i>	2	654,91	594,91	60	327,46	Asimilado al tejo
<i>Ceratonia siliqua</i>	2.029	473.355,56	376,59	90	233,30	
<i>Cercis siliquastrum</i>	1.298	96.077,96	74,02		74,02	FPP
<i>Chamaerops humilis</i>	469	72.695,00		155	155,00	Asimilado a <i>Phoenix</i> pequeña
<i>Chorisia speciosa</i>	196	47.161,52	240,62		240,62	FGP
<i>Cinnamomum camphora</i>	1	120,03	120,03		120,03	Otras laurisilvas
<i>Citrus x aurantium</i>	45.065	2.223.732,43			49,35	Mota <i>et al.</i>
<i>Citrus limon</i>	482	51.541,71			106,93	Mota <i>et al.</i>
<i>Citrus spp.</i>	155	4.820,66			31,10	Asimilado al mandarino
<i>Citrus x paradisi</i>	85	4.194,33			49,35	Asimil. a <i>Citrus x aurantium</i>
<i>Cocculus laurifolius</i>	71	17.084,02	240,62		240,62	
<i>Cocus nucifera</i>	28	25.200,00		900	900,00	Asimilado a <i>Phoenix</i>
<i>Cordylina terminalis</i>	1	74,02	74,02		74,02	FPP
<i>Crataegus monogyna</i>	5	796,20	108,48	210	159,24	
<i>Cupressocyparis leylandii</i>	50	21.020,00	420,4		420,40	Asimilado a ciprés

