

Revisión del concepto de sellado de suelos y propuesta de tipología urbana¹

José María GARCÍA ALVARADO

Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física
Universidad Complutense de Madrid
vicealum@ghis.ucm.es

María Eugenia PÉREZ GÓNZALEZ

Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física
Universidad Complutense de Madrid
meperez@ghis.ucm.es

María Pilar GARCÍA RODRÍGUEZ

Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física
Universidad Complutense de Madrid
mpgarcia@ghis.ucm.es

Recibido: 23 de septiembre de 2013

Enviado a evaluar: 2 de enero de 2014

Aceptado: 30 de abril de 2014

RESUMEN

El objetivo del trabajo es revisar el concepto de sellado de suelo y destacar los diferentes enfoques metodológicos utilizados en la U.E. y especialmente en España. El concepto de sellado de suelo ha evolucionado desde el punto de vista meramente físico (suelo compactado e impermeable) hasta considerarse un grave problema medioambiental, de origen antrópico, y como tal, con posibilidades de mitigación, pues se destruyen las funciones vitales del suelo y se modifica negativamente el ecosistema. Este trabajo propone unificar criterios metodológicos, destacando al menos la superficie afectada por unidad territorial (municipio, comunidad autónoma, región o país) y señalar la escala de trabajo más conveniente en cada caso. Atendiendo al impacto del sellado de suelos en el medioambiente se proponen diferenciar tipologías para grandes ciudades, desde las más invasivas a las de mejor adaptación con el entorno.

Palabras clave: Sellado, suelos, tipología urbana.

¹ Financiado con el Proyecto Nacional del Ministerio de Economía y Competitividad N° CSO2012-34785

Revision of the soil sealing concept and urban typology proposal

ABSTRACT

The aim of this paper is to review the concept of soil sealing and highlight the different methodological approaches used in the EU and especially in Spain. The soil sealing concept has developed from merely physical standpoint (compacted and impermeable soil) to be considered a serious anthropogenic environmental problem, and with mitigation options, as they destroy the vital functions of soil and adversely modifies the ecosystem. This paper proposes unifying methodological criteria, highlighting at least the area affected by territorial unit (municipality, autonomous community, region or country) and most convenient scale in each case. Considering the impact of soil sealing on the environment are proposed typologies for differentiating large cities, from the more invasive to the best adapted to the environment.

Key words: Sealing, soil, urban typology.

Révision du concept de l'imperméabilisation des sols et proposition de typologie urbaine

RÉSUMÉ

L'objectif de cet article est d'examiner le concept de l'imperméabilisation des sols et mettre en évidence les différentes approches méthodologiques utilisées dans l'UE et surtout en Espagne. Le concept de l'imperméabilisation des sols a évolué de la simple point de vue physique (sol compacté et imperméable) pour être considéré comme un grave problème environnemental, d'origine anthropique, et comme, options d'atténuation, car ils détruisent les fonctions vitales du sol et modifie négativement l'écosystème. Ce document propose des critères méthodologiques unifier, mettant en évidence au moins la zone affectée par unité territoriale (commune, communauté autonome, région ou pays) et le point sur le niveau de travail plus pratique dans chaque cas. Compte tenu de l'impact de l'imperméabilisation des sols sur l'environnement sont proposées typologies permettant de différencier les grandes villes, à partir de la plus invasive pour le meilleur ajustement à l'environnement.

Mots clés: Imperméabilisation, sols, urbain typologie.

1. REVISIÓN DEL CONCEPTO

El concepto de sellado de suelo ha ido migrando desde el ámbito puramente edáfico, agrario, biogeográfico, técnico y geotécnico, para pasar a formar parte de postulados ambientales y ecológicos más amplios. Efectivamente, en no poca bibliografía científica (Bonsu, 1992; Ramos *et al.*, 2000; Jakab *et al.* 2013, etc.) y/ o, metodológica, frecuentemente se ha usado encostramiento, y hasta exceso de compactación, como sinónimos de sellado, en cuanto, ambos procesos, lo que suponen inicialmente es una ruptura de la conexión del organismo “suelo” del conjunto ecológico en el que se inscribe. El sellado como consecuencia de procesos naturales no es el objeto de esta revisión, pues suele ser reversible, si no el desencadenado por prácticas y manejos antrópicos. Se pretende definir el progreso del concepto “suelo sellado” como consecuencia de la sustitución de cobertera natural por otra antropizada. Esto es, por “sellado del suelo se entiende la acción de cubrir de

forma permanente una superficie de terreno con material impermeable artificial, como cemento o asfalto”, (AEMA, 2012). Se refiere, por tanto, a la transformación del suelo natural por materiales artificiales impermeables.

Al respecto podemos decir que la incorporación de este parámetro, en políticas y normativas ambientales, a las que subsidiarse la obra pública, la edificación y la urbanización, está muy lejos de conseguirse. Igualmente su presencia como medidor de sostenibilidad urbano ambiental, como componente de la valoración de la huella ecológica, es bastante escasa. En este nivel, queda ensombrecido, frente a protagonistas más instalados en el ideario científico y en la militancia ecologista, como la huella del Carbono, la Huella Hídrica, y la llamada Huella Ecológica, y sus métricas derivadas. Baste señalar la escasa producción científica al respecto con anterioridad a los años 2000 (Netzband & Meinel, 1998), pues la mayoría de las publicaciones donde el sellado antrópico adquiere este carácter de preocupación, vinculándolo a las prácticas de ordenación del territorio, es a mediados de la década (Pascual *et al.*, 2004; Año *et al.*, 2005; Ojeda y Villar, 2006; García y Pérez, 2007; Scaleyghey y Ajmone, 2009; Escudero *et al.*, 2010 y Navarro *et al.*, 2012; Mejías, 2013), para llegar a 2012, donde ya, La Comisión Europea hace un llamamiento a las administraciones nacionales, regionales y locales, y produce el documento de Trabajo: **“Directrices sobre mejores prácticas para limitar, mitigar o compensar el sellado del suelo”**, por el momento el mejor informe que afronta este problema, (AEMA, 2012). Casi toda la bibliografía e informes previos que aportan en dicho documento los expertos son posteriores a 2003 (Jones, 2004), y la mayoría, de 2010 a la actualidad (Davies, 2011; Poeplau, *et al.* 2001; Prokop *et al.* 2011, etc.), lo que muestra la tardía llegada del problema de pérdida de suelo por sellado antrópico a las instancias políticas y gestoras del territorio. Más aún, las referencias más antiguas de este informe, son, por otra parte, las más genéricas, referidas a procesos generales de suelo, medio ambiente, urbanización, proyecciones de población, evaluación de procesos de urbanización, etc., estando prácticamente ausentes las centradas en el sellado de suelos (*soil sealing*, en la terminología anglosajona).

