



Delimitación de la superficie sostenible de suelo urbano. Aplicación a los municipios andaluces de mas de 100.000 habitantes

Autor: Josefa María Rodríguez Mellado

Institución: Consultora medioambiental independiente

Otros autores: Francisco Rivero Pallarés (Consejería de Educación Junta de Andalucía)

Resumen

Se establece una metodología para delimitar la superficie urbana máxima que puede tener un término municipal. Dicha metodología se basa en un postulado esencial de la sostenibilidad: el CO₂ producido en un término municipal debe ser, como máximo, igual al CO₂ absorbido por las diferentes coberturas vegetales presentes en ese término municipal.

Se definen y calculan las siguientes variables: Emisión de CO₂ de suelo urbano (ESU), Emisión de CO₂ de suelo no urbano (ESNU), Absorción de CO₂ de suelo urbano (ASU), y Absorción de CO₂ de suelo no urbano (ASNU). Se considera que estas variables son características de cada término municipal, y vienen expresadas en Tm CO₂/Ha.

A partir de estos postulados, se deduce una expresión matemática que permite calcular la superficie máxima teórica de suelo urbano que debería tener un municipio para ser sostenible desde el punto de vista de las emisiones de CO₂. La expresión matemática nos dice dos cosas evidentes y otra no tan evidente. Las dos evidentes son que la superficie máxima teórica de suelo urbano puede aumentarse si se disminuyen las emisiones de CO₂ y/o se aumenta la superficie de sumideros naturales de CO₂ en el término municipal. La no tan evidente es que la superficie máxima teórica de suelo urbano puede aumentarse si aumenta la absorción de CO₂ de suelo urbano; esto significa que el verde urbano adquiere un valor añadido que no se había considerado hasta ahora.

El valor teórico deducido se compara con los valores reales de superficie de suelo urbano mediante una función de sostenibilidad que permite calcular el grado de sostenibilidad del municipio considerado. La función de sostenibilidad ha sido utilizada en varios trabajos anteriores relacionados con la sostenibilidad de las ciudades.

La metodología descrita se aplica a los doce municipios andaluces de más de 100.000 habitantes. Se constata como la mayoría de ellos han realizado una ocupación del territorio que resulta totalmente insostenible según los criterios de contabilidad de CO₂ usados en este trabajo. Únicamente Córdoba y Jerez de la Frontera presentan una sostenibilidad alta según este criterio, y Jaén presenta una superficie de suelo urbano ligeramente menor que la teórica deducida.

Palabras claves: Función de sostenibilidad; contabilidad de CO₂; suelo urbano; suelo no urbano

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de los núcleos urbanos parece un proceso imparable unido al crecimiento de la población. Un análisis de los diferentes PGOU genera la impresión que el principal objetivo de cualquiera de ellos es calificar nuevo suelo urbanizable: seguir construyendo viviendas, sean necesarias o no. Se sustituye suelo agrícola o suelo con vegetación natural por infraestructuras, por viviendas, o por suelo industrial mediante una ocupación de suelo que, por ahora, no se ha considerado hasta donde es sostenible.

Las preguntas que se plantean son: ¿Existen límites al crecimiento urbano? ¿Es realmente sostenible una situación de ficción como la que aparece en el planeta Coruscant, una ciudad que ocupa el planeta entero?, en todo caso ¿Cuáles son los límites del suelo urbano para que sea sostenible la ocupación de suelo?

Un impacto de la ocupación de suelo es la disminución de la absorción de CO₂ al desaparecer los cultivos o la vegetación natural, que actúan como sumideros de este gas. No se ha realizado, hasta el momento, un análisis cuantitativo de ese impacto en ninguna Evaluación de Impacto Ambiental de los planeamientos conocidos por nosotros, ni se han establecido límites razonados y objetivos al suelo urbano.

Se plantea un análisis basado en el balance CO₂ absorbido/CO₂ producido por un término municipal. La superficie de suelo urbano de un determinado término municipal debe ser tal que la superficie de suelo no urbano (el resto del T.M.) absorba el CO₂ producido en dicho T.M. Los autores aplicaron este principio a los municipios de la provincia de Sevilla en un trabajo inicial. Este trabajo inicial asignaba todo el CO₂ producido al suelo urbano ya que los datos de emisiones disponibles en ese momento no estaban desglosados por actividades. El trabajo actual asigna las emisiones de las diferentes actividades a suelo urbano y a suelo no urbano por lo que el cálculo es más preciso.

Este trabajo propone una expresión matemática que permite calcular la **Superficie Sostenible de Suelo Urbano** en función de la emisión de CO₂ y de la absorción de CO₂ tanto del suelo urbano como del suelo agrícola y del suelo con vegetación natural. Así mismo se propone un **Indicador de Sostenibilidad para la Ocupación de Suelo** y una **Función de Sostenibilidad** que permite estandarizar los valores del indicador propuesto y cuantificar el grado de sostenibilidad de la ocupación del suelo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Consideraciones teóricas

El CO₂ total absorbido será aquel que absorban los cultivos agrícolas, los espacios con vegetación natural, las zonas verdes de los núcleos urbanos y el arbolado viario presentes en el término municipal. El CO₂ total producido será aquel que se produzca en el término municipal por las diferentes actividades.