BALANCE CO₂ EMITIDO / CO₂ ABSORBIDO EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE SEVILLA

<i>Cupressus spp.</i>	3.704	889.700,80	420,4	60	240,20	
<i>Cyca revoluta</i>	146	22.630,00		155	155,00	Asimilado a <i>Phoenix</i> pequeña
<i>Cydonia oblonga</i>	18	3.960,00		220	220,00	Asimilado a <i>Malus</i>
<i>Dyospiros spp</i>	2	481,24	240,62		240,62	FGP
<i>Dombeya cayeuxii</i>	1	74,02	74,02		74,02	FPP
<i>Dracaena draco</i>	17	1.258,34	74,02		74,02	FPP
<i>Eleagnus angustifolia</i>	56	13.474,72	240,62		240,62	FGP
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	6	1.443,72	240,62		240,62	FGP
<i>Eriobotrya japonica</i>	173	41.627,26	240,62		240,62	FGP
<i>Erythrina spp.</i>	112	26.949,44	240,62		240,62	FGP
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	836	775.925,04	286,28	1.570	928,14	
<i>Eucalyptus globulus</i>	160	189.842,40	333,03	2.040	1.186,52	
<i>Eucalyptus gomphocephalus</i>	17	5.749,74	338,22		338,22	
<i>Feijoa sellowiana</i>	5	370,10	74,02		74,02	FPP
<i>Ficus spp.</i>	1.221	293.797,02	240,62		240,62	FGP
<i>Firmiana simplex</i>	917	220.648,54	240,62		240,62	FGP
<i>Fraxinus angustifolia</i>	1.583	1.481.909,62	936,14		936,14	
<i>Fraxinus spp.</i>	1.125	267.496,88	295,55	180	237,78	
<i>Ginkgo biloba</i>	129	31.039,98	240,62		240,62	FGP
<i>Gleditsia spp.</i>	1.729	504.677,81	291,89		291,89	
<i>Grevillea robusta</i>	1.372	330.130,64	240,62		240,62	FGP
<i>Hibiscus spp.</i>	46	3.404,92	74,02		74,02	FPP
<i>Howea forsteriana</i>	5	4.500,00		900	900,00	Asimilado a <i>Phoenix</i>
<i>Ilex castaneifolia</i>	2	167,36	83,68		83,68	Promedio de 4 valores de <i>Ilex</i>
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	7.718	1.857.105,16	240,62		240,62	FGP
<i>Juglans regia</i>	10	2.381,00	286,2	190	238,10	
<i>Koelreutia spp.</i>	1.950	469.209,00	240,62		240,62	FGP
<i>Lagerstroemia spp.</i>	723	53.516,46	74,02		74,02	FPP
<i>Lagunaria patersonii</i>	385	92.638,70	240,62		240,62	FGP
<i>Laurus nobilis</i>	193	26.362,84	63,19	210	136,60	
<i>Ligustrum spp</i>	6.891	510.071,82	74,02		74,02	FPP
<i>Liquidambar spp.</i>	48	11.549,76	240,62		240,62	FGP
<i>Livistona spp</i>	378	340.200,00		900	900,00	Asimilado a <i>Phoenix</i>
<i>Maclura pomifera</i>	7	1.684,34	240,62		240,62	FGP
<i>Magnolia spp</i>	232	55.823,84	240,62		240,62	FGP
<i>Malus spp.</i>	14	3.080,00		220	220,00	
<i>Melia zedaracha</i>	10.396	2.501.485,52	240,62		240,62	FGP
<i>Morus spp.</i>	1.056	254.094,72	240,62		240,62	FGP
<i>Myoporum spp.</i>	8	1.924,96	240,62		240,62	FGP
<i>Nerium oleander</i>	148	10.954,96	74,02		74,02	FPP
<i>Nicotiana glauca</i>	6	444,12	74,02		74,02	FPP
<i>Olea europaea</i>	3.166	312.230,92	117,24	80	98,62	
<i>Parkinsonia aculeata</i>	90	6.661,80	74,02		74,02	FPP
<i>Paulownia tomentosa</i>	18	4.331,16	240,62		240,62	FGP
<i>Persea americana</i>	10	1.658,10	165,81		165,81	
<i>Phillyrea angustifolia</i>	2	180,00		90	90,00	
<i>Phoenix spp.</i>	2.737	2.463.300,00		900	900,00	
<i>Photinia spp.</i>	157	11.621,14	74,02		74,02	FPP
<i>Phytolaca dioica</i>	232	55.823,84	240,62		240,62	FPP
<i>Picea abies</i>	5	6.500,00		1.300	1.300,00	
<i>Pinus canariensis</i>	28	8.462,16	464,44	140	302,22	
<i>Pinus halepensis</i>	671	109.131,44	245,28	80	162,64	
<i>Pinus nigra</i>	3	353,55	195,7	40	117,85	
<i>Pinus pinaster</i>	36	14.168,52	303,81	483	393,57	
<i>Pinus pinea</i>	4.620	1.345.390,20	412,42	170	291,21	
<i>Pinus sylvestris</i>	10	1.931,85	326,37	60	193,19	
<i>Pistacia spp</i>	13	2.730,00		210	210,00	
<i>Pittosporum tobira</i>	108	7.994,16	74,02		74,02	FPP