Una muestra más de lo que se viene afirmando es la ausencia de referencia alguna en nuestra actual normativa, y aún en la europea, que no sean recomendaciones dispersas en numerosas directivas comunitarias. Las leyes y normas de ordenación en edificación apenas sí hacen referencia al tema. Efectivamente, la LEY 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación, tan solo en el Capítulo II, Art.3 C1 dice: *“Higiene, salud y protección del medio ambiente, de tal forma que se alcancen condiciones aceptables de salubridad y estanqueidad en el ambiente interior del edificio y que éste no deteriore el medio ambiente en su entorno inmediato, garantizando una adecuada gestión de toda clase de residuos” sic*. Por lo demás, la misma Ley traslada el desarrollo normativo a un futuro Código Técnico de Edificación. Código que se promulga como RD 314/2006, con una modificación posterior RD/2010. Si bien el nuevo Código constituye un avance en exigencias de sostenibilidad ambiental, está más centrada en la adecuación de la edificación con el entorno geográfico natural, especialmente en términos de aislamiento térmico y

ahorro energético, sin apenas referencia al tratamiento técnico del suelo a la luz de su preservación.

Pero lo cierto es que el edificio y la edificación, están en, o requieren urbanización, y a ese respecto, el Código Técnico de Edificación resulta insuficiente. Muchas de las consultas a los Colegios Profesionales sobre el CTE, están relacionadas con la parte de urbanización, exigida en la edificación.

Según esta argumentación, quizá, más que en el hecho edificatorio deberíamos fijar la mirada y propósitos en la urbanización. Orientar los modelos de desarrollo urbanístico hacia las mejores prácticas a fin de minimizar o mitigar los efectos adversos del sellado. Puede admitirse que es inevitable, pero también es cierto que se deben intentar diseños, tramas, y técnicas de pavimentado, nuevos materiales, etc., que reduzcan este problema a la mínima expresión, con ganancia en preservación ambiental, y, también, en calidad de vida. No se trata de descubrir ahora y aquí, la importancia de los jardines o zonas verdes urbanas entretrejidas en la ciudad continua, si no de incrementar su importancia, salvaguardando hasta donde sea razonablemente posible, el suelo “autóctono”, porque no solo el medio ambiente, sino la calidad de vida urbana se verá incrementada.

Por el momento es difícil incorporar exigencias o recomendaciones, de este tipo en el Código Técnico de Urbanización, sencillamente porque no existe tal código, aunque voces que reclaman la elaboración de un Código Técnico de Edificación + Urbanización. CTE+U, que, jurídicamente podría alojarse en la Ley del Suelo, y conjuntamente, en la no existente y demandada Ley de Ordenación del Territorio. No se trata de hiperregular más la construcción, si no al contrario, solicitar un mayor orden en el marasmo legal con el que hoy nos encontramos a la hora de conocer las afecciones de suelo, tanto urbano como rústico de lugares concretos.

En su defecto, la Ley del Suelo, es otra referencia legal de ordenación, donde rastrear la importancia que a la protección del suelo se confiere. Una buena ocasión para incorporar buenas prácticas en cuanto al suelo – edáfico -, no el suelo mercantil o comercial, sería incorporar a los estándares urbanísticos, aquellas métricas que más convenga a la protección y mitigación del sellado de suelo. Si bien esta competencia está adscrita a las administraciones autonómicas, el desarrollo normativo es bastante abultado.

Lo que no viene desde un Código de Edificación + Urbanismo, inexistente, como acabamos de señalar, puede llegar, desde las leyes de suelo, suelo y urbanismo, o cualesquiera que sean los nombres con los que las Comunidades Autónomas han contribuido a la complejidad normativa. Como muestra de esos intereses contrapuestos, en el momento actual, véase, esta publicidad de llamados “pavimentos ecológicos”:

- **Impermeable.** *Sus características técnicas le confieren un alto grado de resistencia para estabilizar superficies con pendientes de hasta el 15%. Evita formación de charcos y cárcavas: no se forma polvo; impide el nacimiento y desarrollo de malas hierbas; no necesita mantenimiento; es un pavimento*

inundable para su uso en riberas de río y caminos y sendas costeros (no le afecta la salinidad marina) y posee una durabilidad muy elevada.

- **Autocicatrización** después de pequeñas fisuras en el pavimento por movimiento de subbase. Las eventuales zanjas para obras acaban siendo estéticamente inapreciables.

Está claro que la calificación ecológica debe argumentarse por el material utilizado, por el proceso de fabricación, etc., pero, desde luego, no por el comportamiento a partir de fin de obra, de ese pavimento de cara al sellado del suelo, y en su evolución posterior.

El crecimiento urbano no necesariamente tiene que conllevar un sellado totalmente oclusivo, en todas sus partes y zonas. Defiéndose aquí, que debería estudiarse aquellos usos urbanos que necesariamente lo requieran, e intentar minimizarlo, pero, allá donde fuera posible, optar por pavimentos porosos. Es más, son muchas ya las experiencias en las que este tipo de pavimentos se plantea como ideal en aquellos casos de climas que producen descargas de aguas torrenciales vinculadas a fenómenos tormentosos. La disminución de la escorrentía por filtrado, supondría aporte de agua al suelo, a la recarga de acuífero, y limitaría efectos indeseados de la escorrentía por las calles de la ciudad. En muchos lugares de EE UU se han utilizado pavimentos permeables para zonas urbanas como estacionamientos, aceras, espacios recreativos, suelo de invernaderos, etc. Aunque no solo, pues también se están aplicando al tejido urbano en superficies rodadas. Tales son los casos de primer Proyecto Piloto de Pavimentación Permeable de la Avenida North Gay (Portland-Oregón) y en Westmoreland (calles de pavimentación entrelazada), (Rvta. Construcción y Tecnología 2006, Las posibilidades del Concreto).

