

Artículo invitado

Las ciencias de suelo en el siglo 21: enlazando sistema, funciones y planificación

Soil science in the 21st century: connecting system, functions and planning

Lorenz, G.¹

Aceptado en diciembre de 2015

RESUMEN

La Declaración de Suelos de Viena, emitida en el Año Internacional del Suelo (2015), reivindica conceptos tradicionales y presenta enfoques nuevos acerca del suelo, cerrando con una serie de recomendaciones para el futuro. Partiendo de este documento, se revisan los conceptos del suelo como sistema dinámico y complejo y de las funciones y servicios ecosistémicos, en cuanto a desarrollo histórico y significado. Finalmente, se muestra, a través de la planificación territorial, cómo se enlazan e integran los conceptos en este proceso de gestión con el objetivo de armonizar los servicios ambientales con las actividades humanas.

Es en este lugar, dónde hay un gran desafío para la edafología, en sintonía con otras disciplinas, en relación al análisis y gestión de paisaje en su sentido más amplio.

Palabras claves: Sistema suelo; Funciones de suelo; Servicios ecosistémicos; Planificación territorial; Gestión de paisajes; Evaluación de suelos

ABSTRACT

The Vienna Soil Declaration, published in the International Year of Soils (2015), reaffirms traditional concepts and presents new approaches about soil, concluding with a series of recommendations for the future. Starting from this document, concepts of soil as a dynamic and complex system and those of soil functions and ecosystem services are revised respect to historical development and significance. Finally there is shown, for the case of spatial planning, how this concepts interact and integrate with these management process, focused in the harmonization of environmental services and human activities. It is at this point, where soil science is challenged, interacting with other disciplines, respect to the analysis and management of landscapes in the broadest sense.

Keywords: Soil system; Soil functions; Ecosystem services; Spatial planning; Landscape management; Soil evaluation

Introducción

“El suelo importa para humanos y ecosistemas” es el título de la declaración de Viena, cerrando el Año Internacional de Suelos y celebrando a su vez el Día del Suelo, el 7 de diciembre (IUSS, FAO, IAEA 2015). La declaración reivindica conceptos tradicionales, refleja a su vez los nuevos enfoques de la ciencia de suelo y proclama los desafíos que surgen a partir del contexto socio - ambiental actual.

El texto introduce con la afirmación de que los suelos son diversos y dinámicos, evocando dos aspectos esenciales de la edafología moderna, que requieren ser enfatizados, más cuando el mensaje se quiera llevar más allá de la comunidad científica. Seguido, expresa que los suelos proveen diversas funciones y servicios, marcando con ello las nuevas tendencias y visiones que surgen finales del siglo veinte. Continúa aclarando que el suelo es un recurso no renovable y

¹ Profesor de Edafología Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Av. Belgrano (S) 1912, 4200 Santiago del Estero. Argentina. E-Mail: lorenz.guido@gmail.com

que ha sufrido el impacto adverso por humanos desde miles de años, y termina en una serie de recomendaciones en cuanto al recurso suelo, dirigido a diferentes grupos de nuestra sociedad.

En su estilo breve, la declaración invita a profundizar los conceptos e ideas vertidos, destacando algunos hitos en el desarrollo histórico y buscando enlazarlos con los nuevos enfoques en la gestión ambiental. Así, a modo de revisión, visitamos las tres líneas esbozadas.

Los suelos como sistemas dinámicos y complejos

Los suelos son cuerpos naturales dinámicos, esa fue la concepción clave que dio pie a la llamada edafología moderna, iniciada por la escuela rusa de Dokuchaev y sus discípulos (Dokuchaev 1893; Glinka 1927), generando el quiebre con la noción del suelo como material estático o sustrato, que se tenía todavía en los tiempos anteriores. Esta idea de la continua evolución del suelo en el tiempo se conserva hasta hoy como una característica esencial que no falta en las definiciones modernas (AFES 2008; Boulaine 1982; ISSS Working Group RB 1998).

Aunque no explícitamente expresado, el suelo queda comprendido, desde aquellos tiempos de Dokuchaev, como un sistema. Así, Mattson (1930) hace referencia a los diferentes componentes materiales en el suelo, que son transformados bajo las acciones de las diferentes esferas, rasgos sistémicos típicos. Jenny (1941), en su estudio sobre los factores formadores, considera el suelo como un sistema, designándolo como excesivamente complejo y abierto. Con el surgimiento de la teoría de sistemas dinámicos en la mitad del siglo veinte (Bertalanffy 1973), se profundizan las concepciones del suelo como sistema. Boulaine (1982) describe el suelo como un objeto de cuatro dimensiones, afectado por regímenes internos y recibiendo y emitiendo energía y materia, concibiendo el suelo como un sistema abierto. Sin embargo, el mismo autor aclara, que esta visión de un verdadero sistema ya había sido considerada por los fundadores de la edafología moderna.