BALANCE CO₂ EMITIDO / CO₂ ABSORBIDO EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE SEVILLA

<i>Platanus hispanica</i>	8.047	5.391.490,00		670	670,00	
<i>Platanus spp.</i>	61	51.723,12	847,92		847,92	
<i>Plumeria rubra</i>	2	148,04	74,02		74,02	FPP
<i>Podocarpus nerifolius</i>	3	647,10	215,7		215,70	Otras coníferas
<i>Poncirus trifoliata</i>	3	148,04			49,35	Asimilado a <i>Citrus x paradisis</i>
<i>Populus alba</i>	871	381.907,37	206,94	670	438,47	
<i>Populus nigra</i>	352	264.017,60	490,1	1.010	750,05	
<i>Populus simoni</i>	17	10.839,03			637,59	Promedio de los <i>Populus</i>
<i>Populus tremula</i>	2	258,44	129,22		129,22	
<i>Populus x canadensis</i>	78	64.003,29	461,11	1.180	820,56	
<i>Prunus spp.</i>	539	156.609,15	361,11	220	290,56	
<i>Psidium guajava</i>	1	74,02	74,02		74,02	FPP
<i>Punica granatum</i>	225	16.650,45	74,002		74,00	FPP
<i>Pyrus spp.</i>	255	56.100,00		220	220,00	
<i>Quercus coccifera</i>	10	740,20	74,02		74,02	FPP
<i>Quercus faginea</i>	2	262,03	162,03	100	131,02	
<i>Quercus ilex</i>	1.232	155.878,80	183,05	70	126,53	
<i>Quercus robur</i>	3	761,09	317,39	190	253,70	
<i>Quercus suber</i>	864	271.425,60	518,3	110	314,15	
<i>Quillaja saponaria</i>	2	481,24	240,62		240,62	FGP
<i>Rhamnus alaternus</i>	28	5.880,00		210	210,00	
<i>Robinia spp.</i>	4.282	1.121.991,05	334,05	190	262,03	Asimil a <i>Robinia pseudoacacia</i>
<i>Roystonea regia</i>	4	3.600,00		900	900,00	Asimilado a <i>Phoenix</i>
<i>Salix spp.</i>	103	57.173,24	210,16	900	555,08	
<i>Sapindus mukorossi</i>	2	481,24	240,62		240,62	FGP
<i>Schefflera actinophylla</i>	1	240,62	240,62		240,62	FGP
<i>Schinus spp</i>	744	179.021,28	240,62		240,62	FGP
<i>Sophora spp</i>	6.331	1.847.639,04	291,84		291,84	
<i>Strelitzia nicolai</i>	3	222,06	74,02		74,02	FPP
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	349	314.100,00		900	900,00	Asimilado a <i>Phoenix</i>
<i>Syzygium cumini</i>	6	1.443,72	240,62		240,62	FGP
<i>Tabebuia impetiginosa</i>	8	1.924,96	240,62		240,62	FGP
<i>Tamarix spp.</i>	290	23.200,00		80	80,00	
<i>Taxodium spp.</i>	158	34.080,60	215,7		215,70	Otras coníferas
<i>Tetraclinis articulata</i>	16	3.451,20	215,7		215,70	Otras coníferas
<i>Thevetia peuviana</i>	3	222,06	74,02		74,02	FPP
<i>Thrinax radiata</i>	1	155,00		155	155,00	Asimilado a <i>Phoenix</i> pequeña
<i>Thuja spp.</i>	176	3.520,00		20	20,00	
<i>Tilia spp.</i>	27	2.430,00		90	90,00	
<i>Tipuana tipu</i>	10.323	2.483.920,26	240,62		240,62	FGP
<i>Trachycarpus fortunei</i>	878	136.090,00		155	155,00	Asimilado a <i>Phoenix</i> pequeña
<i>Ulmus spp.</i>	5.914	1.735.847,71	317,03	270	293,52	
<i>Vitex agnus-castus</i>	24	1.776,48	74,02		74,02	FPP
<i>Washingtonia spp.</i>	3.985	3.586.500,00		900	900,00	Asimilado a <i>Phoenix</i>
<i>x Chitalpa tashkentensis</i>	8	592,16	74,02		74,02	FPP
<i>Yucca spp.</i>	348	25.758,96	74,02		74,02	FPP
<i>Zelkova serrata</i>	3	721,86	240,62		240,62	FGP
<i>Ziziphus jujuba</i>	5	370,10	74,02		74,02	FPP
<i>Sin especificar</i>	6.120	1.472.594,40	240,62		240,62	FGP

Fuente: Elaboración propia

El CO₂ absorbido total por el arbolado de la ciudad de Sevilla es 52.689,89 Tn CO₂/año. El término municipal de Sevilla absorbe un total de 151.598,51 Tn CO₂/año.

Balance CO₂ emitido / CO₂ absorbido

El total de CO₂ emitido por el término municipal de Sevilla es 828.797,65 toneladas de CO₂, y el total de CO₂ absorbido es 151.598,51 toneladas de CO₂. Ambas cantidades se han estimado para un año. El término municipal de Sevilla presenta un saldo negativo de 677.199,14 toneladas de CO₂, ya que emite mucho más CO₂ que el que absorbe.

Indicador de sostenibilidad para el CO₂ y cálculo de la sostenibilidad

El valor del indicador es, aplicando la expresión (1), de 18,89 % ($I_{CO_2} = 18,89 \%$).