Una alternativa mitigadora de los efectos del sellado de suelo es la utilización de los pavimentos permeables (Prokop *et al.*, 2011), que sin que lleguen a ser la panacea, al menos, a nivel hidrológico pueden constituir una opción, menos mala, para el desarrollo de las urbanizaciones. Además, evitaría hacer complicadas obras para la canalización de aguas pluviales.

Con la utilización de pavimentos permeables se consigue recargar los acuíferos y reducir el volumen y el caudal máximo de escorrentía provocado por las lluvias, que en las regiones de clima mediterráneo se producen, con frecuencia, con gran intensidad horaria, dificultando la infiltración. También se remueven algunos contaminantes, mejorando la calidad del escurrimiento. El proyecto FONDEF: "Sistemas Estandarizados de Drenaje de Aguas Lluvias en Urbanizaciones y Viviendas" de la Universidad Católica de Chile, junto a un grupo de empresas, viene desarrollando desde 2001 pavimentos permeables de hormigón, que aseguran tiene una capacidad de infiltración superior, que la de muchos suelos naturales, sin pérdida, por otro lado, de resistencia estructural para usos tradicionales urbanos: sendas, estacionamientos, etc.

Otros procesos mitigadores vendrían de la mano del enverdecimiento y arborización de espacios urbanos, en zonas consolidadas, y de modificar los

estandares urbanísticos en zonas de nueva urbanización. Enverdecimiento y arborización, contribuirían a reducir la compactación del suelo, no solo en sus capas superficiales, si no que lograría substratos más permeable, por el desarrollo radicular en dichos espacios.

No necesariamente el sellado oclusivo ha de ser siempre negativo, quizás el problema radique en la proporción. Son numerosos los casos en los que el sellado se impone como fase necesaria en numerosos procesos de recuperación ambiental de zonas contaminadas. Sellados y confinamiento de vertederos, suelos contaminados por vertidos e infiltración de contaminantes, etc.

Un caso particular, como muestra lo constituye la actuación de SEPES, (Sociedad estatal de Promoción y Equipamiento de Suelo, en 1989, en el municipio de Curtis, La Coruña), donde la factoría SIDEGASA, había dejado casi 20 ha de suelos contaminados. La restauración ambiental de ese espacio, para su reutilización en un polígono industrial, requirió, entre otras muchas actuaciones, una compleja técnica de impermeabilización y un aporte de un metro de espesor de tierra vegetal, base para el futuro tratamiento de restauración de base herbácea y arbustiva, (SEPES, 2004)

Otros casos similares lo constituye la regeneración de suelos industriales, degradados y/o contaminados, con generación de suelo urbano, para los más variados usos: viviendas sociales, nuevo suelo industrial, o nuevos barrios urbanos con presencia relevante de espacios verdes. La mayoría de ellos, al amparo de Fondos y Políticas de Cohesión. Igualmente, los espacios urbanos obsoletos, tales como antiguos barrios industriales, o barrios procedentes de la demolición de medias y grandes áreas de chabolismo e infraviviendas que deban ser objeto de procesos de renovación urbana, constituyen una ocasión aprovechable para la aplicación de medidas mitigadoras de sellados históricos de suelo y recuperación ambiental.

Estas reflexiones muestran el mucho trabajo que queda por hacer en el combinado suelo/urbanización. Por un lado, de cara a los espacios consolidados, muchas veces, afectados por complejas normativas de estética urbana, patrimonio arquitectónicos, urbanístico, etc., se trataría de conseguir un catálogo tipológico, de sectores urbanos diferenciados, a los que aplicar un valor concreto de “permeabilidad/sellado”, y establecer aquellas acciones, que no entren en competencia con otros valores de protección histórico, artístico, cultural u otros sujetos de derecho.

El aprovechamiento económico del territorio, y el aumento superficial de entornos artificializados afecta a todos los países, si bien este parece más intenso en los de economía más desarrollada. Scalenghe y Marsan (2009) estimaron la pérdida de suelos por sellado de 9% en Europa, de 7% en la ciudad China de Nanjing entre 1984 y 2003 o, del 4,5 % de los suelos EE.UU. con riesgo de pérdida sustancial.

En atención a las alarmas por sellado, se han desarrollado numerosas figuras jurídicas, instrumentos técnicos científicos, y políticas ambientales y de ordenación del territorio, tendentes a mitigar los efectos adversos del desarrollo. En ellas, hasta tiempos muy recientes, el sellado del suelo no ha aparecido como una degradación digna de ser atendida y mitigada, al igual que otras criticidades.

No cabe duda de que el sellado tiene un evidente y notorio impacto negativo de numerosos usos y aprovechamientos humanos, que pretenden, desde el comienzo de

la historia, “dominar la naturaleza” para crear habitats propios de mayor confortabilidad y rentabilidad económica, para una población cada vez mayor y más exigente en el uso de recursos. Con todo, si, en los lineamientos actuales, y sin renunciar a ello, se quiere hacer un escenario geográfico más sostenible ambientalmente, se debería intentar, la consecución de un mayor equilibrio entre esa expansión y el funcionamiento de los sistemas ecológicos. Las razones son más que evidentes: se aminoran las posibilidades del sostenimiento a largo plazo del bien natural, con el riesgo de pérdida total del propio recurso; en la mayoría de los casos, la recuperación es prácticamente imposible, o en su defecto altamente costosa, por lo que, incluso, la eficiencia económica, sería dudable.

Con frecuencia, al suelo no se le ha otorgado la suficiente importancia medioambiental y paisajística. Efectivamente, ha sido más estudiado en su funcionalidad agropecuaria, forestal o de explotación económica. Desde la ratificación de España, del Convenio Europeo del Paisaje (26-11-2007, y entrada en vigor el 1 de Marzo de 2008), no ha mejorado la situación de los estudios del suelo en dicho marco. Además, al suelo y al paisaje no se les reconoce todo su valor ni se considera que son recursos limitados y no renovables. Debe tenerse en cuenta que los suelos realizan una amplia gama de funciones vitales en los ecosistemas, entre las que destacan:

- Regulan los flujos de agua por su capacidad de absorción, filtrado y almacenamiento.
- Reducen el riesgo de inundaciones.
- Retienen contaminantes debido a su capacidad de amortiguamiento.
- Absorben CO₂ y regulan los ciclos biogeoquímicos.
- Moderan el microclima urbano amortiguando la amplitud térmica, riesgo de tormentas, incremento de la humedad, etc.
- Mantienen la biodiversidad de micro, meso y macrofauna y de la vegetación.
- Constituyen un elemento esencial del paisaje.

Como afección a las tierras agrícolas fértiles, el sellado constituiría en sí mismo, un grave problema, en el marco de la pérdida de un recurso natural de primer orden (Siebielec *et al.* 2010; García y Pérez, 2007 y 2011). Por otro lado, las consecuencias medioambientales de este incontrolado proceso (Tabla 1), no son menores, a pesar de no estar todavía, suficientemente calibradas. Sólo como punto de partida pueden señalarse éstos:

1. Contribuye a restar biodiversidad, cualidad que actualmente se tiene como una de las fortalezas más importantes de la estabilidad de los ecosistemas, de la capacidad de reacción y resistencia ante una multiplicidad de agresiones de varia y no siempre conocida etiología.
2. En el campo hidrológico e hidrográfico, el sellado de suelo, no deja de ser un elemento interpuesto, sin medir sus consecuencias, en la circulación hídrica

- tanto superficial como subterránea. Aumenta el riesgo de inundaciones y escasez de agua, en tanto el agua “perdida”, por el incremento de la escorrentía superficial no se invierte en filtrarse en el suelo y revertir posteriormente a la atmósfera, por evaporación. Esta circunstancia, por lo demás, contribuye al incremento de la isla de calor urbana.
3. El sellado supone a gran escala modificaciones notables en el microclima urbano y, a pequeña escala favorece el incremento de calor y reduce la calidad del aire, ya que tanto el suelo como la vegetación capturan las partículas contaminantes y filtran los gases.
 4. Los nuevos materiales impiden la descomposición de la materia orgánica del suelo, el reciclado de nutrientes y el secuestro y almacenamiento de carbono. Por tanto el sellado rompe el vínculo entre los ciclos químico y biológico de los organismos terrestres, que en el suelo son cerrados, e impide que la biodiversidad edáfica recicle la materia orgánica muerta y las sustancias y elementos que la componen.

Tabla 1. Efectos y consecuencias del sellado de suelos

Efectos Negativos		Periodo	Consecuencias
Calor	Descenso de la absorción de radiación	Δ	Más superficies reflectantes
		ΔΔ	Isla de calor
Agua	Menor infiltración	ΔΔ	Reducción de reactividad química
		ΔΔΔ	Menor capacidad de infiltración
		ΔΔ	Agrietamiento
		Δ	Pérdida de biomasa
		ΔΔΔ	Disminución de la recarga natural de acuíferos
	Más escorrentía	Δ	Aumento de agua en áreas próximas
		ΔΔ	Aumento del periodo de encharcamiento
		ΔΔ	Probabilidad de anaerobiosis
	Barrera para las láminas de agua	ΔΔΔ	Incremento del riesgo de inundación
		Δ	Incremento del riesgo de anaerobiosis
Gas	Reducción/interrupción de intercambios	ΔΔ	Liberación de contaminantes
		ΔΔΔ	Riesgo de anaerobiosis
Biota	Pérdida de la cubierta vegetal	Δ	Captura parcial
		ΔΔ	Reducción de biodiversidad
Paisaje	Urban Heat Island	ΔΔΔ	Reducción sumideros de carbono
		ΔΔ	Incremento térmico
		Δ	Incremento de las partículas en suspensión
Paisaje	Incremento de la erosión eólica	ΔΔ	Incremento de la erosión en áreas proximas
		Δ	Reducción de la estética
		Δ	Reducción del atractivo paisajístico

Δ = breve plazo; Δ Δ = medio plazo; Δ Δ Δ = largo plazo

Fuente: Scalenghea, R. y Ajmone Marsan F. (2009).

En la Estrategia Temática para la Protección del Suelo de la Comisión Europea [COM (2006) 231] y, en el último informe de la Agencia Europea de Medio

Ambiente sobre el estado del medio ambiente en Europa (AEMA, 2010), se considera que “el sellado del suelo es una de las principales causas de la degradación del suelo en la UE”. Sorprende que si se asume esta aseveración, aún no haya habido una armonización, o convención Europea, para su evaluación, monitorización y seguimiento de este elemento crítico, para un componente tan importante como son los suelos. Según la Agencia Europea de Medio Ambiente, desde mediados de 1950 la superficie total de las ciudades de la UE ha aumentado en un 78%, mientras que la población sólo ha crecido un 33%, (http://ec.europa.eu/environment/soil/sealing_guidelines.htm). Esta paradoja, de crecimiento urbano, en nada, equivalente al crecimiento demográfico, ha tenido su máxima expresión en Europa, y en algunos países más que en otros, desde finales del siglo XX y principios del siglo XXI. Incluso en áreas de población regresiva de regiones españolas, la superficie natural transformada en urbana no ha dejado de crecer. ¿Significa esto que ha habido un incremento de sellado de suelo, en absoluto justificable en relación con la presión demográfica, cuando ésta, se mantiene más o menos estable, e incluso, decrece en muchas zonas?

El documento redactado en 22 idiomas de la UE trata de “proporcionar información sobre la magnitud del sellado del suelo en la Unión Europea y sobre sus impactos, así como ejemplos de mejores prácticas para limitar, mitigar o compensar ese fenómeno, con objeto de garantizar una mejor ordenación del territorio” (pág. 7).

Las Directrices sobre mejores prácticas para *limitar, mitigar o compensar el sellado del suelo* (AEMA/2012) parten del hecho que la pérdida del suelo entre 1990 y 2006 ha oscilado entre 1000 km²/año y 920 km²/año, con un incremento de la superficie urbanizada entre un 6 y un 9 % (mayor hasta el año 2000 y algo menor hasta 2006). De mantenerse constante esta tendencia lineal, en un período de tiempo históricamente tan corto como es un siglo habremos transformado una superficie equivalente al territorio de Hungría.

En los documentos de la Comunidad Europea: “Las repercusiones sobre el medio ambiente han de tenerse en cuenta lo antes posible en todos los procesos técnicos de planificación y decisión” (Diario Oficial UE, 2012), por la que los proyectos requieren un estudio de impacto ambiental. No se especifica nada sobre el sellado, pero sí de los daños que las obras pudieran ocasionar al ser humano, fauna, flora, suelo, agua, aire, clima, paisaje, bienes materiales y patrimonio cultural.

En España existe una amplia bibliografía sobre el crecimiento de áreas urbanas, en las que se analiza la superficie afectada, las causas y tendencias de la expansión de numerosas ciudades. A modo de ejemplo en Madrid algunos de los trabajos con una amplia representación espacial son los de Ojeda y Villar, 2006; García Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007; Solís Trapero, 2008; Plata *et al.*, 2009, etc. Sin embargo, el objetivo de este trabajo es conocer las implicaciones del sellado de suelo en el medioambiente, ¿cuánto, qué tipo de suelo y de qué calidad se está consumiendo por expansión urbana? y ¿qué similitudes y diferencias muestran los trabajos sobre sellado de suelo en distintas regiones españolas?

Metodológicamente muchos de los análisis sobre la expansión urbana a escala media y pequeña se han elaborado basándose en el programa Corine Land Cover, que aunque de gran valía para conocer las transformaciones del uso de suelo, suele sobredimensionar las superficies realmente selladas. Además, son numerosas las muestras de errores en dicha clasificación temática (Catalá *et al.*, 2008; Barreira *et al.* 2012), con suelos inventariados de uso urbano en superficies todavía sin urbanizar o con sellados muy reducidos y, por tanto, que todavía mantienen una alta funcionalidad edáfica. Además, gran parte de trabajos establecen categorías de sellado utilizando diferentes criterios: porcentajes del área afectada con distintos intervalos, km² sellados, km²/habitantes, etc., lo que dificulta la comparación de resultados y evaluación global. Como muestra de los diferentes enfoques metodológicos y de la relevancia del problema medioambiental que supone el sellado de suelos se destacan algunos trabajos, en los que la incorporación de las Tecnologías de la Información Geográfica resulta esencial para la cuantificación y evaluación de las superficies afectadas por sellado, pero adolecen de un acuerdo o conveniencia sobre la escala idónea de trabajo (Zhanga *et al.*, 2003; Moeller, 2005; Raymaekers *et al.* 2005; Kampouraki *et al.*, 2006; Pérez y García, 2013). Los trabajos y metodologías más relevantes sobre el sellado de los suelos peninsulares son:

- Sánchez *et al.* en 2009 dentro del proyecto europeo FTS Soil Sealing, establecen para España y Portugal, cinco categorías en porcentajes de suelos sellados (1-29, 30-49; 50-79; 80 a 99%). Sin duda el gran valor de esta metodología es la automatización del proceso, pero tiene otros inconvenientes, de los que los mismos autores son conscientes, y así lo manifiestan: *“El uso de clasificaciones teniendo en cuenta parámetros texturales podría mejorar los resultados frente al método empleado de clasificación píxel a píxel. La significación del grado de sellado también debe ser un punto de la metodología a revisar en el futuro, ya que resulta más relacionado con la presencia de vegetación que con el grado de impermeabilidad del suelo”* (sic pp 248). Efectivamente, no pasa de ser una mera convención, de carácter aproximativo el axioma de que toda zona urbanizada y suelo desnudo es equivalente a suelo impermeable, a sellado. A pesar de estas limitaciones, no cabe duda su valor como monitorización de la evolución de un problema ambiental como el que nos ocupa. Si bien este problema de base, no está creado por los autores, ya que, como afirman, siguen la metodología y criterios de la EEA (2002, 2006 y 2007).
- Añó *et al.* en 2005 establecen para Castellón porcentajes de sellado a escala municipal (< 2, 2-5, 5-8, 8-12 y > 12 %), diferenciando los sellados por edificaciones y por redes viarias, viendo cómo afectan a las distintas clases agrológicas del suelo.
- Valera *et al.*, (2011 a y b) en Alicante y en Valencia clasifican alta y baja densidad de sellado con porcentajes > y < del 80 %. En estos trabajos del área Mediterránea también se ha analizado el tipo de suelo sellado según su capacidad agrológica potencial.

- García y Pérez (2007) analizaron la superficie sellada entre 1989 y 2002 en Guadalajara y su área más próxima a Madrid, mediante imágenes Landsat. Las mismas autoras también analizaron a partir de imágenes Landsat el sellado de fluvisoles en la Comunidad de Madrid entre 1989 y 2009, y en ellos midieron los porcentajes de sellado correspondiente a las diferentes clases de capacidad potencial de uso agrícola y asociaciones de suelos (2011).
- Tomás *et al.* (2010) estimaron la superficie sellada en un sector del área metropolitana de Madrid mediante técnicas de análisis espectral en ortofotografías y una imagen multiespectral del satélite Spot.
- Romero *et al.* (2011) comprobaron la expansión urbanística y sus consecuencias del Campo de Cartagena (Murcia) entre 1980 y 2007, destacando un incremento espectacular del 240%.

Otros estudios a pequeñas o medias escalas sí separan otras tipologías de sellado, pero suelen diferir según la ciudad que se trate.

De los casos bibliográficos analizados, pueden extraerse algunas conclusiones, y serían las siguientes: i) hay un cierto consenso y aceptación general en la comunidad científica e instituciones de competencias específicas ambientales, del concepto de sellado de suelo y su visión como problema ii) el consenso se pierde y los procesos de tanteos se multiplican cuando se trata de buscar la métrica más correcta y ajustada a la realidad. Esto es, hay una gran heterogeneidad de metodologías que tratan de conseguir la forma más eficiente de medir este hecho ambiental, que sea armonizable entre todos los países, y permita la observación permanente de su situación, evolución y tendencias. De esta manera, el número y naturaleza de los índices o indicadores de sellados es muy variado. Esta heterogeneidad de métricas vienen esencialmente de dos dificultades, por un lado, una defectuosa elección o diseño en el sistema escalar, “la escala de las medidas”, y por otro, y muy vinculado con lo anterior, la disponibilidad, o dificultad de disponibilidad de información, en esas mismas escalas.

La relación tipología y escala, debe tener en cuenta los procesos “*filtering up* or *down*”, y todos los procesos interescales. Lo que parece estar ocurriendo ahora, es la mediatización de los índices por las escalas.

Así, a escala pequeña los valores de sellado, globalmente, por países, o grandes regiones, son más bien, el producto de inferir, de estimar, unos valores de sellado de suelo por variables tan indirectas – y tan sin calibrar – que creemos, incluso puede falsear la realidad, unas veces por sobredimensionamiento, otras por defecto. Este hecho parece afectar a ámbitos, cuyas escalas corresponden a valores de 1:800.000, y en adelante.

En ámbitos regionales, los indicadores pueden ser más acertados, como lo es la propia taxonomización de los usos de suelo, y los atributos generales de cada clase de uso. En el diseño escalar, y a pesar de que en nuestro país las regiones son heterogéneas, también en extensión geográfica, las escalas más apropiadas variarían entre el 1:200.000 y el 1:100.000.

Por último, las escalas más idóneas para el estudio detallado del tema sería desde 1:50.000, hasta 1:10.000 o 1:5000. Esto es, para obtener las visiones del problema desde una escala municipal hasta la escala más grande, de proyecto. Sin el conocimiento del problema de sellado, a este detalle, cualquier actuación o intervención para mitigar las consecuencias negativas del sellado, no pasarían de ser muy generales, y en gran medida un poco a ciegas.

2. PROPUESTA DE TIPOLOGÍAS DE SELLADO DE SUELOS

Aunque la finalidad última sea conocer la pérdida de suelo de forma cuantitativa, también se deberían conocer las repercusiones cualitativas, pues no toda transformación antrópica modifica de igual forma el entorno, también importa el cómo.

Además del necesario acuerdo sobre el diseño escalar para evaluar el sellado de suelos, otra propuesta sería establecer una tipología en función del impacto que el sellado supone para el medioambiente y, en función de ello, encaminar las propuestas y obras de mitigación. A modo de ejemplo el sellado mediante naves industriales (con techos metálicos) produce mucho mayor deterioro ambiental que edificios con cubiertas verdes y/o una adecuada envolvente.

Atendiendo al impacto del sellado en el medioambiente se proponen las siguientes tipologías para grandes ciudades:

1. *Naves y polígonos industriales*: prácticamente la totalidad de los municipios cuentan con algún polígono de esta naturaleza, cuya extensión está más o menos acorde con la propia jerarquía urbana a la que pertenece el municipio. En ellos predomina la edificación en naves de grandes dimensiones, cuyas cubiertas son generalmente de materiales metálicos, poco aislados, planos y de colores oscuros. Sería conveniente, en estos casos, como en otros similares de cubiertas, estimar la posibilidad de utilización de materiales que tengan un albedo similar al que tendría el suelo natural de la zona. La consecuencia ambiental sería más positiva de lo que lo es en estos momentos.
2. *Grandes centros comerciales*. Este uso, ha sido uno de los que más han proliferado en la expansión urbana reciente de nuestros espacios metropolitanos y ciudades de diferente rango. En el caso de Madrid, al menos, unas de las características de estas superficies, es la generosidad en la urbanización, que si bien supone un mayor consumo de superficie natural transformada, en su favor debe anotarse la mayor laxitud de su densidad edificatoria. El enverdecimiento o ajardinamiento de los espacios interviarios se propone como mitigación al problema en esta categoría de uso.
3. *Infraestructuras de transportes*: carreteras, ferrocarriles y aeropuertos. Las medidas encaminadas a mitigar los efectos del sellado se orientan a la selección de materiales adecuados y/o formas de las cubiertas, sin menoscabar su seguridad y funcionalidad.

4. *Superficies asfaltadas*: parking y calles sin arbolado. Especialmente en grandes aparcamientos, tanto de polígonos industriales como de grandes centros comerciales han sido construidos sin atender al impacto que ocasionan, siendo uno de los espacios urbanos de más fácil solución, que diferiría según el tipo de clima (pavimentos permeables, incremento de la superficie sombreada, senderos verdes, uso adecuado de los materiales y del color, etc.).
5. *Edificaciones compactas* (cascos antiguos, grandes manzanas sin arbolado, edificios en grandes bloques, compactos). En esta categoría es en la que se encontrarían mayores dificultades de aplicación de transformaciones mitigadoras. En los centros históricos y otros centros de gran tradición urbana, el comportamiento suele ser dual. Suelen convivir en ellos dos extremos: o barrios de alta representación y valor patrimonial histórico-cultural y artístico, o en el extremo opuesto, barrios degradados, arquitectónica y socialmente. En el primero de los casos las limitaciones son muchas desde el punto de vista de las afecciones protectoras de patrimonio, en el segundo, la urgencia rehabilitadora de edificios y entorno, es costosa económicamente, pero da la oportunidad de incorporar este criterio en la remodelación urbana. En unos y otros, el principal problema es el de la densidad de edificación.
6. *Urbanizaciones residenciales abiertas*. Una tipología muy frecuente en el desarrollo urbano de los sesenta y setenta fue el de las urbanizaciones de edificación abierta, consistente en bloques de vivienda, viario local, en su mínima expresión, y amplios y generosos espacios libres interbloques – siempre en comparación con la ciudad de entramado cerrado-. Aquí, la oportunidad la ofrece el tratamiento de esos espacios interbloques con una cubierta adecuada.
7. *Viviendas unifamiliares o plurifamiliares con amplias zonas verdes y gran parcelario*. Constituyen una tipología de respuesta medioambiental intermedia y de difícil inventario dada la mezcla espacial entre las superficies construidas y las áreas ajardinadas.
8. *Calles muy arboladas, bulevares, parques y jardines, campos de golf, cinturones verdes, superficies de agua, etc.* La presencia de estos espacios verdes en la ciudad mitiga los múltiples efectos negativos del sellado de suelos.

3. CONSIDERACIONES FINALES

Tras esta revisión y reflexión acerca del sellado del suelo por causas antrópicas pueden señalarse unas cuantas conclusiones generales.

- Reciente y creciente preocupación científica, ecológica, ambiental y política, por el problema del sellado del suelo, si bien los resultados de su

implementación en los instrumentos de evaluación ambiental y ordenación urbana del territorio, es todavía insuficiente.

- Consolidación en la terminología científica del “sellado del suelo”, como consecuencia antrópica, con independencia del sellado por procesos naturales, con casi un consenso pleno en la comunidad científica de sus efectos negativos en el medio ambiente y en la calidad de vida.
- No se ha desarrollado todavía una metodología homogénea y de auténtica utilidad, para su medición, con serias dificultades para la real cuantificación del hecho, la valoración en los procesos, y la forma e intervenir en las dinámicas territoriales, con el fin de evitar la agudización y el progreso del problema.
- Que en la bibliografía aquí estudiada, y en las deducciones propias de los autores de este trabajo, de carácter propositivos, son meros tanteos, mas intuitivos que experimentados, como no podía ser de otra manera, en función de la conclusión anterior.
- Que urge la generación de un indicador compuesto, múltiple y variable. Esto es que el indicador parta de unos valores muy analíticos, en escalas grandes, a unos valores sintéticos en escalas pequeñas, estos últimos formados por agregación de los primeros.
- Se ha propuesto igualmente ocho grandes categorías de forma urbana, a efectos de imbricarlas con el comportamiento de cada una de ellas en el sellado de suelo, y que pretendemos desarrollar y aplicar en los estudios pilotos que se contemplan dentro de los objetivos del presente proyecto.

4. BIBLIOGRAFÍA

- AEMA, (2010): The European environment – State and Outlook 2010: urban environment. Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhague.
- AEMA, CE, (2012): Documento de trabajo de los servicios de la Comisión. Directrices sobre mejores prácticas para limitar, mitigar o compensar el sellado del suelo. Bruselas, 15.5.2012, SWD (2012) 101 final/2. <http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/ES%20-%20Sealing%20Guidelines.pdf>
- AÑÓ VIDAL, C.; PASCUAL AGUILAR, J.A. Y SÁNCHEZ DÍA, J. (2005): Capacidad de uso y sellado antropogénico del Suelo en la franja litoral de la provincia de Castellón Investigaciones Geográficas, 38, 65-77.
- BARREIRA GONZÁLEZ, P.; GONZÁLEZ CASCÓN, V. Y BOSQUE SENDRA, J. (2012). Detección de errores temáticos en el CORINE Land Cover a través del

- estudio de cambios: Comunidad de Madrid (2000-2006). *Estudios Geográficos*, 73/272, 7-34.
- BONSU, M. (1992): A physically based model for surface sealing of soil. *Journal of Soil Science*, 43-2, 229–235.
- CATALÁ MATEO, R.; BOSQUE SENDRA, J. Y PLATA ROCHA, W. (2008): Análisis de los posibles errores en la base de datos CORINE Land Cover (1990-2000) en la Comunidad de Madrid. *Estudios Geográficos*, 69/264, 81-104.
- EEA (2002): Proceeding of the Technical Workshop on Indicators for Soil Sealing. European Environment Agency. Copenhagen, 62 pp.
- EEA (2006): Urban sprawl in Europe. The ignored challenge, EEA Report 10, European Environment Agency, Copenhagen.
- EEA (2007): CLC 2006 Technical Guidelines, Technical Report 17, European Environment Agency, Copenhagen.
- DAVIES, Z.G., EDMONDSON, J.L., HEINEMEYER, A., LEAKE, J.R. & GASTON, K.J. (2011): Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. *Journal of Applied Ecology*, 48, 1125-1134.
- DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA, 28.1. (2012): Directiva 2011/92/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de diciembre de 2011, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.
- ESCUADERO, R.; SÁNCHEZ, B.; MORAL, F. (2010): El proyecto GMES de sellado de suelo como ejemplo de una forma distribuida y colaborativa de abordar proyectos europeos de teledetección. Congreso Nacional de Medio Ambiente Conama10. Ed.Conama.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, Mª P; PÉREZ GONZÁLEZ, MªE. (2007): Changes in soil sealing in Guadalajara: cartography with Landsat images. *Science of Total Environment*, 41. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.01.048.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, Mª P. Y PÉREZ GONZÁLEZ, Mª E. (2011): Sellado de fluvisoles en la comunidad de Madrid análisis a partir de imágenes Landsat. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 31:125-137.
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO (2006): Las posibilidades del concreto. Rvta Construcción y Tecnología.
- JAKAB,G.; NÉMETH, T.; CSEPINSZKY, B., MADARÁSZ, B., SZALAI, Z. & KERTÉSZ, A. (2013): The influence of short term soil sealing and crusting on hydrology and erosion at Balaton Uplands, Hungary. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8-1.
- JONES, R.J.A., HIEDERER, R., RUSCO, E., LOVELAND, P.J. AND MONTANARELLA, L. (2004): The map of organic carbon in topsoils in Europe, Version 1.2, September 2003: Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.72 (S.P.I.04.72). European Soil Bureau Research Report No.17, EUR 21209 EN, 26pp. and 1 map in ISO B1 format. Oficina de Publicaciones Oficiales de la Unión Europea, Luxemburgo.

- KAMPOURAKI, M., WOOD G.A, AND BREWER, T. (2006): The application of Remote Sensing to identify and measure sealed areas in urban environments.1st International Conference on Object-based Image Analysis (OBIA 2006).
- MINISTERIO DE VIVIENDA 2011: Libro Blanco de la Sostenibilidad en el Planeamiento Urbanístico Español.
<http://siu.vivienda.es/siu/infoWeb/libroBlanco/index.html>
- MINISTERIO DE ASUNTOS EXTERIORES; CONSEJO DE EUROPA (2000): Convenio Europeo del Paisaje. Florencia, 20.10.2000. España
- MEJÍAS VERA, M.A. (2013) ¿Cómo medir el fenómeno Urban sprawl a través de indicadores paisajísticos? Aplicaciones a la isla de Tenerife. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, Vol. 62, 49-74.
- MOELLER, M. (2005): Remote Sensing for the monitoring of urban growth patterns. Proc. of the ISPRS Joint Conference URBAN/URS. Tempe, AZ, USA.
- NAVARRO PEDREÑO, J.; MELÉNDEZ-PASTOR, I.Y GÓMEZ LUCAS, I. (2012): Impact of three decades of urban growth on soil resources in Elche (Alicante, Spain). Spanish Journal of Soil Science, Vol. Issue 1, 55-69. DOI: 10.3232/SJSS.2012.V2.N1.04.
- NETZBAND, M. & MEINEL, G. (1998): Identifying Urban Soil Sealing by High Resolution Remote Sensing Methods, Urban Ecology, 451-455.
- OJEDA, J. Y VILLAR, A. (2006): Evolución del suelo urbano/alterado en el litoral de Andalucía (España): 1998-2002, Geofocus, 7, 73-99.
- PASCUAL AGUILAR, J.A.; AÑÓ VIDAL, C. Y SÁNCHEZ DÍAZ, J.J. (2004): Dinámica reciente de sellado artificial del suelo en espacios fluvio-litorales mediterráneos. El entorno metropolitano de Valencia. En: Conesa García, C. *et al.* (eds.). Medio ambiente, recursos y riesgos naturales: análisis mediante tecnología SIG y teledetección. Murcia, Vol. 1, 221-232.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M^a E. Y GARCÍA RODRÍGUEZ, M^a P. (2013). Aplicaciones de la Teledetección en degradación de suelos. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 61, 285-308.
- PLATA, W; GÓMEZ, M. Y BOSQUE, J. (2009). Cambios de usos del suelo y expansión urbana en la Comunidad de Madrid (1990-2000). Scripta Nova, 293, 15. <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-293.htm>
- POEPLAU C., DON A., LEIFELD J., VESTERDAL L., VAN WESEMAEL B. (2011): Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach. Global Change Biology, 17, 2415-2427.
- PROKOP G., JOBSTMANN H., SCHÖNBAUER A. (2011): Overview on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects in EU-27 (Environment Agency Austria), Technical Report - 2011-50, ISBN: 978-92-79-20669-6. <http://ec.europa.eu/environment/soil/sealing.htm>
- RAYMAEKERS, D., BAUWENS, I., VAN ORSHOVEN, J., GULINCK, H., ENGEL B., DOSSELAERE, N. (2005): Spectral unmixing of low resolution images for monitoring Soil Sealing. 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN 2005).

- RAMOS, M. C.; NACCI, S.; PLA, I. (2000). Soil Sealing and Its Influence on Erosion Rates for Some Soils in the Mediterranean Area. *Soil Science*, 165-5, 398-403.
- ROMERO DÍAZ, A.; BELMONTE SERRATO, F.; DOCAMPO CALVO, A.M. Y RUIZ SINOGA, J.D. (2011): "Consecuencias del sellado de los suelos en el Campo de Cartagena (Murcia)". En Gozávez Pérez, V. y Marco Molina, J.A. (Coords.): *Geografía y desafíos territoriales en el siglo XXI*, Vol. 2, 605-616.
- SEPEs: GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL CURTIS-TEIXEIRO. (2004): *Descontaminación de Suelos Contaminados y Restauración Paisajística*. Informe Técnico de Gestión Urbanística.
- SÁNCHEZ, B., MORAL, F., GONZÁLEZ, A. Y ESCUDERO, R. (2009): Proyecto FTS Soil Sealing (Sellado del suelo) en España y Portugal. XIII Congreso Nacional de Teledetección. Calatayud, España, 245-248.
- SCALENGHE, R.; AJMONE MARSAN F. (2009): The anthropogenic sealing of soils in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 90, 1-10.
- SIEBIELEC G., LAZAR S., KAUFMANN C. & JAENSCH S. (2010): Handbook for measures enhancing soil function performance and compensating soil loss during urbanization process. Urban SMS - Soil Management Strategy project, pp. 37. www.urban-sms.eu.
- TOMÁS, A.; SALAS, F.J., SANTOS, C.; GARZÓN, A. Y MORENO, V. (2010): Estimación del sellado del suelo mediante técnicas de análisis espectral. *Serie Geográfica*, 16, pp. 81-92.
- VALERA LOZANO, A.; AÑÓ VIDAL, C. Y SÁNCHEZ DÍAZ, J. (2011 a): Crecimiento urbano (1956-2005) y sellado antropogénico del suelo en el municipio de Alacant. *Serie Geográfica* 17: 97 – 108.
- VALERA LOZANO, A.; AÑÓ VIDAL, C. Y SÁNCHEZ DÍAZ, J. (2011b): Cincuenta años (1956-2006) de crecimiento urbano y degradación de suelos por sellado antropogénico en el término municipal de Valencia *Anales de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid*, vol. 31, núm. 2 177-191.
- ZHANGA, Q.; WANG, J.; GONGC, P. & SHIB, P. (2003): Study of urban spatial patterns from SPOT panchromatic imagery using textural analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 24-21:4137-4160.