Ante la pregunta si el suelo no solamente es un sistema, sino un ecosistema, Ponge (2015) repasa por el desarrollo histórico de la concepción de ecosistema. Muestra que el suelo es un ecosistema de acuerdo con la concepción de Tansley (1935), refiriéndose a un sistema que incluye el complejo de organismos y factores físicos en el ambiente de un bioma, pero no según las ideas de Odum (1953), por la falta de cumplimiento del criterio de independencia en relación a la entrada de energía. Rescata el concepto de los niveles jerárquicos del universo, introducido por Köstler (1969), pero abandona su rigidez, sugiriendo que la anidación puede ser netamente funcional, no jerárquica, dejando lugar para los aspectos de inestabilidad y reversibilidad, atravesando diferentes escalas. Concluye que el suelo sí es un ecosistema, anidado en otros y anidando a otros, de modo no jerárquico. Considera muy importante la visión del suelo como ecosistema, tanto para la ciencia como para la gestión del suelo, para asegurar la supervivencia de la humanidad.

Con la idea de llegar a una mayor comprensión del edafosistema, Lin (2011) revisa los diversos modelos para describir los cambios en suelos y la edafogénesis. Dice que

“Los suelos son, esencialmente, disipativos, de auto-organización y en desarrollo, lo que sugiere que (i) la conservación de energía y masa y (ii) la acumulación de estructura e información actúan simultáneamente en la formación y evolución del suelo.”

Establece tres principios, (i) el de conservación y evolución, (ii) de disipación y organización y (iii) de espacio y tiempo, fuertemente apoyados en los conceptos de sistemas y en la termodinámica, específicamente de no equilibrios. Así, se logran fundamentar propiedades edáficas tan disímiles como estructura, a la par de la matriz, o procesos rápidos que tienen

dinámicas en escalas biológicas, a diferencia de procesos lentos que producen cambios en tiempos geológicos.

Partiendo de este trabajo, Lin (2014) proclama la necesidad de adoptar nuevas formas de pensamiento, adoptando la idea de suelos como sistemas complejos, semivivos. Declara una nueva cosmovisión que emerge, para la llamada “*edad de la sustentabilidad*”, después de la visión Newtoniana (“*edad de la máquina*”) y la Darwiniana (“*edad del ambiente*”), que integra unidades vivas y no-vivas tanto como el espacio y el tiempo, basándose en la naturaleza de conservación y evolución, la interrelación entre organización interna y función, el sistema entre extremos y los impactos antropogénicos. Ilustra el suelo como puente entre sistemas bióticos y abióticos, con muchas características únicas para la vida, con la co-evolución de procesos lentos y rápidos. Ve necesario una nueva visión desde la física, que atiende la complejidad organizada de suelo y ecosistemas. Apoya sus demandas con la gran importancia del suelo, detallando los roles o servicios que desempeñan los suelos en el ambiente y la necesidad de generar sistemas sustentables en el futuro.

Desde el punto de vista de la biología, Lavelle *et al.* (2006) muestra el suelo como un sistema de autoorganización, en el cual diferentes asociaciones de organismos actúan a diferentes escalas, partiendo de las bio-películas microbianas y terminando a nivel de paisaje, donde se ensamblan diferentes ecosistemas. Destaca el rol de los vertebrados, a quien los llama “ingenieros del sistema”, actuando en la ingeniería física, química y biológica del suelo. Muestra cómo, desde una escala intermedia de centímetros a decímetros, se condicionan servicios ecosistémicos que se manifiestan a escalas de paisaje.

Este rol de la biota y su diversidad en el sistema suelo ha encontrado cada vez más reconocimiento. Así, se publica el Atlas Europeo de la Biodiversidad del Suelo (Jeffery *et al.* 2010), dando a conocer los distintos grupos de organismos, enfatizando siempre su papel que juegan en procesos y funciones a nivel del suelo y su relación con servicios ambientales. La Carta de Suelos (FAO 2015) sostiene como argumento fuerte, que “*Esta biodiversidad tiene una función fundamental en el respaldo a las funciones del suelo y, por tanto, a los bienes y servicios ecosistémicos asociados con los suelos*”. Consistente con esta revaloración de la biodiversidad edáfica, Orgiazzi *et al.* (2016) tratan de identificar las mayores amenazas a la misma. Considera tres componentes en cuanto a la biodiversidad: los microorganismos, la fauna del suelo y las funciones biológicas del suelo. Identifican trece diferentes amenazas, entre las cuales la explotación agrícola intensiva y la merma de materia orgánica del suelo representan las principales, mientras que p.ej. la salinización, la erosión y el cambio de uso de la tierra poseen un potencial más bajo. Los estudios mencionados muestran la importancia del componente biótico del edafosistema y abren nuevas estrategias de protección de la edafosfera y su funcionalidad, desde la perspectiva de salvaguardar la biodiversidad del suelo.

Resumiendo, en los trabajos citados se expresa, que el suelo es un sistema complejo, entre el mundo biótico y abiótico, o semi-vivo, que el enfoque de sistema es necesario para una mayor comprensión que demanda una continua evolución de nuestra visión del suelo y el mundo. Para la finalidad de un mejor entendimiento, modelado y gestión de los sistemas complejos de nuestro ambiente, se plantea como argumento de base la importancia del funcionamiento de los sistemas para los llamados servicios ecosistémicos.

Funciones y servicios de suelos

En la Declaración de Viena (IUSS, FAO, IAEA 2015) se destaca:

“Los suelos del mundo, extremadamente distintos y dinámicos, proporcionan numerosas funciones y servicios que requieren los seres humanos y son esenciales en la mayoría de los aspectos de nuestras vidas.”

Si bien el detalle de la declaración presenta las funciones y servicios en una forma no muy sistemática, según mi criterio, ni lo suficientemente global en cuanto a ciertos aspectos, lo esencial es la toma de una postura, una argumentación, en favor de la defensa de los suelos, con la sociedad como destinatario. El argumento es predominantemente antropocéntrico, propio del concepto de servicios, pero incluye también aspectos más ecocéntricos, como

“El Suelo es la piedra angular del medio ambiente y la base para la vida de microorganismos, plantas y animales.”

También, al mencionar y diferenciar, a la vez, las funciones a la par de los servicios, donde funciones se refieren más bien al funcionamiento del sistema y servicio al beneficio que derivan de este para el humano (Costanza *et al.* 1997)², abandona un enfoque netamente utilitario, convocando a una apreciación y protección del suelo por sí mismo. No obstante, en todo ello queda siempre el dejo de una visión antropocéntrica, siempre cuando “algo” se protege por sí mismo, porque en el trasfondo, puede estar el motivo de ser cauteloso en cuanto a utilidades, para el humano, no descubiertas.

Las funciones y servicios conforman entonces el aspecto central de la Declaración de Viena (IUSS, FAO, IAEA 2015), porque representan el argumento para su protección, llevando a la necesidad de generar políticas de gestión por un lado y de lograr una mayor comprensión sistémica. De la misma manera, la Carta de Suelos (FAO 2015) expresa que

“Los suelos son un recurso clave que abre posibilidades, fundamental para generar multitud de bienes y servicios esenciales para los ecosistemas y el bienestar humano”,

dando lugar a una serie de “directrices para la acción”, dirigidas a los diferentes estamentos de la sociedad.

Cómo se llegó a estas concepciones modernas y cuáles han sido algunas de las implicancias más importantes en cuanto a la ciencia del suelo, se bosqueja en los siguientes apartados.

Desde el año 1936, cuando se firma el primer Acta de Conservación del Suelo en Estados Unidos (United States Congress 1936), se reconoce que los suelos son un recurso limitado y que deberían ser manejados responsablemente. El presidente Roosevelt, que expresó en esta oportunidad *“The history of every Nation is eventually written in the way in which it cares for its soil”* (Roosevelt 1936), una afirmación sensata que se ve revalidada en las declaraciones más recientes de carácter internacional, mencionadas arriba.

De aquellos tiempos datan los primeros sistemas de evaluación de tierras, nada más con un corte netamente productivo, estrecho, enfocado en la utilidad del suelo para la producción agropecuaria y forestal (FAO 1976; Klingebiel y Montgomery 1961).

En cuanto a la percepción de la funcionalidad del suelo, se observa un cambio de paradigma, pasando de esta visión estrecha, hacia una enfoque holístico de cumplir diversas funciones respecto al medio ambiente, en los años 70 del siglo 20. Empieza en la escuela alemana, con los trabajos *“Los suelos amortiguan efectos ambientales”* (Schlichting 1972) y *“Las funciones de suelos en la ecosfera”* (Schlichting 1978), sobre las múltiples funciones de los suelos en el ambiente. De la misma escuela, su colaborador, edita un libro sobre la protección de suelos, presentando cada una de las funciones de los suelos conceptualmente (Blume 1990), para comprender su rol en el ambiente. Las funciones declaradas, de acuerdo con estos primeros trabajos, se presentan en cuadro 1.

² “Ecosystem functions refer variously to the habitat, biological or system properties or processes of ecosystems. Ecosystem goods (such as food) and services (such as waste assimilation) represent the benefits human populations derive, directly or indirectly, from ecosystem functions.” (Costanza *et al.* 1997)

Tabla 1. Las principales funciones de suelos (Blume 1990; Schlichting 1972, 1978, 1986)

- la función biológica, de factor de sitio de la vegetación y hábitat de organismos,
- la función de regulador, especialmente del balance de agua del paisaje;
- la función de ser fuentes de materiales;
- la función de filtro, buffer y transformador;
- la función de archivo de la historia natural y cultural;
- la función de área para actividades antrópicas de construcción, recreación, deposición,

En la escuela norteamericana, la idea de la funcionalidad también se redefine en el concepto de *calidad de suelos*, como

“la capacidad del suelo de funcionar, dentro de los límites de ecosistemas naturales o manejados.”

En los trabajos de Doran *et al.* (1994), se desarrolla el marco teórico, y en Doran y Jones (1996) los aspectos metodológicos en relación al tema. Adoptado por la Soil Science Society of America (1995), ésta le da un fuerte desarrollo en la investigación y la difusión, confiriéndoles una amplia acepción a los términos “calidad del suelo” e “indicadores de calidad”, con su trasfondo conceptual.

Fines del siglo 20 y comienzos del siglo 21, se empiezan a generar leyes (Comisión de las Comunidades Europeas 2006; Federal Soil Protection Act 1998) que adoptan los conceptos de las funciones del suelo. La incorporación de estas ideas en el marco legal de países fue un elemento muy importante en el desarrollo de los conceptos y métodos de evaluación de las funciones de suelos.