El valor de la sostenibilidad es, aplicando la expresión (2), de -0,6342 ($\check{S}_{CO_2} = -0,6342$ sostenibilidad EXCESIVAMENTE NEGATIVA).

DISCUSIÓN

Este trabajo se centra en el CO₂ y no considera otros GEI porque es el que se produce en mayor cantidad por las diferentes actividades humanas y porque es el que se puede eliminar mediante la fotosíntesis. Otros GEI, como metano y óxidos de nitrógeno, pueden metabolizarse por algunos microorganismos. Sin embargo, estos sumideros naturales no parecen ser tan fácilmente manipulables como los sumideros formados por organismos fotosintéticos.

No escapa a nuestra atención que los valores de absorción de CO₂ asignados a las diferentes especies y a los diferentes usos y coberturas del suelo son estimaciones realizadas a partir de datos bibliográficos. Sería una gran ventaja para estos trabajos, poder realizar mediciones directas de la absorción de CO₂ en las especies vegetales ya sean cultivadas o ya sean naturales.

Se constata el gran desequilibrio que existe en el término municipal de Sevilla desde el punto de vista del balance de CO₂. La cantidad de CO₂ absorbido por los sumideros naturales de CO₂ presentes en el término municipal no llega ni al 20 % del CO₂ total emitido por las diferentes actividades que se realizan en Sevilla y en su término municipal.

Los resultados obtenidos muestran que ni siquiera se llegaría a neutralizar las emisiones de CO₂ asignadas al sector Doméstico, ya que aún quedarían casi 25.000 toneladas de CO₂ emitidas de más.

La situación del término municipal de Sevilla es similar a las situaciones en las que pueden encontrarse otros muchos términos municipales: una mayor cantidad de CO₂ emitido que absorbido. El CO₂ que “sobra” en estos términos municipales debe ser absorbido por la vegetación, natural o cultivada, presente en otros términos municipales. Normalmente, estos municipios coinciden con los denominados municipios rurales, pudiéndose asociar muchos de ellos a municipios incluidos en lo que se denomina la España Vacía o Vaciada.

El valor del indicador definido en este trabajo muestra la escasa sostenibilidad de Sevilla y su término municipal, según los postulados propuestos.

Hay dos vías evidentes para conseguir equilibrar el balance de CO₂ de un territorio. La primera es reducir las emisiones de CO₂. En el caso de Sevilla, las emisiones provenientes del tráfico rodado son la principal aportación de CO₂ emitido que realiza este municipio, por lo que las primeras actuaciones a realizar deben ir encaminadas a reducir el movimiento de vehículos con motor de combustión. Fomentar el transporte público debe ser una acción prioritaria del Ayuntamiento de Sevilla, que es fácil de decir pero, a lo peor, no es tan fácil de hacer. Algunas propuestas, sin ánimo de ser exhaustivos, pueden ser las siguientes:

- Aumentar el número de autobuses por línea.
- Plantear nuevas líneas de autobuses que intercomuniquen mejor las zonas periféricas de la ciudad.
- Desarrollar todas las líneas de metro, que parecen un proceso similar a la historia de Tántalo. Son actuaciones prometidas muchas veces pero que parecen no llegar nunca.

Al final todo se reduce a una cuestión de inversión económica, a una cuestión de dinero.

No escapa a nuestra atención que las actividades económicas estrictamente productivas del término municipal de Sevilla producen sólo un 18,14 % del CO₂ emitido. Este dato puede interpretarse de dos formas. O bien las empresas productivas sevillanas tienen una bajísima huella de carbono, o bien hay una escasa actividad productiva en el municipio de Sevilla. Desgraciadamente, la segunda posibilidad parece la más probable, sin hacer un análisis más profundo.

La segunda vía para equilibrar el balance de CO₂ es aumentar la vegetación en todo el término municipal. Aquí hay varias posibilidades.