Se considera que un municipio es sostenible desde el punto de vista de la ocupación del territorio cuando:

$$CO_2(p) = CO_2(a) \quad (1)$$

Donde: $CO_2(p)$ es el total de CO_2 producido en el término municipal y $CO_2(a)$ es el total de CO_2 absorbido en el término municipal

Sea E_{SU} la emisión de CO_2 por hectárea de suelo edificado e infraestructuras (suelo urbano). Se obtiene realizando el cociente entre el CO_2 total producido por las actividades que se realizan en suelo urbano y la superficie urbanizada, incluyendo las zonas verdes.

$$E_{SU} = \frac{CO_2(p)SU}{S_U} \quad (2)$$

Donde $CO_2(p)SU$ es el CO_2 producido en el suelo urbano, medido en toneladas de CO_2 , y S_U es la superficie urbanizada medida en hectáreas. Las unidades de E_{SU} son Tm CO_2 /Ha.

Sea E_{SNU} la emisión de CO_2 por hectárea de suelo no urbano. Se obtiene realizando el cociente entre el CO_2 total producido por las actividades que se realizan en suelo no urbano y la superficie no urbanizada.

$$E_{SNU} = \frac{CO_2(p)SNU}{S_{NU}} \quad (3)$$

Donde $CO_2(p)SNU$ es el CO_2 producido en el suelo no urbano, medido en toneladas de CO_2 , y S_{NU} es la superficie no urbanizada medida en hectáreas. Las unidades de E_{SNU} son Tm CO_2 /Ha.

Sea A_{SU} la emisión de CO_2 por hectárea de suelo edificado e infraestructuras (suelo urbano). Se obtiene realizando el cociente entre el CO_2 total absorbido por la superficie urbana y dicha superficie urbana.

$$A_{SU} = \frac{CO_2(a)SU}{S_U} \quad (4)$$

Donde $CO_2(a)_{SU}$ es el CO_2 absorbido en el suelo urbano, medido en toneladas de CO_2 , y S_U es la superficie urbanizada medida en hectáreas. Las unidades de A_{SU} son Tm CO_2 /Ha.

Sea A_{SNU} la absorción de CO_2 por hectárea de suelo no urbano. Se obtiene realizando el cociente entre el CO_2 total absorbido en suelo no urbano y la superficie no urbanizada.

$$A_{SNU} = \frac{CO_2(a)_{SNU}}{S_{NU}} \quad (5)$$

Donde $CO_2(a)_{SNU}$ es el CO_2 absorbido en el suelo no urbano, medido en toneladas de CO_2 , y S_{NU} es la superficie no urbanizada medida en hectáreas. Las unidades de A_{SNU} son Tm CO_2 /Ha.

Se considera que los valores de E_{SU} , E_{SNU} , A_{SU} y A_{SNU} son característicos de cada término municipal porque son consecuencia de las actividades que se realizan en cada término municipal.

Sea S'_U la superficie urbana que se considera sostenible y sea S'_{NU} el resto de la superficie del término municipal que no es superficie urbana y se supone ocupada por cultivos agrícolas y vegetación natural. El CO_2 que se producirá y el CO_2 que se absorberá en el término municipal, en las condiciones ideales vienen dados por las expresiones:

$$CO_2(p) = E_{SU} \cdot S'_U + E_{SNU} \cdot S'_{NU} \quad (6)$$

$$CO_2(a) = A_{SU} \cdot S'_U + A_{SNU} \cdot S'_{NU} \quad (7)$$

Como $CO_2(p) = CO_2(a)$ por definición de sostenibilidad, y como $S'_U + S'_{NU} = S_{TM}$ se deduce que

$$S'_U = \frac{A_{SNU} - E_{SNU}}{E_{SU} - A_{SU} + A_{SNU} - E_{SNU}} \cdot S_{TM} \quad (8)$$

El primer factor de la expresión (8) será característico de cada término municipal, se puede denominar ρ (letra griega rho) y dicha expresión se puede escribir de forma más sencilla como

$$S'_U = \rho \cdot S_{TM} \quad (9)$$

Asignación de usos y coberturas vegetales a suelo urbano y suelo no urbano

Los usos y coberturas vegetales que se asignan al suelo urbano son:

- 1.1 ZONAS URBANAS, que incluye 1.1.1 Tejido Urbano y 1.1.2 Urbanizaciones.
- 1.2 ZONAS INDUSTRIALES Y COMERCIALES E INFRAESTRUCTURAS, que incluye 1.2.1 Zonas Industriales y Comerciales, 1.2.2 Infraestructuras de Comunicaciones, y 1.2.3 Otras Infraestructuras Técnicas.
- 1.3 ZONAS MINERAS, VERTEDEROS Y ÁREAS EN CONSTRUCCIÓN, que incluye 1.3.2 Escombreras y Vertederos y 1.3.3 Zonas en Construcción.
- 1.4 ZONAS VERDES Y ESPACIOS DE OCIO, que incluye 1.4.1 Zonas Verdes Urbanas, y 1.4.2 Equipamiento Deportivo y Recreativo

Los usos y coberturas vegetales que se asignan al suelo no urbano son:

- 1.3 ZONAS MINERAS, VERTEDEROS Y ÁREAS EN CONSTRUCCIÓN, que incluye 1.3.1 Zonas mineras, y 1.3.4 Balsas de Alpechín.
2. ZONAS HÚMEDAS Y SUPERFICIES DE AGUA con todos los usos y coberturas vegetales.
3. TERRITORIOS AGRÍCOLAS con todos los usos y coberturas vegetales.
4. ÁREAS FORESTALES con todos los usos y coberturas vegetales.

Asignación de actividades a suelo urbano y suelo no urbano

Las actividades que se realizan en suelo no urbano son: Agricultura, Ganadería, Incendios forestales, y Maquinaria agrícola; sus emisiones de CO₂ se asignan al suelo no urbano. Las actividades extractivas y tratamiento de minerales pueden realizarse en suelo no urbano (actividades extractivas) y el suelo urbano industrial (tratamiento de minerales), por lo que se considera, a falta de mejores datos, que sus emisiones de CO₂ se reparten al 50 % entre el suelo urbano y el suelo no urbano. Las emisiones de CO₂ de todas las demás actividades se asignan a suelo urbano, incluida el asfaltado de carreteras, porque las carreteras están para unir suelos urbanos.

Función de Sostenibilidad

Para cuantificar la sostenibilidad de la superficie que ocupa el suelo urbano de un municipio se aplica la expresión:

$$S = e^{-9,2103 \cdot \left(\frac{S_U - S'_U}{S'_U}\right)^2} \quad (10) \quad \text{Si } S_U > S'_U$$

Donde S es la Sostenibilidad, S_U es la superficie de suelo urbano que tiene el municipio y S'_U es la superficie de suelo urbano que debería tener según el criterio de contabilidad de CO_2 considerado en este trabajo. Esta expresión está deducida por los autores en otros trabajos.

La sostenibilidad vale 1 si $S_U < S'_U$.

RESULTADOS

Las expresiones (8) y (10) se aplican a los términos municipales de Andalucía con más de 100.000 habitantes, que son: Algeciras, Almería, Cádiz, Córdoba, Dos Hermanas, Granada, Huelva, Jaén, Jerez de la Frontera, Málaga, Marbella, y Sevilla.

Los datos de usos y coberturas vegetales del suelo corresponden al año 2007, que son los más recientes publicados por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Los datos de absorción de CO_2 por los diferentes usos del suelo se corresponden con los valores de productividad Primaria Neta usados por los autores en trabajos previos.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1.

	Superficie SU (Ha)	Abs SU (Tm CO ₂)	Asu Tm CO ₂ /Ha	Emis SU (Tm CO ₂)	Esu Tm CO ₂ /Ha	Superficie SNU (Ha)	Abs SNU (Tm CO ₂)	Asnu Tm CO ₂ /Ha	Emis SNU (Tm CO ₂)	Esnu Tm CO ₂ /Ha	Su (Ha)	Sostenibilidad
Algeciras	1853,67	4472,47	2,41	559.508,87	301,84	6.724,91	62.794,74	9,34	5.597,00	0,83	236,95	0,0000
Almería	3149,42	6934,19	2,20	520.330,46	165,21	26.328,64	240.609,63	9,14	9.750,60	0,37	1.504,67	0,0000
Cádiz	735,62	933,45	1,27	371.088,25	504,46	465,79	3.434,40	7,37	163,71	0,35	16,53	0,0000
Córdoba	7370,13	37295,25	5,06	1.476.285,96	200,31	117.974,71	1.498.604,03	12,70	67.560,41	0,57	7.331,81	0,9997
Dos Hermanas	3260,84	9749,20	2,99	351.391,41	107,76	12.767,44	163.043,86	12,77	23.042,72	1,80	1.518,60	0,0000
Granada	2525,42	6297,93	2,49	600.681,65	237,85	6.266,70	68.678,82	10,96	10.325,24	1,65	334,61	0,0000
Huelva	2368,70	3737,12	1,58	2.505.098,00	1.057,59	12.493,33	215.639,41	17,26	2.231,18	0,18	236,58	0,0000
Jaén	2171,10	8941,70	4,12	408.603,08	188,20	40.446,15	445.906,56	11,02	25.831,37	0,64	2.276,08	1,0000
Jerez de la Fra.	5666,34	21138,30	3,73	1.359.080,44	239,85	113.013,89	1.350.194,03	11,95	108.317,09	0,96	5.277,58	0,9513
Málaga	7555,97	19568,43	2,59	2.246.844,18	297,36	31.898,37	299.035,73	9,37	14.570,93	0,46	1.158,58	0,0000
Marbella	5256,99	29954,40	5,70	369.331,81	70,26	6.473,73	56.004,90	8,65	1.805,13	0,28	1.346,68	0,0000
Sevilla	7675,80	21053,31	2,74	1.512.312,92	197,02	6.398,65	78.829,24	12,32	52.636,92	8,23	290,42	0,0000

Tabla 1. Valores de las diferentes variables consideradas en este trabajo para los municipios bajo estudio. Los datos se refieren al año 2007 que son los últimos datos publicados por la Junta de Andalucía. Las columnas “Superficie SU (Ha)” y “Superficie SNU (Ha)” recogen respectivamente la superficie de suelo urbano y de suelo no urbano de cada municipio medidas en hectáreas. Las columnas “Abs SU (Tm CO₂)” y “Abs SNU (Tm CO₂)” recogen respectivamente el CO₂ total absorbido en suelo urbano y suelo no urbano medido en toneladas de CO₂. Las columnas “Asu Tm CO₂/Ha” y “Asnu Tm CO₂/Ha” recogen respectivamente el CO₂ absorbido por unidad de superficie en suelo urbano y suelo no urbano medido en toneladas de CO₂ por hectárea; se obtienen aplicando las expresiones (4) y (5). Las columnas “Emis SU (Tm CO₂)” y “Emis SNU (Tm CO₂)” recogen respectivamente el CO₂ total emitido en suelo urbano y suelo no urbano medido en toneladas de CO₂. Las columnas “Esu Tm CO₂/Ha” y “Esnu Tm CO₂/Ha” recogen respectivamente el CO₂ emitido por unidad de superficie en suelo urbano y suelo no urbano medido en toneladas de CO₂ por hectárea; se obtienen aplicando las expresiones (2) y (3). La columna “Su (Ha)” recoge la superficie teóricamente sostenible medida en hectáreas; se obtiene aplicando la expresión (8). La columna “Sostenibilidad” mide la sostenibilidad de la superficie urbana del municipio; se obtiene aplicando la expresión (10) y sus valores se encuentran entre cero y uno. Elaboración propia.

Un dato interesante es la cantidad neta de CO₂ producido por el municipio. Se obtiene realizando la diferencia entre el CO₂ total absorbido tanto en suelo urbano como no urbano y el CO₂ total emitido tanto en suelo urbano como no urbano. Estos datos se muestran en la tabla 2

	Absorción total (Tm CO ₂)	Emisión total (Tm CO ₂)	Diferencia (Tm CO ₂)
Algeciras	67.267,21	565.105,87	-497.838,66
Almería	247.543,82	530.081,06	-282.537,24
Cádiz	4.367,85	371.251,96	-366.884,11
Córdoba	1.535.899,28	1.543.846,37	-7.947,09
Dos Hermanas	172.793,06	374.434,13	-201.641,07
Granada	74.976,74	611.006,89	-536.030,15
Huelva	219.376,53	2.507.329,18	-2.287.952,65
Jaén	454.848,26	434.434,45	20.413,81
Jerez de la Fra.	1.371.332,34	1.467.397,53	-96.065,19
Málaga	318.604,16	2.261.415,11	-1.942.810,95
Marbella	85.959,30	371.136,94	-285.177,64
Sevilla	99.882,55	1.564.949,84	-1.465.067,29

Tabla 2. Valores de Emisión total de CO₂, Absorción total de CO₂, y Diferencia de ambos valores para cada municipio estudiado. Elaboración propia.

Otro dato interesante es la relación que pueda existir entre las emisiones de CO₂ y la producción de riqueza. Puede plantearse que la producción de CO₂ va asociado a la producción de riqueza, por lo que parece lógico pensar que a mayor producción de CO₂ debe corresponder una mayor riqueza en la población que se refleja en una renta declarada mayor. Cuando se compara la renta total declarada (año 2007) con las emisiones totales de CO₂ se obtiene el resultado que se muestra en la figura 1.

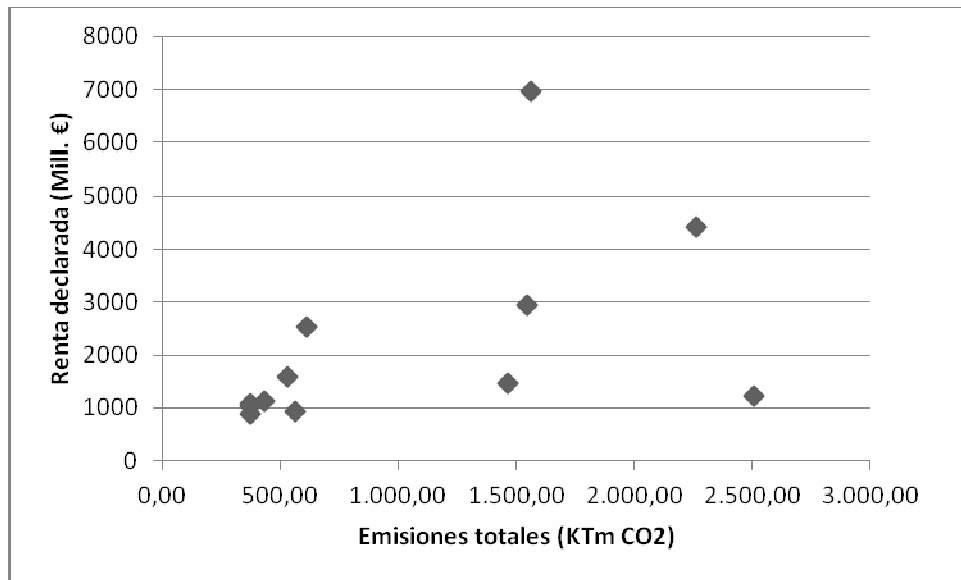


Figura 1. Relación entre la renta declarada total y las emisiones totales de CO₂ de los municipios estudiados. Coeficiente de correlación $R^2 = 0,2346$. Elaboración propia

Una alternativa puede ser plantear que son las emisiones en suelo urbano las que generan riqueza. Si se compara la renta total declarada (año 2007) con las emisiones de CO₂ del suelo urbano se obtiene el resultado que se muestra en la figura 2

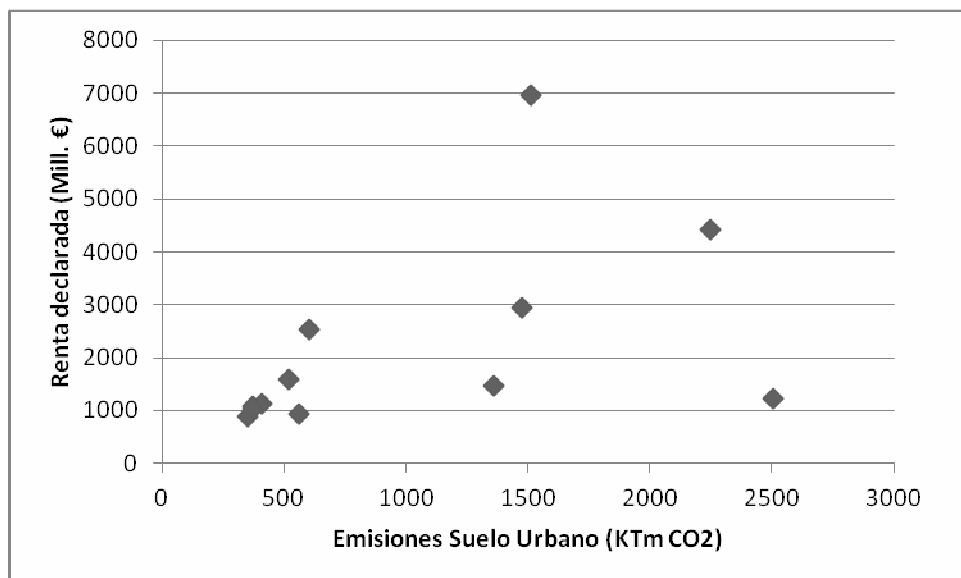


Figura 2. Relación entre la renta declarada total y las emisiones de CO₂ en suelo urbano de los municipios estudiados. Coeficiente de correlación $R^2 = 0,2284$. Elaboración propia.

Parte de las emisiones de CO₂ en suelo urbano corresponden a las emisiones producidas por el tráfico rodado. Un dato que hay que considerar es la proporción de las emisiones de CO₂ debidas al tráfico rodado con relación a las emisiones del suelo urbano. La figura 3 recoge estos datos. Se comprueba que la mayoría de los municipios estudiados muestran que una proporción entre el 30 y el 55 % de las emisiones de CO₂ en suelo urbano corresponden al tráfico rodado.

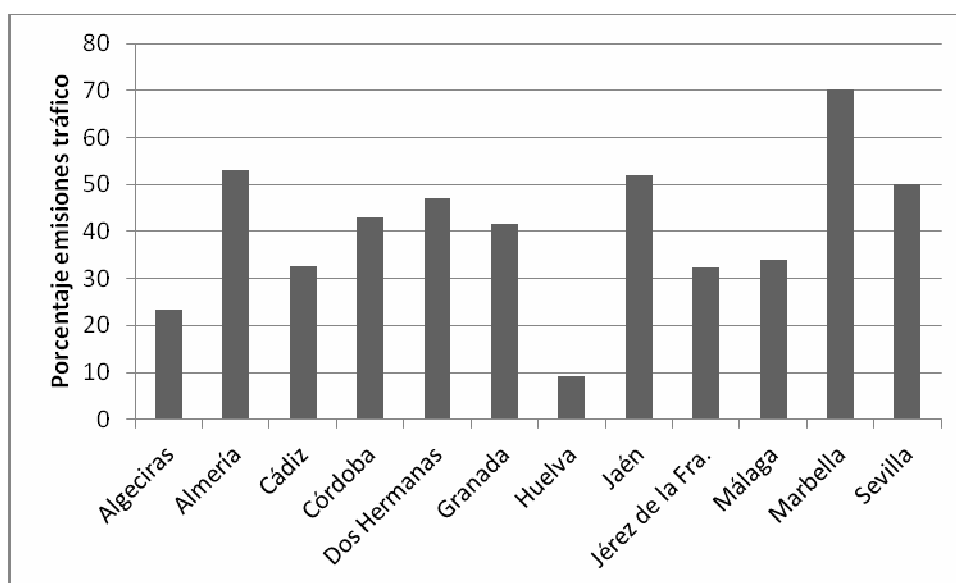


Figura 3. Proporción de las emisiones de CO₂ del tráfico rodado con relación a las emisiones del suelo urbano en los municipios estudiados. Elaboración propia.

Si se restan las emisiones debidas al tráfico rodado de las emisiones de suelo urbano se obtienen las emisiones de CO₂ en suelo urbano correspondientes, principalmente, a las diferentes actividades económicas. Si se compara la renta total declarada (año 2007) con las emisiones de CO₂ de las actividades económicas se obtiene el resultado que se muestra en la figura 4.

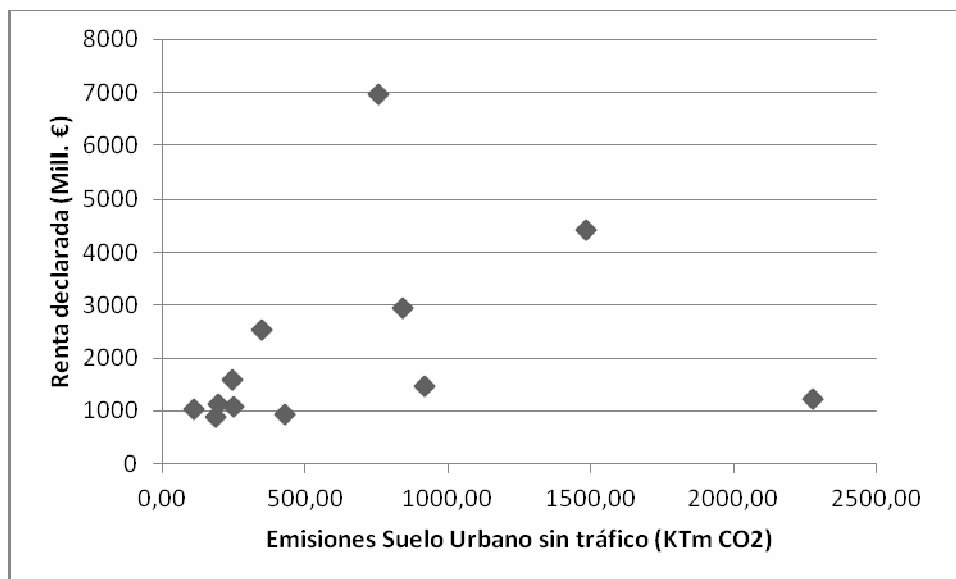


Figura 4. Relación entre la renta declarada total y las emisiones de CO₂ en suelo urbano una vez descontadas las emisiones de CO₂ debidas al tráfico rodado de los municipios estudiados. Coeficiente de correlación $R^2 = 0,0641$. Elaboración propia.

Los datos que sí parecen tener relación son las emisiones debidas al tráfico rodado y la renta declarada. La figura 5 muestra la gráfica que se obtiene si se comparan el logaritmo neperiano de las emisiones de CO₂ debidas al tráfico rodado con el logaritmo neperiano de la renta total declarada.

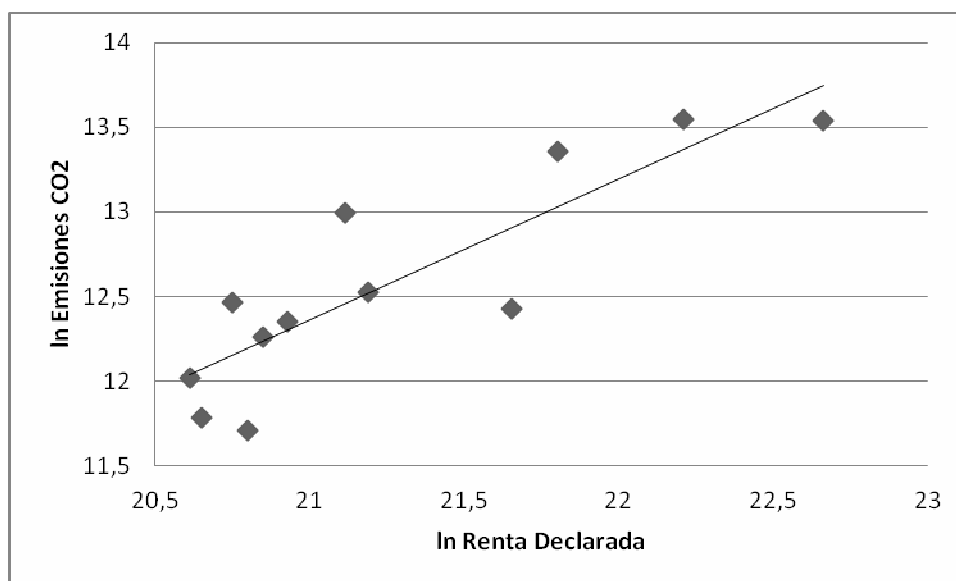


Figura 5. Relación entre las emisiones de CO₂ debidas al tráfico rodado y la renta declarada total de los municipios estudiados. Coeficiente de correlación $R^2 = 0,7524$. Elaboración propia.

La función matemática que se obtiene a partir de la recta de regresión es:

$$E_{CO_2} = 5,67 \times 10^{-9} \times R^{0,8349} \quad (11)$$

Donde E_{CO_2} son las emisiones de CO₂ debidas al tráfico rodado medidas en toneladas de CO₂ y R es la renta declarada total medida en euros.

Ante la aparente importancia de las emisiones de CO₂ del tráfico rodado, se rehacen los cálculos recogidos en la tabla 1 pero restando dichas emisiones a las emisiones en suelo urbano, por lo que todos los municipios quedan con un valor de E_{SU} más pequeño y un valor de S'_U mayor. Los nuevos cálculos se muestran en la tabla 3.

	Superficie SU (Ha)	Asu Tm CO2/Ha	Esu Tm CO2/Ha	Asnu Tm CO2/Ha	Esnu Tm CO2/Ha	Superficie SNU	S'u (Ha)	Sostenibilidad
Algeciras	1.853,67	2,41	231,15	9,34	0,83	6.724,91	307,55	0,0000
Almería	3.149,42	2,20	77,52	9,14	0,37	26.328,64	3.073,95	0,9945
Cádiz	735,62	1,27	339,25	7,37	0,35	465,79	24,45	0,0000
Córdoba	7.370,13	5,06	114,23	12,70	0,57	117.974,71	12.534,10	1,0000
Dos Hermanas	3.260,84	2,99	56,96	12,77	1,80	12.767,44	2.706,54	0,6796
Granada	2.525,42	2,49	138,76	10,96	1,65	6.266,70	562,36	0,0000
Huelva	2.368,70	1,58	959,97	17,26	0,18	12.493,33	260,25	0,0000
Jaén	2.171,10	4,12	90,64	11,02	0,64	40.446,15	4.567,61	1,0000
Jerez de la Fra.	5.666,34	3,73	162,12	11,95	0,96	113.013,89	7.699,78	1,0000
Málaga	7.555,97	2,59	196,47	9,37	0,46	31.898,37	1.735,00	0,0000
Marbella	5.256,99	5,70	20,87	8,65	0,28	6.473,73	4.170,90	0,5355
Sevilla	7.675,80	2,74	98,39	12,32	8,23	6.398,65	577,60	0,0000

Tabla 3. Valores de la Superficie Urbana sostenible y de la Sostenibilidad si a las emisiones en suelo urbano se le restan las emisiones de CO₂ debidas al tráfico rodado. Las cabeceras de cada columna tienen el mismo significado que en la tabla 1. Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Resulta cuanto menos desalentador comprobar que nueve de los doce municipios estudiados presentan una sostenibilidad de cero para la superficie urbana según el criterio usado en este trabajo. Sólo tres (un 25 %), Córdoba, Jaén y Jerez de la Frontera, alcanzan valores de sostenibilidad de uno o próximos a uno. La conclusión más

inmediata es que el resto de los municipios que se han dedicado a sustituir cultivos y vegetación natural por edificios e infraestructuras. Han sustituido los sumideros naturales de CO₂ por usos que no absorben CO₂.

Un municipio no puede aumentar la superficie de suelo urbano hasta cubrir todo su término municipal ya que se tiene un planeta Coruscant a nivel municipal. El suelo urbano debe ocupar la proporción de término municipal que le corresponda si se quiere que el municipio sea sostenible según el criterio definido en este trabajo. El análisis de la expresión (8) nos sugiere varias ideas para aumentar el valor del coeficiente p , si se quiere tener más suelo urbano sostenible:

- 1) Conseguir que la absorción del Suelo No Urbano (A_{SNU}) sea lo más alta posible. Pero A_{SNU} no puede aumentarse indefinidamente, tiene un límite y este límite es la máxima productividad primaria neta que puede tener un ecosistema. Se puede mejorar mediante proyectos de restauración de la vegetación natural, de recuperación de la vegetación de ribera en ríos y arroyos, y de recuperación de espacios degradados. Cada ayuntamiento debe estudiar su territorio para detectar aquellas zonas que no tengan la vegetación potencial que les corresponda o que sean susceptibles de mejorar la Productividad Primaria Neta, y planificar las acciones correspondientes para su recuperación. Estas acciones deben estar coordinadas siempre con la Consejería de Medio Ambiente y el Ministerio de Medio Ambiente.
Hay que señalar que muchos núcleos urbanos tienen zonas periurbanas agrícolas transformadas en vertederos, que parecen esperar pacientemente a ser declaradas suelo urbano para empezar a construir. Estas zonas degradadas tienen una productividad Primaria Neta inferior a la que deberían de tener si estuvieran ocupadas por cultivos agrícolas o por vegetación natural. Los ayuntamientos deben evitar este tipo de situaciones ya que los accesos a los núcleos urbanos presentan un aspecto deplorable. La primera imagen que tienen los turistas de una ciudad es muy negativa. El ayuntamiento puede elaborar ordenanzas municipales que planteen algún sistema de mantenimiento de estas zonas: ayudas económicas a los propietarios, huertos sociales, agricultura ecológica, parques periurbanos, etc.
- 2) Disminuir la emisión de suelo no urbano (E_{SNU}). Las emisiones de CO₂ en Suelo No Urbano corresponden, principalmente, a actividades agrícolas y ganaderas de tipo intensivo. Los ayuntamientos, en colaboración con la Consejería de Agricultura y Pesca, deben favorecer en lo posible la agricultura y la ganadería ecológicas ya que presentan emisiones menores de CO₂.
Una mención aparte merecen los incendios forestales, que aumentan puntualmente las emisiones de CO₂ y dejan una superficie que absorbe poco CO₂. Se sabe que muchos de ellos son intencionados. Las administraciones públicas deben disponer de medios que permitan controlar lo antes posible un incendio y, al mismo tiempo, los ayuntamientos deben realizar acciones encaminadas a enriquecer la educación ambiental de sus ciudadanos.
- 3) Disminuir la emisión de suelo urbano (E_{SU}). Las emisiones de CO₂ en suelo urbano corresponden a una gran cantidad de actividades económicas. Podría

pensarse que las emisiones de CO₂ son el resultado de una actividad económica intensa y que es un mal menor imposible de reducir e inevitable si se quiere tener una economía razonablemente sana y activa. Los datos correspondientes a los municipios estudiados indican que la correlación entre la renta declarada total y las emisiones totales de CO₂ es baja ($R^2 = 0,2346$). Dicha correlación es ligeramente menor si se cruzan los datos de renta declarada total y emisiones de CO₂ en suelo urbano ($R^2 = 0,2284$). No parece, por tanto, que la actividad económica sea la principal responsable de las emisiones de CO₂ en suelo urbano. Los municipios estudiados presentan una proporción alta de emisiones de CO₂ debidas al tráfico rodado, con un valor medio del 40,73 %, destacando Marbella que llega al 70,29 %. Este dato muestra claramente que las denominadas emisiones difusas suponen una buena parte de las emisiones de CO₂. Se encuentra que hay una correlación buena entre las emisiones de CO₂ debidas al tráfico rodado y la renta declarada total ($R^2 = 0,7524$). Se puede entender esta relación según la siguiente cadena de razonamiento: a mayor renta declarada le corresponde más vehículos privados, lo que genera más tráfico que, a su vez, genera más emisiones de CO₂. Este razonamiento se resume en la figura 6.

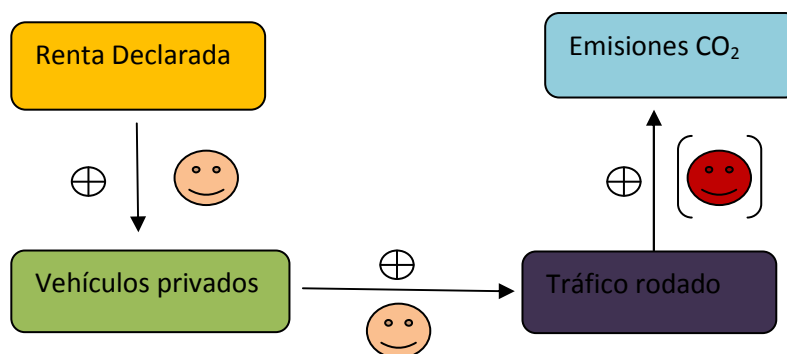


Figura 6. Diagrama de flujo que muestra la relación entre la renta declarada y las emisiones de CO₂. Elaboración propia.

Estos datos sugieren que el nivel de vida (medido como renta declarada total) es el que favorece una mayor cantidad de emisiones de CO₂.

Hay que añadir que el crecimiento del suelo urbano sin un control razonable aumenta las distancias y favorece el uso del vehículo privado, por lo que también aumentan las emisiones de CO₂. El planeamiento urbanístico debe ser un auténtico planeamiento y no una dieta de engorde del suelo urbano. Un núcleo urbano no es mejor porque ocupe mayor superficie, es mejor porque tiene un diseño sostenible.

Tres municipios, Almería, Dos Hermanas y Marbella, alcanzan valores de sostenibilidad distintos de cero cuando se rehacen los cálculos de superficie de suelo urbano sostenible sin considerar las emisiones de tráfico rodado. Todos estos datos reafirman la importante contribución de las emisiones de CO₂ del tráfico rodado a las emisiones totales de CO₂, al menos en los municipios

estudiados. Resulta evidente que el tráfico rodado no puede eliminarse totalmente de los núcleos urbanos, pero sí puede reducirse sustancialmente. Las principales líneas de actuación que permiten esta reducción son:

-El aumento de la inversión en transporte público por parte de las administraciones públicas. Los ciudadanos protestan poco, pero cuando se analiza el tema con detalle se tiene la impresión de que no hay dinero para el transporte público pero sí lo hay para la construcción de autovías y rondas de circunvalación que, en ocasiones, no queda claro qué zonas habitadas unen. No vale el razonamiento que las autovías favorecen el desarrollo económico porque Andalucía es una de las regiones europeas con mayor número de kilómetros de autovía por habitante pero no está en el grupo, por desgracia, de las regiones europeas más ricas.

-El desarrollo y la implantación por parte de los ayuntamientos de políticas de movilidad que disminuyan el uso del vehículo privado y que potencien el uso del transporte público. No se trata de perseguir al vehículo privado, se trata de conseguir un uso razonable y responsable del vehículo privado. El transporte público debe ser atractivo para el ciudadano y no convertirse en un castigo para la persona que no le queda más remedio que usarlo.

-Fomento de una educación y concienciación medioambiental para que los ciudadanos *motu proprio* utilicen más el transporte público y utilicen menos el vehículo privado. Aquí deben participar tanto las administraciones pública como organizaciones privadas; los medios de comunicación juegan un papel muy especial e importante en este aspecto.

- 4) Conseguir que la absorción de suelo urbano (A_{SU}) sea lo más alta posible. Nos estamos refiriendo a la absorción de CO₂ que se produce en el tejido urbano, en los polígonos industriales, y, en general, en todas aquellas zonas urbanas donde predomina el asfalto y el cemento. Estas zonas no están consideradas como zonas verdes porque no tienen vegetación de ningún tipo en la mayoría de los casos, o la vegetación se reduce a algún arbolado disperso. Si se analizan dos casos extremos puede entenderse mejor el razonamiento.

-Zona urbana sin vegetación. Sólo hay asfalto, cemento, nada de vegetación. Su Productividad Primaria Neta es cero, por lo que no absorbe nada de CO₂. Es una zona asimilable a un desierto árido que ocupa una superficie similar a la superficie de la zona urbana.

-Zona urbana con vegetación. Hay arbolado viario, a ser posible con una alta densidad y con copas altas y desarrolladas, hay setos o arriates diseñados de tal forma que no impiden el tránsito peatonal pero aportan verdor y frescura, hay vegetación en altura ocupando balcones, paredes y azoteas de edificios. Una visión aérea de la zona mostraría una superficie arbolada con poco asfalto y cemento a la vista. Su Productividad Primaria Neta no será igual que la de un bosque pero se puede aproximar bastante. Es una zona asimilable a un bosque clareado.

La segunda zona resulta menos inhóspita para el ciudadano que la primera y, además, absorbe más CO₂, por lo que deberían de abundar en los núcleos urbanos.

El planeamiento urbanístico debe convertir la ciudad en lo más parecido a un bosque clareado porque aumenta el valor del coeficiente ρ y permite tener mas superficie urbana sostenible, además de otras ventajas.

Este trabajo no dice que los municipios deban reducir la superficie de suelo urbano; no se trata de demoler viviendas.

Este trabajo dice que, hasta ahora, se ha engordado la superficie de suelo urbano sin usar ningún criterio de sostenibilidad. Nueve de los doce (75 %) municipios estudiados tienen demasiada superficie urbana según el criterio usado en este trabajo.

Realizado el diagnóstico deben tomarse las medidas pertinentes para mejorar los valores de sostenibilidad. Por ejemplo, al no considerar las emisiones de CO₂ debidas al tráfico rodado nos quedan seis de los doce (50 %) municipios estudiados con demasiada superficie urbana.

La ocupación del territorio que realiza el suelo urbano produce la desaparición de la vegetación, ya sea cultivada o natural, y la consiguiente reducción de la absorción de CO₂. Hay que añadir las emisiones de CO₂ que se producen durante los desplazamientos en el suelo urbano. Se deben plantear mecanismos de reducción y compensación.

La metodología desarrollada en este trabajo resalta varios aspectos:

-La importancia de unas políticas municipales de movilidad realmente comprometidas con el Desarrollo Sostenible. La metodología permite cuantificar el grado de éxito o de fracaso de las políticas de movilidad puestas en práctica en un municipio, y, por tanto, realizar las modificaciones más adecuadas.

-La presencia de verde urbano, no sólo como mecanismo para conseguir una ciudad más agradable y humanizada, sino como sistema de compensación de las emisiones de CO₂ de las zonas urbanas.

-La recuperación de la vegetación natural en las zonas no urbanas. Estas zonas pueden servir como solución de algunos problemas generados en las zonas urbanas.

La principal conclusión de este trabajo es muy simple: para que un planeamiento urbanístico clasifique una zona como suelo urbano se deben cumplir unos requisitos previos como ciudad sostenible. El criterio planteado en este trabajo es un saldo neto de cero toneladas de CO₂. Si una ciudad no es sostenible según este criterio no puede tener más suelo urbano, si una ciudad es sostenible según este criterio puede tener más suelo urbano. ¿Cuál es el límite? El suelo urbano ocupará una superficie tal que el saldo neto de CO₂ sea cero.