Después de una primera introducción de los conceptos en una ley de protección de suelos de una provincia alemana en el año 1991, la legislación nacional de Alemania incorpora las ideas de la funcionalidad de suelos en el *Federal Soil Protection Act of Germany* (Federal Soil Protection Act 1998), con las siguientes definiciones:

...en el sentido de la presente ley, los suelos desempeñan

1. funciones naturales como
 - a) base de vida y hábitat para humanos, animales, plantas y organismos del suelo;
 - b) parte de los ciclos naturales, especialmente de los de agua y nutrientes;
 - c) medio de filtro, buffer y transformador.
2. función de archivo de la historia natural y cultural;
3. funciones de uso como
 - a) fuente de materiales primarios;
 - b) área para colonización y recreación;
 - c) sitio para el uso agrícola y forestal;
 - d) sitio para otros usos económicos y públicos, tránsito, abastecimiento y eliminación de desechos;

Más tarde, el marco legal de Europa adopta estas ideas en la propuesta de la *Estrategia temática para la protección de suelos* (Comisión de las Comunidades Europeas 2006), en la cual proclama:

“La presente Directiva establece un marco para la protección del suelo y la preservación de su capacidad para realizar cualquiera de las siguientes funciones ambientales, económicas, sociales y culturales:

- a) producción de biomasa, incluyendo la agricultura y la silvicultura;
- b) almacenamiento, filtrado y transformación de nutrientes, sustancias y agua;
- c) reserva de la biodiversidad, como hábitats, especies y genes;
- d) entorno físico y cultural para las personas y las actividades humanas;
- e) fuente de materias primas;
- f) reserva de carbono;
- g) archivo del patrimonio geológico y arqueológico.”

A la par, se señalan ocho amenazas principales del suelo: la erosión, la pérdida de materia orgánica, la contaminación, la salinización, la compactación, la pérdida de la biodiversidad del suelo, el sellado, los deslizamientos de tierras y las inundaciones.

Un aspecto no menor de esta obra, al ser documento de la Comisión Europea, es la traducción a diferentes idiomas (15, para el documento citado), lo que facilita tanto la homologación terminológica y conceptual como la difusión. Curiosamente esta propuesta nunca fue aprobada realmente en el Consejo Europeo, sino quedó con tramitación pendiente, por lo cual, en una especie de digesto administrativo (REFIT Comisión Europea 2014), la Comisión Europea procede en el retiro de la propuesta, en el año 2013³.

No obstante, la idea de generar esta Estrategia, que surgió en el *Sexto Programa de Acción Comunitario en Materia de Medio Ambiente* (Comunidad Europea 2002), encontró tempranamente su mención y tratamiento en el ámbito científico (Blum 2003; Blum *et al.* 2004). Así, más allá del contenido mismo o de su aprobación o no, lo más importante de la propuesta de este marco legal europeo ha sido su efecto de disparador y de retroalimentación para diversos ámbitos, como la ciencia, la legislación y la planificación territorial, fomentando a su vez la transdisciplinariedad entre ellos, porque el objetivo de proteger una edafosfera multifuncional exige (i) métodos de medición y monitoreo de las diversas funciones del suelo, junto con la definición de umbrales tolerables (ciencia, legislación), y (ii) estrategias y pautas para la ejecución de las medidas de protección a nivel de paisaje (ciencia, legislación, planeamiento territorial).

Consistente con el avance de los conceptos en la ciencia y viendo su utilidad para la gestión del suelo, el sistema de clasificación internacional, la “Base Referencial del Recurso Suelo” (ISSS Working Group RB 1998), adopta una definición del suelo que destaca el aspecto de la estructura del suelo, comparándola con la anatomía de un ser vivo. A través de esta analogía, pero sin decirlo explícitamente, se hace hincapié en la interrelación entre estructura y función de un sistema. Esgrima como un enfoque principal de “expandir el uso del sistema de una base agropecuaria a una medio-ambiental”. En este contexto, se retoma también la idea de presentar la edafosfera como “piel de la tierra”, en una versión posterior del sistema de clasificación (IUSS Working Group WRB 2006), comparando la funcionalidad / importancia de la piel de un organismo biológico vivo con la de la edafosfera.

³ Está pendiente una petición (PROTEGGILSUOLO 2014) en la cual se solicita que se mantenga y mejore la Estrategia, presentada a través de una moción parlamentaria en el Senado de Italia, que en aquel momento presidía el Consejo Europeo.

En cuanto a la terminología respecto al tema funciones y servicios, se menciona la introducción del término “servicios de la naturaleza” (Holdren y Ehrlich 1974) y “servicios ecosistémicos” (Daily 1997; Daily *et al.* 1997; P. Ehrlich y Mooney 1983), con la especificación concreta de estos servicios por el suelo por Daily (1997). Junto con este léxico hay que tomar nota del enfoque antropocéntrico y el intento de la valoración del servicio, de modo directo o indirecto (Costanza *et al.* 1997; Daily 1997; P. Ehrlich y Mooney 1983). El término “servicios ecosistémicos” es la acepción que usa finalmente el “Ecosystem Millenium Assessment” (Millennium Ecosystem Assessment 2005), lo que promueve la aplicación del mismo.

A cambio, el término “función de paisaje (o suelo)” oscila entre una acepción más general, neutra (no antropocéntrica), refiriéndose más bien al funcionamiento del sistema, y hasta sinónimo de servicios ecosistémicos. Su uso ha sido ambiguo, y su interpretación se desprende por el uso contextual, los tiempos de publicación y el contexto geográfico, cultural y científico. En términos generales, en Europa, y específicamente antes del año 2005, se usa más frecuentemente el término “funciones” (con interpretación amplia), mientras que en el continente americano, se habla más de “servicios ecosistémicos”. Finalmente, en los años posteriores a la publicación del Millennium Ecosystem Assessment (2005) se emplea cada vez más el término “servicios ecosistémicos”, en lugar de “funciones”, y en los más recientes documentos, se empieza a diferenciar mejor entre funciones y servicios, siendo las primeras interpretadas hacia procesos y funcionamiento, mientras que los servicios enfocan más el beneficio de una función o característica, típicamente con un sesgo antropocéntrico (Costanza *et al.* 1997; Daily 1997). Una revisión de los conceptos y términos presenta Bastian *et al.* (2010).

En síntesis, la incorporación de las funciones y servicios en la definición del suelo enfatiza la importancia del mismo y evoca automáticamente la necesidad de su protección. Tanto marcos legales (Comisión de las Comunidades Europeas 2006; Federal Soil Protection Act 1998) como las recientes declaraciones (FAO 2015; IUSS, FAO, IAEA 2015) parten de los principios de los suelos como entidades multifuncionales, para basar sobre ellos las recomendaciones para las acciones.

La ciencia de suelos y su inserción en la planificación

A modo de cierre, quisiera tomar como punto de partida la primera de las cinco recomendaciones de la Declaración de Viena (IUSS, FAO, IAEA 2015):

“Las relaciones entre las actividades humanas y los suelos y sus efectos sobre otros componentes del ambiente, en particular sobre el paisaje, deberían ser un aspecto importante de la Ciencia del suelo en colaboración con las ciencias afines, pero también con disciplinas sociales, jurídicas, económicas y culturales.”

Se pronuncian ahí desafíos y aspectos, que sin lugar a duda convergen en la planificación y gestión ambiental. La planificación espacial tiene como objeto el paisaje y el objetivo de compatibilizar las acciones humanas con la funcionalidad del ambiente, minimizando los impactos negativos.

En cuanto a ciencias, es en primer lugar la ecología de paisaje, que se concibe como multidisciplinar, que atiende el aspecto multifuncional del paisaje (Naveh 2000, 2001) y que típicamente se conecta con el ámbito de planificación, llegando a ser transdisciplinario (Moss 2000). Naveh y Carmel (2002) consideran la visión del paisaje como sistemas de complejidad organizada como esencial para mejorar la modelización y planificación del ambiente, igual que Lin (2014), a nivel de suelo. Kempenaar *et al.* (2016) destacan la importancia del diseñar del paisaje como elemento en la planificación y analizan su contribución respecto a contenido y

proceso de la misma. - La ciencia de suelo debería encontrar su lugar entre estas disciplinas e interrelacionarse en el estudio de paisajes.

Una interacción fructífera entre ciencia, planificación y legislación en cuanto al recurso suelo se pudo observar en Europa durante las últimas tres décadas, en torno a la evaluación funcional y gestión de los suelos urbanos. Un ejemplar de gestión ambiental, específicamente también a nivel de suelos, es para mí el Atlas Ambiental de Berlín (Senate Department for Urban Development Berlin (ed.) 2016), por su concepción, su transparencia y su continuidad en el tiempo. Fue iniciado en el año 1983, por el Senado de la ciudad, con dos objetivos principales: (i) de preparar y proveer información espacial para ser usada como base de planificación a un nivel superior y (ii) de dar acceso público a la información sobre el estado del ambiente. En cuanto al recurso suelo, evalúa las funciones ambientales del suelo y formula, en base a ello, directrices de planificación (Gerstenberg y Planungsgruppe Cassens + Siewert 2015; Gerstenberg *et al.* 2007), orientado a lo estipulado en la ley de protección de suelos (Federal Soil Protection Act 1998).

Fue esta ley, el *Federal Soil Protection Act of Germany*, que no sólo adoptó el concepto de las funciones de suelos, sino estableció también necesidades de investigación, procedimientos de muestreo, estándares de análisis y umbrales en cuanto a niveles de contaminación. A partir de ahí, se elaboraron un instructivo respecto a muestreo y métodos analíticos (BAM 2001), y diferentes catálogos de métodos de evaluación funcional de suelos (Ad-hoc-AG Boden (2007), Hochfeld *et al.* (2003) y Lambrecht *et al.* (2003)). Los compendios de Hochfeld *et al.* (2003) y Ad-hoc-AG Boden (2007) presentan y evalúan los métodos, diferenciando los criterios y parámetros usados, los principios, aplicabilidad, demanda de información, escala de aplicación y calidad del método. Comparan un total de 61 (73 p/ Ad-hoc-AG Boden), para 13 (17) funciones parciales, de 4 (5) funciones principales, tomando la categorización y nomenclatura de las funciones como las establece la mencionada ley.

Otro proyecto internacional entre municipios, provincias y universidades de diferentes países del espacio alpino, dedicado a la elaboración de estrategias de evaluación y gestión de suelos urbanos en el marco de la planificación territorial fue el *Technique of urban soil evaluation in city regions - implementation in planning procedures* (TUSEC-IP 2006). En relación a este proyecto, Lehmann (2010) y Lehmann y Stahr (2007, 2010) presentan ideas conceptuales acerca de la importancia de la consideración de suelos en la planificación urbana. A su vez, elaboran una guía metodológica bilingüe, para la evaluación funcional de suelos urbanos y rurales (Lehmann *et al.* 2013). Resultados y experiencias de la aplicación de estas metodologías presenta Tusch *et al.* (2007), para la ciudad de Munich.

Del mismo marco de proyecto, pero desarrollado en Italia, Vrščaj *et al.* (2008) muestran el uso de la evaluación funcional mediante el uso de indicadores de calidad del suelo, en procesos de planificación urbana. En un enfoque específico, Poggio *et al.* (2008) se dedican a la evaluación y gestión de suelos urbanos contaminados con metales pesados.

Los ejemplos presentados reflejan enfoques modernos de planificación y gestión ambiental, basados en la concepción holística de las funciones del suelo. A su vez, todos los trabajos, mencionados se relacionan con programas reales de gestión de ciudades europeas.

Conclusiones / Cierre

La visión del suelo como sistema complejo y dinámico sigue siendo un desafío vigente para la ciencia, que es necesario tener en cuenta y profundizar para lograr una comprensión adecuada, permitiendo mejorar la gestión de nuestro ambiente. Las ideas de las funciones y servicios amplían los enfoques de investigación y de evaluación y gestión del recurso suelo. Mientras que la importancia de los servicios ecosistémicos justifican las metas de protección de

suelos o recursos naturales, es la planificación territorial que representa la metodología para armonizar las acciones humanas con los criterios de funcionalidad y sustentabilidad. Es uno de los desafíos grandes para la ciencia de suelo, dar las bases científicas, integrarse e interactuar con otras disciplinas, en estos procesos de gestión ambiental.

Referencias bibliográficas

- AFES 2008. "Référentiel pédologique". Collection Savoir-faire. Versailles Cedex: Association française pour l'étude du sol (Afes), Quae. 405 p.
- BAM 2001. "Exigencias para la toma de muestras, el manejo de muestras y los métodos químicos de investigación y análisis para propiedades federales (EPTMyMIA)". Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). Berlin, Germany.
- Bastian, O., K. Grunewald y D. Haase 2010. "Linking ecosystem functions and ecosystem services". *En*: Salzau Conference on Solutions for Sustaining Natural Capital and Ecosystem Services. Kiel.
- Bertalanffy, L. v. 1973. "General system theory". New York: George Braziller.
- Blum, W. 2003. "European Soil Protection Strategy". *En*: J. Soils & Sediments 3, pág. 242.
- Blum, W.; J. Büsing y L. Montanarella 2004. "Research needs in support of the European thematic strategy for soil protection". *In*: Trends in Analytical Chemistry 23, págs. 680-685.
- Blume, H., ed. 1990. "Handbuch des Bodenschutzes". Landsberg: Ecomed-Verlag, 686 p.
- Boulaine, J. 1982. "Remarque sur quelques notions élémentaires de la pédologie. 1. Pédon, Profil et Sol. 2. Les Horizons. 3. La variabilité latérale des sols." *In*: Cahiers ORSTOM, Série Pédologique 19, págs. 29-41.
- Comisión de las Comunidades Europeas 2006. "Estrategia temática para la protección del suelo". Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de la Regiones (COM (2006) 231 final). Bruselas: Unión Europea.
- Comisión Europea 2014. "REFIT: para una legislación europea más ligera, sencilla y barata". Disponible en: <http://ec.europa.eu/smart-regulation/refit/index%5C_es.htm> [fecha de consulta: 27 diciembre 2014].
- Comunidad Europea 2002. "Decisión N° 1600/2002/CE del Parlamento Europeo del Consejo de 22 de julio de 2002 por la que se establece el Sexto Programa de Acción Comunitario en Materia de Medio Ambiente". *En*: Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 242.
- Costanza, R., R. d'Arge; R. de Groot; S. Farber, M. Grasso; B. Hannon; S. Naeem; K. Limburg; J. Pardo; R. O'Neill; R. Raskin; P. Sutton y M. van den Belt 1997. "The value of the world's ecosystem services and natural capital". *Nature* 387: 253-260.
- Daily, G. C., ed. 1997. "Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems". Washington: Island Press. 392 p.
- Daily, G. C.; S. Alexander; P. R. Ehrlich; L. Goulder; J. Lubchenco; P. A. Matson; H. A. Mooney; S. Postel; S. H. Schneider; D. Tilman y G. M. Woodwell 1997. "Ecosystem Services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems". *Issues in Ecology* 2: 1-18.
- Dokuchaev, V. 1893. "The Russian steppes and study of soil in Russia, its past and present" (Crawford, J.M. (ed.), traducción al inglés). St. Petersburg, Russia: Dep. of Agriculture, Ministry of Crown Domains.
- Doran, J.; D. Coleman; D. Bezdiek y B. Stewart, eds. 1994. "Defining soil quality for a sustainable environment". SSSA Special Publication 35. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, Inc. 244 p.
- Doran, J. y A. Jones, eds. 1996. "Methods for assessing soil quality". SSSA Special Publication 49. Madison, WI, USA: Soil Science Society of America. 410 p.

- Ehrlich, P. y H. Mooney 1983. "Extinction, substitution, and ecosystem services. *BioScience* 33(4): 248-254.
- FAO 1976. "A framework for land evaluation". *FAO Soils Bulletin* 32. Rome: FAO.
- _____. 2015. "Carta mundial de los suelos". Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Federal Soil Protection Act 1998. "Section 1. Act on protection against harmful changes to soil and on rehabilitation of contaminated sites (Federal Soil Protection Act - BBodSchG)". *Federal Law Gazette I*, p. 502, Bonn, Germany.
- Gerstenberg, J. y Planungsgruppe Cassens + Siewert 2015. "Planungshinweise zum Bodenschutz Leitbild und Maßnahmenkatalog für den vorsorgenden Bodenschutz in Berlin [Catalogue of models and measures for precautionary soil protection in Berlin]". Inf. téc. Berlin: on behalf of the Senate Department for Health, Environment y Consumer Production.
- Gerstenberg, J.; W. Siewert y U. Smettan 2007. "Catalogue of models and measures for professional soil protection in Berlin". Inf. téc. Berlin: on behalf of the Senate Department for Health, Environment y Consumer Production.
- Glinka, K. 1927. "Dokuchaiev's ideas in the development of pedology and cognate sciences". *Russian Pedology*. Leningrad, Russia: Invest. I. Acad. Sci. USSR, Leningrad, pág. 32.
- Ad-hoc-AG Boden 2007. "Methodenkatalog zur Bewertung natürlicher Bodenfunktionen, der Archivfunktion des Bodens, der Gefahr der Entstehung schädlicher Bodenveränderungen sowie der Nutzungsfunktion "Rohstofflagerstätte" nach BBodSchG sowie der Empfindlichkeit des Bodens gegenüber Erosion und Verdichtung". Inf. téc. Hannover: Ad-hoc-AG Boden der Staatlichen Geologischen Dienstes und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- Hochfeld, B.; A. Gröngröft y G. Miehlich 2003. "Grossmassstäbige Bodenfunktionsbewertung für Hamburger Böden. Verfahrensbeschreibung und Begründung". Inf. téc. Hamburg, Germany: Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg.
- Holdren y Ehrlich 1974. "Human population and the global environment". *American Scientist* 62: 282-292.
- ISSS Working Group RB 1998. "World Reference Base for Soil Resources". *World Soil Resources Reports* 84. Rome: FAO, ISRIC, ISSS. 88 p.
- IUSS, FAO, IAEA 2015. "Declaración del Suelo de Viena: El Suelo importa para los seres humanos y los ecosistemas". Union of Soil Science (IUSS), Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), International Atomic Energy Agency (IAEA).
- IUSS Working Group WRB 2006. "World reference base for soil resources 2006". 2.^a ed. *World Soil Resources Reports* 103. Rome: FAO. 128 p.
- Jeffery, S.; C. Gardi; A. Jones Miko; K. Ritz y G. Peres, eds. 2010. "European Atlas of Soil Biodiversity. Luxembourg: European Commission, Publications Office of the European Union. 128 p.
- Jenny, H. 1941. "Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. copy as pdf file (public domain) from the 1994 Dover Edition. New York: McGraw-Hill.
- Kempenaar, A.; J. Westerink; M. van Lierop; M. Brinkhuijsen y A. van den Brink 2016. "Design makes you understand - Mapping the contributions of designing to regional planning and development. *Landscape and Urban Planning* 149: 20-30.
- Klingebiel, A. y P. Montgomery 1961. "Land capability classification". *USDA Agricultural Handbook* 210. Washington, D.C., USA: US Government Printing Office, pág. 21.
- Köstler, A. 1969. "Beyond atomism and holism - the concept of the holon". *Beyond reductionism: New perspectives in the life sciences*. Ed. por A. Köstler y J. Smithies. London: Hutchinson, págs. 192-216.
- Lambrecht, H.; A. Rohr; K. Kruse y J. Angersbach 2003. "Zusammenfassung und Strukturierung von relevanten Methoden und Verfahren zur Klassifikation von Bodenfunktionen für

Planungs- und Zulas- sungsverfahren mit dem Ziel der Vergleichbarkeit”. Endbericht. Hannover: Planungsgruppe Ökologie + Umwelt GmbH, im Auftrag der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO).

- Lavelle, P.; T. Decaëns; M. Aubert; S. Barot; M. Blouin; F. Bureau; P. Margerie; P. Mora y J. P. Rossi 2006. “Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology* 42, S3-S15.
- Lehmann, A. 2010. “Evaluation and importance of soil functions in cities considering infiltration and climatic regulation”. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Vol. Published on DVD. Brisbane, Australia.
- Lehmann, A.; S. David y K. Stahr 2013. “TUSEC - Bilingual-Edition: Eine Methode zur Bewertung natürlicher und anthropogener Böden (Deutsche Fassung). Technique for soil evaluation and categorization for natural and anthropogenic soils (English version)”. 2^a ed. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte 86. Universität Hohenheim.
- Lehmann, A. y K. Stahr 2007. “Nature and significance of anthropogenic urban Soils”. *J. Soils Sediments* 7 (4): 247-260.
- _____ 2010. “The potential of soil functions and planner-oriented soil evaluation to achieve sustainable land use”. *Journal of Soils and Sediments* 10(6): 1092-1102.
- Lin, H. 2011. “Three Principles of Soil Change and Pedogenesis in Time and Space”. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75, págs. 2049-2070.
- _____ 2014. “A New Worldview of Soils”. *Soil Science Society of America Journal* 78.
- Mattson, S. 1930. “The laws of soil colloidal behavior: III Isoelectric precipitates”. *Soil Sci.* 30: 459-495.
- Millennium Ecosystem Assessment 2005. “Ecosystems and Human Well-being: Synthesis”. Washington, DC: Island Press.
- Moss, M. 2000. “Interdisciplinarity, landscape ecology and the ‘Transformation of Agricultural Landscapes’”. *Landscape Ecology* 15: 303-311.
- Naveh, Z. 2000. “What is holistic landscape ecology? A conceptual introduction”. *Landscape and Urban Planning* 50: 7-26.
- _____ 2001. “Ten major premises for a holistic conception of multifunctional landscapes”. *Landscape and Urban Planning* 57: 269-284.
- Naveh, Z. y Y. Carmel 2002. “Landscape complexity versus ecosystem complexity - implication for landscape planning and management”. XII Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia - S.It.E. Atti 00. La Complessità in Ecologia. Urbino, Italia, págs. 35-54.
- Odum, E. 1953. “Fundamentals of ecology”. Philadelphia: Saunders. 384 p.
- Orgiazzi, A.; P. Panagos; Y. Yigini; M. B. Dunbar; C. Gardi; L. Montanarella y C. Ballabio 2016. “A knowledge-based approach to estimating the magnitude and spatial patterns of potential threats to soil biodiversity”. *Science of The Total Environment* 545-546, págs. 11-20.
- Poggio, L.; B. Vrščaj; E. Hepperle; R. Schulín y F. A. Marsan 2008. “Introducing a method of human health risk evaluation for planning and soil quality management of heavy metal-polluted soils - An example from Grugliasco (Italy)”. *Landscape and Urban Planning* 88(2-4). *Soil Monitoring and Evaluation in the Interest of Land Use Planning*, págs. 64-72.
- Ponge, J. 2015. “The soil as an ecosystem”. *Biol Fertil Soils* 51: 645-648.
- PROTEGGILSUOLO 2014. “Last update on the petition: Protect European soils, open a new way to a European Soil Directive”. Disponible en: <<http://www.proteggiamoilsuolo.it/signs.html>> [fecha de consulta: 27 diciembre 2014].
- Roosevelt, F. 1936. “Statement on Signing the Soil Conservation and Domestic Allotment Act., March 1, 1936. The American Presidency Project”. Disponible en: <<http://www.presidency.ucsb.edu/ws/?pid= 15254>>.
- Schlichting, E. 1972. “Böden puffern Umwelteinflüsse ab”. *Umschau in Wissenschaft und Technik* 72: 50-52.

- _____ 1978. "Funktionen von Böden in der Ökosphäre". Daten u. Dokumente z. Umweltschutz 22: 9-12.
- _____ 1986. "Einführung in die Bodenkunde". Hamburg und Berlin: Paul Parey.
- Senate Department for Urban Development Berlin (ed.) 2016. "Berlin Environmental Atlas. Berlin". Disponible en: <<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/>> [fecha de consulta: abril 2016].
- Soil Science Society of America 1995. "Statement on soil quality". Agronomy News June.
- Tansley, A. G. 1935. "The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms". English. Ecology 16(3)
- Tusch, M.; C. Geitner y J. Dittfurth 2007. "Soil as a component of the urban ecosystem. Scopes and Limits of Soil Evaluation in Urban Planning Procedures". Proceedings of Real-CORP 2007, 12th
- International Conference on Urban Planning. Regional Development e Information Society. Wien, págs. 305-314.
- TUSEC-IP 2006. "Technique of urban soil evaluation in city regions - implementation in planning procedures". Disponible en: <<http://www.alpine-space.org/2000-2006/external.html?lin=http://www.tusec-ip.org/>>.
- United States Congress 1936. "Soil Conservation and Domestic Allotment" Act. Public Law 74-461.
- Vrščaj, B.; L. Poggio y F. Ajmone Marsan 2008. "A method for soil environmental quality evaluation for management and planning in urban areas". Landscape and Urban Planning 88: 81-94.