Se puede aumentar el arbolado viario, usando especies autóctonas y que tengan una alta absorción de CO₂. El naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) es una especie emblemática de Sevilla, pero no absorbe tanto CO₂ como otras especies, tales como almez (*Celtis australis*), fresno de hoja estrecha (*Fraxinus angustifolia*), chopo blanco (*Populus alba*), chopo negro (*Populus nigra*), olmo (*Ulmus minor*) y palmera datilera (*Phoenix dactylifera*), aunque esta última especie no pueda considerarse autóctona en sentido estricto.

Otra posibilidad es aumentar la superficie de parques y jardines públicos. La ciudad de Sevilla es deficitaria en zonas verdes (Rivero y Rodríguez, 2022). Se puede estimar que Sevilla necesita unas 560 hectáreas de zonas verdes, las cuales absorberían unas 25.000 Tn CO₂/año. Esta cantidad puede parecer no demasiado alta pero muestra la importancia de las zonas verdes en una ciudad para, entre otras cosas, eliminar el CO₂ emitido.

Una última posibilidad es transformar usos del suelo o coberturas vegetales que absorben poco CO₂ por otros usos del suelo o coberturas vegetales que absorban más CO₂. Para ello hay que estudiar minuciosamente todo el término municipal para comprobar qué zonas son candidatas para realizar estas transformaciones. No se puede descartar ninguna zona, aunque esté calificada como suelo urbano. Pensemos en zonas a medio construir y abandonadas, o en zonas periurbanas que no terminan por construirse. Una transformación de uso de suelo que aportaría más CO₂ es la instalación de cultivos de algas en aquellas zonas con suelos muy pobres y con una escasa cobertura vegetal. Esta idea puede parecer algo más próximo a la ciencia-ficción, pero puede ser una solución ecológica y económica a muchos terrenos abandonados o mal

gestionados, sean de propiedad pública o privada. El cultivo de algas para obtener biodiesel o hidrógeno es una actividad económica que debería ser favorecida por las diferentes administraciones públicas por su efecto positivo sobre el medio ambiente.

Hay otra última posibilidad que puede ser interesante plantear y consiste en aumentar la vegetación en los edificios para que las zonas edificadas se puedan asimilar a otras coberturas vegetales que absorban más CO₂ por hectárea. El uso de la vegetación en balcones y azoteas es algo muy típico de la ciudad de Sevilla. Ahora se trata de convertirlo en una actividad generalizada, a la que se debe añadir fachadas cubiertas de vegetación. El Ayuntamiento puede plantear algún tipo de ayuda para fomentar el reverdecimiento de la ciudad, como, por ejemplo, rebajas en el IBI.

El concepto de “verde en altura” puede aumentar la absorción de CO₂ en una cantidad que puede estimarse de forma aproximada en unas 13.300 toneladas de CO₂ al año para la ciudad de Sevilla. Se considera que fachadas y tejados pueden asimilarse a la cobertura Pastizal continuo. Las imágenes de árboles en las fachadas de los edificios pueden ser muy atractivas pero, quizás, no sean muy realistas. Posiblemente, los edificios que ya están construidos no tengan una estructura apropiada para la disposición de contenedores idóneos para grandes vegetales. Y no se puede olvidar la evapotranspiración potencial, que puede ser muy alta en la ciudad de Sevilla, sobre todo en los meses más cálidos. Parece más lógico situar vegetales herbáceos o matorral autóctonos en las cubiertas y en las fachadas de los edificios.

Las emisiones de CO₂ originadas en los edificios pertenecientes a la administración pública pueden reducirse mediante el uso de la energía solar (placas fotovoltaicas) como principal fuente de energía de los edificios oficiales. Habría que añadir la disminución del uso de vehículos oficiales todo lo que sea posible. Esta actuación de las diferentes administraciones públicas pueden servir de ejemplo a la ciudadanía y permitirían demostrar que dichas administraciones han tomado conciencia de los problemas ambientales y de sus posibles soluciones.

Toda esta casuística debe estar perfectamente recogida en ordenanzas municipales o en el planeamiento urbanístico.

Todas las vías y posibilidades expuestas, y algunas más que pueden habérsenos pasado por alto, no son excluyentes. Al contrario, todas pueden llevarse a cabo simultáneamente.

Nos gustaría señalar un aspecto que no debe pasarse por alto. El CO₂ que no es absorbido, 677.199,14 Tn CO₂/año, deberá ser absorbido por otro territorio. Si esto no fuera así, Sevilla estaría colaborando con el aumento de las emisiones GEI y al calentamiento global. Supuesto que este territorio sumidero del CO₂ “extra” fuera un bosque mediterráneo poblado de quercíneas, se necesitarían unas 42.246 hectáreas para llegar a cero emisiones. Esta superficie de bosque mediterráneo es, prácticamente, tres veces la superficie del término municipal.

La situación de Sevilla, así como otros muchos municipios con una mayor cantidad de CO₂ emitido que de CO₂ absorbido, hace necesaria la existencia de zonas con una situación inversa. Son zonas que absorben más CO₂ que el que emiten, y no hay que ser un genio para deducir que estas zonas se corresponden con municipios rurales, poco poblados, muchos de ellos dentro de espacios naturales protegidos. Una posibilidad que puede plantearse es realizar algún tipo de compensación económica hacia estos municipios ya que ellos están compensando el desequilibrio de CO₂ de los municipios más urbanitas, muy poblados, y que, generalmente, están en zonas bastante desnaturalizadas.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones de este trabajo son:

- La mayor parte del CO₂ (63,4 %) emitido en el término municipal de Sevilla corresponde al tráfico rodado. Hay que reducir esta cantidad, principalmente mediante la disminución del uso del vehículo privado y el fomento del transporte público.
- La vegetación natural y cultivada absorbe sólo un 18,89 % del total de las emisiones de CO₂. Hay que aumentar esta cantidad favoreciendo todo tipo de vegetación, ya sea recuperando zonas degradadas, ya sea estimulando el uso del verde en altura, o bien aumentando las zonas verdes y el arbolado viario.
- Se necesita una superficie de bosque mediterráneo que es el triple de la superficie del término municipal de Sevilla para absorber el CO₂ que no es absorbido por la vegetación presente en Sevilla.
- La ciudad de Sevilla y su término municipal presentan una sostenibilidad EXCESIVAMENTE NEGATIVA para el indicador de CO₂. El territorio bajo estudio es muy poco sostenible, según los criterios desarrollados en este trabajo.
- Como Conclusión final, podíamos establecer que el método utilizado en este trabajo puede aplicarse en otras ciudades españolas, incluso aplicarse a territorios más extensos como el ámbito de una provincia, de una comunidad autónoma, o de toda España.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. Canadell, J. y Carlson D. (2017). El balance anual global del carbono. *Bulletin 66(1)*.
- [2]. Rivero Pallarés, F. y Rodríguez Mellado, J.M. (2008). *Estudio del equilibrio CO₂ producido/CO₂ absorbido en Andalucía*. III Congreso Andaluz de Desarrollo Sostenible, Huelva 17, 18 y 19 de abril de 2008.
- [3]. Rodríguez Mellado, J.M. y Rivero Pallarés, F. (2012). *Indicador para la sostenibilidad de la actividad urbanística: Balance CO₂ producido/CO₂ absorbido de la Aglomeración Urbana de Sevilla*. 9º Congreso Nacional de Medio Ambiente.
- [4]. Mota, C., Alcaraz-López, C., Iglesias, M., Martínez-Ballesta, M.C. y Carvajal, M. (2011). Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos de la Región de Murcia. *Hortic. Global*, 294, 58-63.
- [5]. Plan Director del Arbolado, Sevilla. Catálogo de especies presentes. (2019). Ayuntamiento de Sevilla.
- [6]. *Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono, Versión 4*. Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico. (2019).
- [7]. *Los sumideros de carbono a nivel local*. Red Española de Ciudades por el Clima. Federación Española de Municipios y Provincias. (2011).
- [8]. *Análisis de la densidad en las plantaciones de olivar en Andalucía*. Servicio de Estudios y Estadística. Secretaría General de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. (2019).
- [9]. *Sistema de Información sobre Ocupación de Suelo en España, sección Andalucía (SIOSE_A), por municipios*. (2016). Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía.