



El Futuro de la Ciencia del Suelo



International Union of Soil Sciences





El Futuro
de la
Ciencia del Suelo

El Futuro de la Ciencia del Suelo / editado por Alfred E. Hartemink.
IUSS International Union of Soil Science

Traducción de:

Miguel Angel Segura Castruita¹, Griselda Armendáriz Borunda² y Manuel
Fortis Hernández

¹Instituto Tecnológico de Torreón; ²Instituto Tecnológico de Chihuahua II
Torreón, Coahuila. México.

Edición de estilo: Jorge Alvarado López

Revisado por Carlos Alberto Ortiz Solorio

SMCS Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

ISBN 978-607-00-3412-1

*...si mucho miras a un abismo,
el abismo concluirá por mirar dentro de ti*

Friedrich Nietzsche

Beyond Good and Evil, Aphorism 146
German philosopher (1844 - 1900)

Tabla de contenidos

Prologo.....	vii
Anderson, Darwin (Canadá).....	1
Arnalds, Olafur (Islandia).....	4
Arnold, Dick (EU).....	7
Baveye, Philippe (EU).....	10
Bekunda, Mateete (Uganda).....	13
Blum, Winfried (Austria).....	16
Borggaard, Ole (Dinamarca).....	19
Bouma, Johan (Holanda).....	22
Breuning-Madsen, Henrik (Dinamarca).....	25
Burghardt, Wolfgang (Alemania).....	28
Coughlan, Kep (Camboya).....	31
Dobos, Endre (Hungría).....	34
Dumanski, Julian (Canadá).....	37
Eswaran, Hari (EU).....	40
Fowler, Richard (Sud África).....	43
Frossard, Emmanuel (Suiza).....	46
Gachene, C. (Kenia).....	49
Grunwald, Sabine (EU).....	51
Hartemink, Alfred (Holanda).....	54
Hartmann, Christian (Francia).....	57
Ibáñez, Juan José (España).....	60
Kalra, Yash (Canadá).....	63
Kapur, Selim (Turquía).....	66
King, Dominique (Francia).....	68
Kirk, Guy (Reino Unido).....	71
Kirkham, Mary Beth (EU).....	73
Lal, Rattan (EU).....	76
Lin, Henry (EU).....	80
Makeschin, Franz (Alemania).....	84

McBratney, Alex (Australia).....	86
McKenzie, Neil (Australia).....	89
Mermut, Ahmet (Canadá).....	92
Minhas, P.S. (India).....	95
Nieder, Rolf (Alemania).....	97
Noble, Andrew (Malasia).....	101
Nortcliff, Stephen (Reino Unido).....	105
Petersen, Gary (EU).....	108
Pla Sentís, Ildefonso (España).....	110
Powlson, David (Reino Unido).....	113
Rao, D.L.N. (India).....	116
Rashid, Abdul (Pakistán).....	119
Ryan, John (Siria).....	122
Samra, J.S. (India).....	125
Shi, Xuezheng (China).....	128
Sparks, Don (EU).....	131
Swift, Roger (Australia).....	133
Targulian, Victor (Rusia).....	136
Thiombiano, Lamourdia (Ghana).....	139
van Meirvenne, Marc (Bélgica).....	142
Várallyay, György (Hungría).....	145
Weber, Jerzy (Polonia).....	147
Wessolek, Gerd (Alemania).....	150
Yli-Halla, Markku (Finlandia).....	153
Zhang, Fusuo (China).....	155
Zhou, Jianmin (China).....	158
Epilogo.....	161

Prólogo

Para cualquier disciplina científica es bueno mirar atrás y distinguir lo que se ha logrado, cómo se hizo y si algo puede aprenderse del pasado. Sin duda, mirar atrás es una actividad respetable, pero no producirá avances científicos. Si deseas permanecer en un negocio como la ciencia, es más saludable mirar adelante. Los científicos del suelo están intentando mirar atrás, así como adelante. Muchos científicos del suelo no son historiadores profesionales (lo cual no sorprende, la mayoría de los científicos no lo son), de modo que mirar atrás quizás deba dejarse a aquéllos que puedan distinguir tendencias significantes de nociones individuales preconcebidas. Entonces ¿Qué acerca de mirar adelante? Bien, eso es lo que este libro tiene en todas partes.

Los cambios de enfoque en la investigación, la educación terciaria y el apoyo gubernamental para las ciencias han causado una reducción en el número de científicos del suelo y departamentos de ciencia del suelo, pero también están ofreciendo bastantes oportunidades nuevas. Eso ha pasado en muchas partes del mundo, pero no en todas con la misma magnitud. Los cambios no se han detenido; y están más en camino. De tal manera que ignorar estos cambios puede ser imprudente.

En las últimas décadas se han publicado varios documentos sobre el papel y el futuro de la ciencia del suelo en un mundo rápidamente cambiante. Algunos de estos documentos tienen una perspectiva individual sobre un tema específico, un país, la ciencia del suelo o un grupo de científicos del suelo que confrontan un problema. Un breve, pero lejos de completo, análisis de documentos sobre la identidad, consolidación y dirección del futuro de la ciencia del suelo, en diferentes países y aspectos de investigación ambiental y agrícola del suelo, se da enseguida.

Primeramente, en más que unos pocos documentos se pregunta: ¿qué es el suelo? y ¿cómo la identidad de las disciplinas de la ciencia del suelo relacionan a los temas de estudio y las otras ciencias?, incluyendo los aspectos básicos y aplicados de investigación (p. ej. Gardner, 1991; Hudson, 1992; Jacob y Nordt, 1991; Leeper, 1965; Ruellan, 1997; Wild, 1989). Es tradicional la discusión del problema pedología vs. ciencia del suelo, también con relación a la identidad de la ciencia del suelo (Churchward, 1988; Daniels, 1988; Dobrovolskii, 1999; Miller, 1993; Stephens, 1954; Vance, 1988). A partir de 1980, varios documentos han tratado el cambio de enfoque de la ciencia del suelo, de aspectos agrícolas a ambientales más amplios (Gardner, 1993; Greenland, 1991; Hillel, 1993; Menzel, 1991; Tinker, 1985; Warkentin, 1994).

A pesar de la importancia de las fundaciones externas, como resultado del apoyo retirado de los gobiernos, pocos documentos se enfocan sobre las fundaciones de la ciencia del suelo (Mermut y Eswaran, 1997; Satchell, 1992; Sthphens, 2003), aunque las fundaciones y las tendencias futuras se tratan en otros escritos (Bouma, 1997; Hartemink, 2001; Nielsen, 1987; Ruellan *et al.*, 1997). También existen varios ejemplos nacionales, como Rusia (Dobrovolskii, 2001), Nueva Zelanda (Cameron, 1994; Clothier, 2004), Reino Unido (Greenwood, 1993), Holanda (Bouma y Hartemink, 2002), Australia (Gilkes,

2004) y más puntos de vista para estos temas (Lal, 2000; Sánchez, 1994; Theng, 1991).

En los últimos 20 años han surgido sugerencias para un nuevo tipo de científico del suelo (Warkentin, 1999), que sea más holístico (Bridges y Catizzone, 1996), parte de una sociedad de la red (Bouma 2001), con un enfoque engranado hacia el cuidado del suelo (Yaalon, 1996) o en estrecha relación con la sociedad (McCracken, 1987; Simonson, 1991; Yaalon y Arnold, 2000).

Estos documentos se han leído ampliamente (rara vez cuestionados) y contenían, algunas veces, visiones encontradas e ideas sobre el futuro de la ciencia del suelo; otros están seguros en el futuro, considerando que hay quienes presentan una perspectiva bastante negativa. Para actualizar las visiones del futuro de la ciencia del suelo, invité a 98 colegas alrededor del mundo a escribir sus ideas en aproximadamente 1000 palabras. Sentía que se necesitaba un documento que alimentara la discusión de los pesimistas (la pedología está muerta y enterrada) y los optimistas (el futuro de la ciencia del suelo es más luminoso que nunca), y también que produjera aspectos de fondo para analizar en el 18 Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, en Filadelfia, EUA.

Colegas en todos los continentes y con diferentes antecedentes se contactaron; algunos jóvenes, otros viejos, algunos trabajando en ciencias aplicadas al suelo, otros haciendo trabajos más fundamentales. Más de la mitad respondieron y un puñado de contribuciones fue inapropiado. Se tomaron más de 650 mensajes de correo electrónico, algunos cortados y editados para conseguir este libro que da la visión de 55 científicos del suelo de 28 países. Existe un desequilibrio en la distribución geográfica; de algunos países todas las respuestas produjeron visiones publicables sobre el futuro y por el contrario, autores de otros países nunca respondieron o no entregaron su opinión. Esto es lamentable, pero asumimos que éstos tenían cosas más importantes por hacer que reflexionar sobre el futuro de la ciencia del suelo, y que sus visiones ausentes no se pasarían por alto en las otras contribuciones.

Agradezco a todos los autores por sus interesantes contribuciones y la oportuna entrega de sus artículos. Se le agradece al Dr. David Dent, del ISRIC – World Soil Information, por sus correcciones a esta introducción, el epílogo y mis contribuciones (escritas antes de leer a todos los autores).

Confío que este libro cumpla su propósito: ser leído, más pretenciosamente, que estimule algún pensamiento. Con una pizca de suerte este libro alentará ambos y, si no lo hace, intente lo que Rodin propone, pero no mire fijamente por demasiado tiempo.

Alfred Hartemink
Secretario General Adjunto IUSS
Amsterdam-Wageningen, Abril de 2006

Referencias

- Bouma, J. 1997. The role of quantitative approaches in soil science when interacting with stakeholders. *Geoderma* 78: 1-12.
- Bouma, J. 2001. The new role of soil science in a network society. *Soil Science* 166: 874-879.
- Bouma, J. and A.E. Hartemink. 2002. Soil science and society in the Dutch context. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 50: 133-140.
- Bridges, E.M. and M. Catizzone. 1996. Soil science in a holistic framework - Discussion of an improved integrated approach. *Geoderma* 71: 275-287.
- Cameron, K.C. 1994. Metamorphosis of soil science: an exciting future ahead. *New Zealand Soil News*: 176-186.
- Churchward, M. 1988. Whither field pedology. *Australian Soils News* 75: 94-95.
- Clothier, B.E. 2004. Soil science in New Zealand: requiem or renaissance? SuperSoil2004. 3rd Australian New Zealand Soils Conference. University of Sydney, Australia.
- Daniels, R.B. 1988. Pedology, a field or laboratory science? *Soil Science Society of America Journal* 52: 1518-1519.
- Dobrovolskii, G.V. 1999. Modern pedology and its role in science and life. *Eurasian Soil Science* 32: 5-9.
- Dobrovolskii, G.V. 2001. Soil science at the turn of the century: Results and challenges. *Eurasian Soil Science* 34: 115-119.
- Gardner, W.R. 1991. Soil science as a basic science. *Soil Science* 151: 2-6.
- Gardner, W.R. 1993. A call to action. *Soil Science Society of America Journal* 57: 1403-1405.
- Gilkes, R.J. 2004. After more than a century of Australian research, why do we still mismanage our soil and water? SuperSoil 2004. 3rd Australian New Zealand Soils Conference. University of Sydney, Australia.
- Greenland, D.J. 1991. The contributions of soil science to society - past, present, and future. *Soil Science* 151: 19-23.
- Greenwood, D.J. 1993. The changing scene of British soil science. *Journal of Soil Science* 44: 191-207.
- Hartemink, A.E. 2001. Publish or perish (5) Soil science for business. *Bulletin of the International Union of Soil Sciences* 99: 50-59.
- Hillel, D. 1993. Science and the crisis of the environment. *Geoderma* 60: 377-382.
- Hudson, B.D. 1992. The soil survey as paradigm-based science. *Soil Science Society of America Journal* 56: 836-841.
- Jacob, J.S. and L.C. Nordt. 1991. Soil and landscape evolution: a paradigm for pedology. *Soil Science Society of America Journal* 55: 1194.

- Lal, R. 2000. Physical management of soils of the tropics: Priorities for the 21st century. *Soil Science* 165: 191-207.
- Leeper, G.W. 1965. Soil science is a discipline in itself. *Soils and Fertilizers* 2: 99-100.
- McCracken, R.J. 1987. Soils, soil scientists, and civilization. *Soil Science Society of America Journal* 51: 1395-1400.
- Menzel, R.G. 1991. Soil science: the environmental challenge. *Soil Science* 151: 24-29.
- Mermut, A.R. and H. Eswaran. 1997. Opportunities for soil science in a milieu of reduced funds. *Canadian Journal of Soil Science* 77: 1-7.
- Miller, F.P. 1993. Soil science: a scope broader than its identity. *Soil Science Society of America Journal* 57: 299-300.
- Nielsen, D.R. 1987. Emerging frontiers in soil science. *Geoderma* 40: 267-273.
- Ruellan, A. 1997. Some reflections on the scientific basis of soil science. *Eurasian Soil Science (Pochvovedenie)* 30: 347-349.
- Ruellan, A., G.B.M. Heuvelink, R.B. Brown, J. Culley, and R.E. White. 1997. The role of quantitative approaches in soil science when interacting with stakeholders - Discussion. *Geoderma* 78: 13-24.
- Sanchez, P.A. 1994. Tropical soil fertility research: towards the second paradigm, *Transactions 15th World Congress of Soil Science. ISSS. Acapulco*. pp. 65-88.
- Satchell, J. 1992. Take the money - call the tune. *Soil Biology and Biochemistry* 24: 1193-1196.
- Simonson, R.W. 1991. Soil science - Goals for the next 75 years. *Soil Science* 151: 7-18.
- Stephens, C.G. 1954. The scientific and social philosophy of the pedologist. *The Journal of Australian Institute of Agricultural Science* 20: 9-12.
- Stephens, P. 2003. Soil research and funding cuts. *NZ Soil News*: 76-77.
- Theng, B.K.G. 1991. Soil science in the tropics - The next 75 years. *Soil Science* 151: 76-90.
- Tinker, P.B. 1985. Soil science in a changing world. *Journal of Soil Science* 36: 1-8.
- Vance, G.F. 1998. What is a soil scientist? *ASSSI Profile* 113: 10-11.
- Warkentin, B.P. 1994. The discipline of soil science - How should it be organized. *Soil Science Society of America Journal* 58: 267-268.
- Warkentin, B.P. 1999. The return of the "other" soil scientists. *Canadian Journal of Soil Science* 79: 1-4.
- Wild, A. 1989. Soil scientists as members of the scientific community. *Journal of Soil Science* 40: 209-221.
- Yaalon, D.H. 1996. Soil science in transition - Soil awareness and soil care research strategies. *Soil Science* 161: 3-8.
- Yaalon, D.H. and R.W. Arnold. 2000. Attitudes toward soils and their societal relevance: Then and now. *Soil Science* 165: 5-12.



La Ciencia del Suelo a través de lentes de campo

Darwin Anderson

Department of Soil Science, University of Saskatchewan, Saskatoon, SK, S7N 5A8, Canada. e-mail andersd@duke.usask.ca

La invitación para comentar sobre el “Futuro de la Ciencia del Suelo” es una oportunidad para discutir algunas de las tendencias sobre esta ciencia y las posibilidades que han surgido en mi mente y en discusiones con colegas, con el requisito adicional de registrar realmente las palabras en un documento. Bienvenida la oportunidad. Para preparar este documento no he leído (en muchos casos, releído) artículos reflexivos sobre el futuro de nuestra ciencia, ni he consultado algunas estadísticas. Éstos son mis pensamientos y opiniones como pedólogo con más de 40 años de experiencia, condicionado por esa experiencia, pero con una visión al futuro.

Ciertas metáforas o analogías parecen apropiadas, incluyendo tres con el tema de un ‘cristal o lente’. La frase atribuida al Apóstol Pablo “Ahora vemos a través de un lente oscurecido” viene a mi mente, implicando una oscura o imperfecta visión de la realidad. Mi visión está ligada a no ser perfecta, debido a que es personal, con limitaciones basadas en la experiencia, pero con la esperanza de no ser oscura. Otra frase ‘ver el mundo a través de lentes color rosa’ sugiere que la visión puede no ser real, viendo alguna cosa de un mundo de fantasía. Creo que éste no es el caso, aunque es fácil hacer eso. La analogía que es mi preferida es la de los ‘lentes de campo’ o binoculares. Los lentes de campo amplían y acercan los objetos, pero dentro del contexto de una visión amplia del campo, el paisaje. Ellos se enfocan sobre los objetos de interés, como parte del mundo en el cual existen los objetos. Los lentes de campo es la metáfora apropiada en que el tema de mi discusión es que la ciencia del suelo debe permanecer, quizás incluso llegar a ser más que un curso, como una ciencia basada en el estudio real de los suelos en la naturaleza, con todas sus complejidades y misterios relacionados, si continuamos valorándola como una ciencia natural.

El estudio del suelo perdurará tanto tiempo como el suelo y las civilizaciones, que dependen del él, perduren. Las preguntas más grandes podrían ser, ¿la ciencia del suelo todavía será reconocida como una rama de las ciencias naturales? y ¿los científicos del suelo que hoy conocemos estarán haciendo esos estudios? Quizá la ciencia del suelo está reprimida por su propia herencia e historia. Si la ciencia del suelo tiene parientes, ellos son la química y la geología. Los primeros logros fueron en mineralogía, intemperismo, formación de suelos, clasificación de suelos, química de suelos y fertilidad. Hoy en día, como se evidencia en el artículo “Soil: The Final Frontier”, la edición especial de Science (2004), el enfoque está en el suelo y los procesos bióticos, incluyendo a la humanidad.

Artículos científicos bien investigados, expuestos en conferencias recientes, son la raíz de mis preocupaciones. Estos artículos fueron presentados por científicos con experiencia en biología o ecología y tomaron el suelo con una visión renovada, enfocándose principalmente en la vida en el suelo y las conexiones con la biota sobre la Tierra. Para comprenderla, los científicos están explorando la caja negra que el suelo

solía ser. Al involucrar a un pedólogo pueden establecerse estudios más firmes en el siempre grande mundo de los horizontes, los pedones, los paisajes y así sucesivamente. En esencia, estos buenos estudios resultan en informes y discusiones excelentes.

La porosidad del suelo fue el tema de una conferencia reciente en mi universidad. Se definió la porosidad y se realizaron cálculos para relacionarla con la densidad aparente, etc. Lo que se extrañó fue el espacio poroso y las películas de agua en los poros, que son los espacios usados por la vida en el suelo. ¡El espacio poroso es donde está la acción!

Habrán considerables progresos, como los ha habido en décadas recientes, en la aplicación de las más sofisticadas tecnologías para medir o identificar cosas en el suelo. Lo anterior es bien ilustrado por estudios del humus del suelo, donde métodos desarrollados en química y bioquímica están siendo aplicados con gran éxito. La Resonancia Magnética Nuclear (RMN) del estado sólido y varios sincrotrones basados en espectroscopia vienen a mi mente, y muchos otros. Veo estos nuevos métodos en sus primeras etapas de aplicación, donde la elegancia del método ha sido el enfoque. Las nuevas tecnologías producirán frutos cuando los métodos lleguen a ser bien comprobados y la comparación de grupos de suelos relacionados o sus condiciones sea el tema. El progreso se basa en nuevos conocimientos, no en artículos publicados.

Los científicos del suelo están solicitando, cada vez más, participar en los problemas reales, poniendo a la ciencia a trabajar en el desarrollo y regulación de políticas. El manejo de nutrientes y la apertura de nuevas tierras al cultivo son buenos ejemplos de las últimas décadas. El cambio global, y más específicamente, responder a los programas nacionales relacionados con el protocolo de Kyoto, es donde ahora están los retos. Los creadores de la política requieren de mejores estimaciones de emisiones de gases invernadero y captura de carbono, basados en mapas de levantamientos de suelo y datos. Las estimaciones son necesarias, aun cuando la ciencia no las pueda hacer a nuestra satisfacción. Es importante que aquéllos con el mejor conocimiento se involucren o el trabajo lo realizarán otros.

Nosotros, los científicos del suelo, debemos comunicar nuestra ciencia a otros. Si la Tierra y su biota deben ser sostenidas, la gente debe conocer y apreciar a los suelos. Hans Jenny (1984) comentó, en “My Friend, The Soil”, que el lenguaje de los científicos del suelo con frecuencia era un lenguaje extraño para muchos, enfatizando detalles técnicos, usando nuestra propia jerga.

Las funciones elegantes del suelo, lo bello, incluso el misterio y nuestra reverencia por el suelo, por lo general, no son parte de la discusión. Uno de los mejores profesores en ciencia del suelo en mi universidad es descrito por los estudiantes como un ser capaz de retomar un tema aburrido y hacerlo interesante. Un logro considerable, aún si se reflejara una idea negativa acerca del suelo. En el documento ya mencionado, “Soil: The Final Frontier”, McNeill y Winiwarter (2004, p. 1629) escriben “El suelo permanece firmemente en los ecosistemas pero desestimado como los cimientos de la vida humana”. En el futuro, los científicos del suelo deben ir más allá de muchos de nuestros logros técnicos, haciendo al suelo más interesante, más vivo y vital para nosotros mismos, a nuestros estudiantes, la gran comunidad científica y la comunidad en general. Es una tarea intimidadora, pero ante este desafío vale la pena el esfuerzo.

Referencias

Jenny, H. 1984. My friend, the soil. *J. Soil and Water Conservation* 39: 158-161.

McNeill, J.R. and V. Winiwarter. 2004. Breaking the sod: humankind, history and soil. *Science* 304: 1627-1629.



El futuro de la ciencia del suelo

Olafur Arnalds

Agricultural University of Iceland, Faculty of Environmental Sciences, Keldnaholt, 112, Reykjavik, Iceland. e-mail oa@lbhi.is

La civilización humana está profundamente enraizada en el uso del suelo, mientras que la ciencia del suelo es sorprendentemente joven. Empezó hace menos de dos siglos, estrechamente ligada a las ciencias de la geografía, geología y biología. El papel de la ciencia del suelo, como un medio para la producción de alimentos, pronto se volvió el enfoque de la ciencia del suelo, estableciendo uno de los pilares de las ciencias agrícolas, el cual aún se encuentra en pie firme. La ciencia del suelo se incluyó en entidades universitarias, devotas a las ciencias agrícolas, bajo diferentes designaciones. En la Segunda Guerra Mundial, en Europa y muchas otras partes del mundo, incluyendo EUA, la seguridad en la producción de alimentos llegó a ser de una gran influencia en el desarrollo de la ciencia del suelo durante el último siglo. En parte, la ciencia del suelo se integró en la ciencia de la agronomía y cultivo de los suelos. Durante este periodo, se realizaron grandes avances dentro de muchos temas de la ciencia del suelo, como química, física, mineralogía, génesis, conservación y nutrición vegetal, y se alcanzó la seguridad en alimentos en los países industrializados. A través de varias formas de subsidio, al desviar otros recursos nacionales a la agricultura, la producción suficiente de alimentos se aseguró también. Este esfuerzo no aseguró el alimento para todas las personas; en parte, ha tenido un efecto negativo sobre la agricultura de muchos países en vías de desarrollo.

El presente

Actualmente, el rol y el estatus de la ciencia del suelo, como una disciplina, merece una sustancial consideración. Las razones de tal preocupación son el número de estudiantes que se incorporan a la investigación, basados en programas universitarios, está disminuyendo en muchas áreas. Asuntos que requieren del conocimiento de los suelos, en varias ciencias y tareas ambientales, están siendo dirigidos por otros investigadores que no son los científicos del suelo. Un signo negativo en forma de espiral ha aparecido en las universidades, un reducido número de estudiantes con un decreciente número de facultades de ciencia del suelo.

Cuando la producción de alimentos no fue más un problema de seguridad para los países industrializados, los programas de la ciencia del suelo, orientados a los cultivos, fueron lentos para dar respuestas. ¿La ciencia del suelo, como una profesión, ha carecido de dinamismo para ajustarse a los cambios? En parte, por lo menos, la ciencia del suelo fue lenta en adoptar su papel como una ciencia ambiental. Pienso que la ciencia del suelo ha sido un poco golpeada dentro del paradigma agronómico; tal vez esto es comprensible, porque la producción de cultivos es, hasta ahora, la más grande industria en el mundo y uno de los cimientos de la cultura y la sociedad. La ciencia del suelo, sin embargo, a menudo, considera al suelo como una entidad en sí misma, más que como parte de los ecosistemas que proporcionan servicios a la humanidad, como

el ciclo del agua y de los nutrientes, sin mencionar la vegetación. Esto es especialmente verdad cuando se consideran sistemas naturales o semi-naturales usados para pastizales o áreas cubiertas con bosques y selvas.

Vale la pena hacer notar cómo el suelo, como un recurso, es pobremente cuidado al amparo de convenciones internacionales, a pesar de su importancia. La Convención de Cambio sobre Desertificación (CCD) de la ONU está basada en el desarrollo de políticas regionales, en lugar de antecedentes científicos, y se perjudica por problemas conceptuales. Los suelos son extremadamente importantes en el ciclo global del carbono. No obstante, la consideración del suelo, para aparecer en el contexto de la Convención de la Estructura del Cambio Climático (CECC) de la ONU, fue lenta. Los científicos del suelo jugarán un papel importante en el entendimiento del ciclo global del carbono y señalarán mecanismos para reducir los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera, mediante mecanismos de almacenamiento de carbono en los ecosistemas y en la producción de biocombustibles. Sin embargo, la comunidad de la ciencia del suelo necesita incrementar la visibilidad de los suelos en el ambiente internacional y en el contexto político.

El futuro

¿Qué queda en el futuro para la ciencia del suelo? Ha llegado el momento para la ciencia del suelo de madurar, de cortar el cordón umbilical que la ata a la agronomía. La ciencia del suelo merece un lugar como una disciplina académica por sí misma en el sistema universitario. Como tal, puede satisfacer múltiples necesidades, de muchas otras disciplinas, por medio de su conocimiento. Las nuevas fronteras incluyen microbiología y bioquímica, que están generando conocimientos en la biodiversidad, las interacciones suelo planta y el papel de la química en los ecosistemas. Las publicaciones sobre salud humana exponen la necesidad de aumentar su vinculación con el suelo y la geoquímica, mientras que aquellas relacionadas con conservación de suelos y aguas demandan mayor atención en muchas partes del mundo. Con el crecimiento diario de áreas severamente degradadas, la restauración ecológica, tema de las ciencias que hoy día se desarrolla con rapidez, será una disciplina muy importante donde la ciencia del suelo juegue el papel principal. Ésta seguirá siendo necesaria para tratar con los cambios globales y la preservación de la biodiversidad. El futuro demanda una mayor interacción de los científicos del suelo con profesionistas de otras disciplinas para obtener conocimientos más comprensibles de los ecosistemas de la Tierra.

Un aspecto fundamental es que la influencia humana sobre los recursos suelo y agua se incrementará con el crecimiento de la población. Las amenazas son numerosas y bien documentadas e incluyen la pérdida de materia orgánica y de fertilidad, mayor erosión y contaminación por el incremento del desarrollo urbano y disminución de la función productiva del suelo y de servicios como almacenamiento de agua y el ciclo de nutrientes. Aunque, los científicos del suelo tienen bien caracterizados estos problemas, éstos no han conseguido hacer llegar de manera clara el mensaje al público en general y a las administraciones. La salud futura del suelo solicita un mayor compromiso de los científicos del mismo hacia el desarrollo sustentable; nosotros necesitamos valorar tales servicios, tanto como los de un par que revisa publicaciones.

El futuro de la ciencia del suelo abrirá nuevos horizontes de empeño a los científicos, así como también servicios a los habitantes de nuestro planeta Tierra.



El futuro de la ciencia del suelo

Dick Arnold

9311 Coronado Terrace, Fairfax, VA 22031-3835, USA. e-mail cd9311@aol.com

Estamos reconociendo lentamente que la Tierra no entiende de buenas intenciones – ni que no quisimos dañarla, o que prometemos no hacerlo de nuevo. La Tierra registra acciones – el flujo de energía y materiales. Eso es todo.

Hablando acerca del flujo de materiales, ¿has considerado que los átomos de carbono de tu cuerpo son reciclados? ¿dónde estaban ellos antes que en ti? y antes de eso, no se sabe con certeza. Los ciclos biogeoquímicos que están formando nuestro planeta incluyen todas las cosas bióticas y abióticas. Ellos continuaron por muchos eones sin los impactos de la actividad humana, pero eso ya no es así.

La civilización moderna es dependiente de la explotación de los ecosistemas terrestres. La necesidad básica de alimentos, semillas, fibras y combustible ha sido excedida por un insaciable deseo de más y mejores materiales. Este patrón de consumo excesivo ahora penetra las civilizaciones y estamos en la angustia de la “tragedia de los comunes globales”. Esta es una circunstancia provocada por el hombre; comúnmente exacerbada por eventos naturales catastróficos, pero no causada por ellos. Así, el desafío para la civilización es reconciliar las demandas del desarrollo humano con la tolerancia de la naturaleza.

El deseo de una integración sustentable entre la sociedad y los recursos naturales es arriesgado. Los paisajes naturales consisten de componentes integrados intrincadamente, tanto en espacio como en tiempo. A través de la interacción de procesos internos que responden a fuerzas externas, un dinámico cuasi-equilibrio se logra tan rápido como es posible. A esta estabilidad de los ecosistemas naturales la asociamos con su sustentabilidad. La mayoría de los ambientes artificiales han perdido la función equilibrada de los ecosistemas naturales que alguna vez los sostuvo.

La agricultura, el pastoreo y la silvicultura son actividades invasoras y altamente destructivas de los ecosistemas naturales. La capacidad regenerativa de los suelos en condiciones naturales es más lenta que lo requerido por la sociedad moderna. Cuando los suelos se presionan más allá de sus límites, son incapaces de regresar a su anterior estado productivo sin masivas entradas externas. La agricultura continúa siendo la actividad básica vinculada a los sistemas sociales integrados en una red de producción, distribución y consumo. La creación de la agricultura sustentable es un recurso saludable y una relación balanceada entre producción y los sistemas sostenidos.

La ciencia del suelo opera simultáneamente en los dominios de la ecología y la economía, cada una de las cuales señala el tiempo en diferentes relojes. Numerosos aspectos de la ciencia y la sociología son cruciales en la relevancia y el valor de la ciencia del suelo. El papel del suelo puede verse como el de un grupo de intercambio entre las funciones de los suelos, como lo determina la sociedad actual. Si la conservación y el uso racional de los recursos suelo no son lo bastante importantes para la sociedad en las próximas décadas, entonces el intercambio puede conducirnos hacia la “tragedia de los comunes globales”. No obstante, si los intercambios son para

la sustentabilidad terrestre, entonces las oportunidades son valiosas para impartir el conocimiento y la sabiduría de la ciencia del suelo.

¿Cómo aprendemos las cosas?, ¿qué tomamos de las palabras, signos, sonidos, tacto, sabor y sentimientos, hasta hacerlas parte de nosotros? Esto considera las reacciones psicológicas, así como las fisiológicas, y para aprender debemos sintonizarnos con los mensajes y tener ganchos, o nichos, para asirlos. Si entendemos más sobre cómo aprendemos, existen mayores posibilidades para nosotros de aprender a enseñar bien, para que otros puedan aprender.

Tú y yo conocemos que los suelos no son humanos, pero nos gustaría darles algunas características antropogénicas, de vez en cuando.

Hola allí, gente. ¿Sabes quién o qué soy? Soy la geomembrana de la Tierra. Soy su filtro de protección, su amortiguador, su mediador de energía, agua y compuestos biogeoquímicos. Soy su sustento de vida productiva, su última fuente de elementos y el hábitat para la mayoría de los seres vivos. Soy el cimiento que soporta la cuna de tus mitos y el polvo en que te convertirás. Soy el suelo.

Los suelos son tan comunes y se concede que rara vez estamos conscientes de que muchos de sus atributos afectan nuestra vida diaria. Los suelos son sistemas complejos y, como tales, poseen atributos comunes a muchos sistemas, incluyendo las siguientes: resistencia – una habilidad para mantener condiciones actuales, tiempo de residencia – la capacidad para almacenar y liberar compuestos, productividad – la aptitud para el desarrollo y producción de las plantas, elasticidad – recuperación de alteraciones, sensibilidad – la capacidad para mejoras externas, flexibilidad – la multiplicidad de usos relacionados con propiedades, y sustentabilidad – un equilibrio dinámico de interacciones.

Si estamos aprendiendo las cosas bien, podremos estar en una posición de hacer las cosas correctas con ese conocimiento. Sin embargo, el salto del conocimiento a la acción, a veces es grande. Lin Yutang dijo “No tengas miedo de dar un paso grande, si uno está indicado. No puedes cruzar un abismo en dos pequeños saltos”.

Como científicos del suelo tenemos la responsabilidad y la obligación de enseñar a la gente a entender los suelos. En este escrito encontrarás muchas ideas obligadas acerca del futuro de la ciencia del suelo. Necesitamos seguir expresando nuestras interpretaciones de hechos y circunstancias – eso es lo más apropiado por hacer.

Referencias

- Arnold, R.W. 2002. Role of soils in the 21st century. *In*: Lal, R. (ed) Encyclopedia of soil science. Marcel Dekker. New York. p. 1353-1356
- Brown, L.R. 2006. Plan B 2.0: rescuing a planet under stress and a civilization in trouble. WW Norton. New York.

- Gardner, G., E. Assadourian, and R. Sarin. 2004. The state of consumption today. *In*: Worldwatch Institute, State of the World 2004. WW Norton. New York. p. 3-21
- German Advisory Council on Global Change. 1995. World in Transition: the Threat to Soils. 1994 Annual Report; *Economia*. Verlag. Bonn.
- Meadows, D.H., J. Randers, and D.L. Meadows. 2004. Limits to growth: the 30 year update. Chelsea Green Pub. White River Junction, VT.



Una visión para el futuro de la ciencia del suelo

Philippe Baveye

Department of Crop and Soil Sciences, Bradfield Hall, Cornell University, Ithaca, New York 14853, USA. e-mail Philippe.Baveye@Cornell.edu

La ciencia del suelo está en crisis. Cada pocos meses, eso parece, otro departamento de la ciencia del suelo cambia su nombre por uno en el cual la palabra “suelo” ya no aparece. Cada vez más investigadores también están cabildeando para que expresiones, recientemente preparadas, como “hidropedología” o “ciencia de la zona crítica”, reemplacen la, según se alega, denominación pasada de moda, “ciencia del suelo”. Estas tendencias son concomitantes con un decrecimiento agudo en la clientela de muchos programas de ciencias en suelos (Baveye *et al.*, 2006). Los resultados de un estudio a instituciones y estudiantes graduados, llevado a cabo en 1992 y 2004, indican que la matrícula en programas de maestría y doctorado en ciencias del suelo, en universidades de Estados Unidos y Canadá, bajó en promedio alrededor de 40% durante la década pasada. Caídas similares se están manifestando en otros países. En términos de publicaciones, aunque el número de artículos revisados de publicaciones relacionadas el suelo ha crecido exponencialmente en las últimas dos décadas, menos de 15% de estos artículos son autoría de individuos asociados con una unidad de investigación que incluye el término “suelo” o “suelos” en su nombre. Claramente, todas estas estadísticas indican que la ciencia del suelo está perdiendo parte del mercado y visibilidad a un ritmo alarmante.

Si estas tendencias continúan constantes, pronto puede sobrevenir una situación donde publicaciones relacionadas con el suelo serán distribuidas solamente por ingenieros, ecólogos, químicos o físicos, todos ellos bien intencionados, pero carentes de entrenamiento apropiado en ciencia del suelo y, en particular, carentes de una comprensión satisfactoria de la naturaleza compleja de los suelos. Los químicos continuarán aplicando los principios de química y los más sofisticados instrumentos analíticos para los suelos, y otros harán, similarmente, un mirador de su base disciplinaria. Repetirán, principalmente, aquello que por lo menos algunos científicos del suelo usaron hace décadas, cuando el físico de suelos jugó con cuentas de vidrios y los químicos de suelos trabajaron con suelos en “calidad de reactivo”, almacenados por años en pequeños botes en sus laboratorios, y fueron aplicándoles teorías simples desarrolladas para sistemas sencillos más lejanos que los suelos. Sin embargo, los científicos del suelo se han graduado, desde esta perspectiva reduccionista sobre el suelo, y ahora reconocen que todas las publicaciones de suelos tienen aspectos complejos y entretreídos de física, química, biología y mineralogía, los cuales de forma imperativa requieren una *aproximación integradora* y la experiencia simultánea de *todas* las disciplinas fundamentales que sean relevantes. Más temprano que tarde, es probable que los científicos del no suelo, salpicados con problemas de suelos, enfrenten obstáculos insuperables en su trabajo y también quieran, en el futuro, reconocer que es necesaria una aproximación holística. Esta reinención de la ciencia del suelo, si para

entonces nuestra disciplina está virtualmente desaparecida de la pantalla del radar, puede tomar décadas.

Por fortuna, hay avenidas alternas a favor de la ciencia del suelo para tener un futuro brillante en el futuro menos distante. Los análisis de los estudios y entrevistas de estudiantes, graduados con anterioridad, sugieren que una razón clave para el actual declive de graduados en la educación en ciencias del suelo es la insistencia de muchos científicos de suelos, y algunas sociedades escolares, a limitar el alcance de nuestra disciplina a un contexto estrictamente agrícola. El daño inherente de esta perspectiva miope fue enunciado con claridad por Marbut (1921): “Probablemente se ha hecho mucho daño a la ciencia, por el intento casi universal de mirar al suelo sólo como un productor de cultivos, más que como un cuerpo natural digno de todos los estudios que se le pueden dedicar y que muchos hombres realizan. La ciencia se ha retardado, sin duda, en su desarrollo por esta actitud”. Esta aportación se escribió hace más de ochenta años; es la verdad de la vida, en muchos aspectos.

Para ampliar la visión y atracción de nuestra disciplina, más allá de sus confines agrícolas, y para garantizar un futuro brillante, se pueden realizar numerosas cosas prácticas. De hecho, varios individuos están dando pasos en esas direcciones.

Una primer área de acción involucra la educación de los estudiantes en las universidades y, antes que eso, en todas las primeras etapas de su instrucción. Recientemente, algunos de nosotros, en Norte América, empezamos a enseñar a estudiantes, en niveles inferiores, cursos intitulados “Suelos y civilizaciones” o variantes de esto. Estos cursos han sido recibidos con asombroso entusiasmo por el alumnado, incluyendo estudiantes especializados en Bellas Artes o Artes y Ciencias. En estos cursos, los estudiantes se introducen en las conexiones estrechas que históricamente han existido entre el levantamiento y la caída de muchas civilizaciones y, respectivamente, los usos positivos o negativos de los suelos y los recursos de la tierra. A veces, los estudiantes se sorprenden al descubrir que los suelos pueden afectar de manera directa su vida, en muchos sentidos, incluso a través de la producción de los cultivos. El mismo mensaje podría transmitirse a estudiantes más jóvenes, desde el jardín de niños o preescolar.

Además de este esfuerzo educativo, el estudio de muchos temas no agrícolas puede aumentar fuertemente la visión de nuestra disciplina. Enseguida pienso en los temas ambientales. Temas del día, como el calentamiento global y la disponibilidad de suficiente recurso hídrico en el subsuelo, merecen el compromiso de un gran número de científicos del suelo, ya que éste juega un papel clave en estos problemas. Los científicos del suelo también pueden contribuir de manera significativa en otros temas, los cuales pueden abordar, porque otros científicos los abandonaron. Un buen ejemplo es la contaminación de suelos urbanos. La mayoría de la población mundial vive en áreas urbanas y suburbanas, donde la gente está potencialmente expuesta a los contaminantes del suelo y patógenos que pueden llegar a ellos por un amplia gama de sendas, incluyendo la inhalación, ingestión y contacto dérmico, ya sea del suelo, el polvo derivado del suelo que se encuentra en las casas de la gente o los productos desarrollados en el suelo (por ejemplo, en jardines suburbanos).

Otro tema sobre el cual se podrían llevar a cabo muchas investigaciones por parte de los científicos del suelo, es el concerniente al posible vínculo entre el suelo y la

salud humana o animal. El caso de la enfermedad fatal neurodegenerativa parecida a la “scrapie,” en las ovejas, la enfermedad Creutzfeldt-Jacob (**CJD**, por sus siglas en inglés) y la enfermedad chronic wasting (**CWD**) en venados son, en particular, interesantes a este respecto. Investigaciones detalladas sobre scrapie, CJD y CWD en Islandia, Eslovaquia y Colorado, respectivamente, han demostrado que en estas regiones el suelo presenta contenidos significativamente bajos en cobre y altos en manganeso, respecto del promedio, y los investigadores han establecido la hipótesis que este desequilibrio se relaciona de manera estrecha con el combate de estas enfermedades. Rara vez los científicos del suelo se han involucrados en estos estudios, en los que podrían contribuir en forma significativa.

Como un mensaje final, creo que tan pronto como los científicos del suelo inicien la aventura más allá de los rígidos límites que ellos mismos han impuesto a su trabajo en el pasado, la disciplina de la ciencia del suelo prosperará más allá de su estado de hace 30 o 40 años, en el apogeo de su era “agrícola”.

Referencias

- Baveye, P., A.R. Jacobson, S.E. Allaire, J. Tandarich, and R. Brayant. 2006. Whiter goes soil science in the US and Canada? *Soil Science* 171: 501-518.
- Marbut, C.F. 1921. The contribution of soil survey to soil science. *Society for Promotion of Agricultural Science Proceedings* 41:116-142



El manejo de los suelos agrícolas de África: el futuro de la ciencia del suelo

Mateete Bekunda

Makerere University, faculty of Agriculture, P.O. Box 7062, Kampala, Uganda. e-mail mateete@agric.mak.ac.ug

El futuro de la ciencia del suelo en el sub-Sahara africano (antes referido a África) depende de las diferentes características del continente: sus altas concentraciones de agricultores pobres, que usan herramientas ergonómicas pobres para trabajar sus suelos, dominados por una inherente baja fertilidad, en soporte de economías nacionales. En general, estos factores conducen a la degradación del suelo y de África; la necesidad de revertir el agotamiento de la fertilidad del suelo se ha igualado a la necesidad del tipo de germoplasma de la revolución verde en Asia, hace cuatro décadas.

Existen varias opciones tecnológicas que pueden servir para reducir o revertir esta degradación. Éstas incluyen recomendaciones específicas de fertilizantes para mantos o zonas o cultivo, mantener las recomendaciones de fertilizantes, uso de materiales inorgánicos de bajo costo, captura de nutrimentos de la profundidad del suelo, transferencia de biomasa, uso de productos y deshechos agroindustriales, y sistemas basados en la fijación biológica de nitrógeno (Nandwa y Bekunda, 1998). ¿Por qué los agricultores de África no adoptan estas tecnologías, sino que continúan aprovechando no sustentablemente los suelos?

Estas son respuestas, no simples o únicas, a esta pregunta: existen “asuntos pendientes” de la ciencia del suelo así como también otros factores entrelazados que llevan a los actuales niveles de explotación del suelo. Los “asuntos pendientes” implican generación de información y datos para fortalecer los avances en la ciencia y el manejo de innovaciones que se han realizado durante años. Tres ejemplos sirven para ilustrar esto.

El primero es que los suelos de África son variados, debido a que son función de los atributos ecológicos y geomorfológicos, pero no se han cartografiado a escalas que permitan intervenciones basadas en la diversidad. Los estudios taxonómicos que definen estos suelos se han reconocido en la naturaleza, incluyendo el Mapa Mundial de Suelos de la FAO, escala 1:5 000 000, que quizás es la principal referencia para muchos países en África. La ciencia del suelo debe posicionarse para utilizar los avances en la ciencia del paisaje, usando las herramientas de sensores remotos y los SIG (Shepard y Walsh, 2006), para permitir la elaboración más rápida de mapas de suelos de diagnóstico a escalas que brinden una apreciación de la diversidad. Sin embargo, con escalas a nivel de campo, los sistemas empresariales podrían ser tan robustos como insensibles a la micro-diversidad.

El segundo es que el agotamiento de los nutrimentos del suelo se considera como alarmante en África, pero su magnitud es incierta, debido a la “falta de ciertas categorías de datos primarios en los trópicos” (Smaling *et al.*, 1997), utilizados en las herramientas (p. ej. NUTMON) para computar la pérdida de nutrimentos. Las

herramientas también se desarrollaron para los principales nutrimentos N, P y K, aun en sistemas que tenían problemas de bases intercambiables y micronutrimentos. La ciencia del suelo tiene que dirigirse a estos factores, los cuales restringen la relevancia de estas herramientas en el avance de las recomendaciones para el manejo de los nutrimentos del suelo y la política.

El tercero es que muchos resultados de investigaciones en suelos, obtenidas antes de los inicios de la década de los 1990, fueron de experimentos realizados en estaciones experimentales o en sitios de campo completamente manejados por investigadores bajo condiciones idealizadas. Esto proporciona un panorama incompleto del manejo y el análisis, aunado a que los resultados no representan la incertidumbre de los pequeños agricultores, las propensiones de riesgo y el recurso ambiental escaso. La ciencia del suelo debe fortalecer la inclusión participativa de los agricultores y considerar que las soluciones tecnológicas sólo pueden ser adoptadas si éstas son flexibles con el ambiente local.

La ciencia basada en soluciones biofísicas está vinculada con los cultivos como un negocio. Los agricultores reconocen que está ocurriendo el agotamiento de los nutrimentos en los campos y corregirán cuando económicamente sea remunerativo (Scoones, 2001). En muchas partes de África se encuentran los agricultores de bajos ingresos y altos costos de producción, los cuales crean serios problemas a los suelos; los agricultores trabajan con simples azadones, no pueden permitirse el lujo de fertilizar sus campos y aplicar adecuadas prácticas de conservación al suelo para restaurar la fertilidad. La política ambiental que gobierna a los trabajos de mercado y los modelos de inversión pública en la agricultura y el ambiente, son críticas.

Por lo tanto, el enlace entre la ciencia y el desarrollo es vital: la integración con las disciplinas de la ciencia no-suelo podría ayudar a formular acercamientos más holísticos para el manejo de la fertilidad del suelo, los cuales son social y económicamente aceptables. Sólo entonces la ciencia del suelo tendrá un nicho en la producción agrícola y será vista como una causa para contribuir a mejorar la producción y los ingresos, más que sólo incrementar la fertilidad.

Uno de los obstáculos para dirigir los temas anteriores es la inadecuada investigación y los sistemas de extensión para generar conocimiento e innovaciones que se difundan para su uso, en la población campesina, con el finalidad de aprovechar la oportunidad de un manejo del suelo eficiente. Esta capacidad limitada es la mayor restricción para la ciencia del suelo en África.

La Sociedad Africana de Ciencia de Cultivos produce, al mismo tiempo, científicos agrícolas que cada dos años, en conferencias, discuten y comparten progresos sobre la ciencia de promover la producción de cultivos y la seguridad de alimentos en el continente. La última conferencia se realizó en Entebbe, Uganda, en diciembre de 2005, y albergó alrededor de 327 científicos. De los 274 documentos presentados en la conferencia, sólo 22 fueron en el campo de la ciencia del suelo (representando 8%) y muchos utilizaron pruebas con cultivos como bioensayos, reflejando baja capacidad en investigación básica en la ciencia del suelo. Estudios realizados por la International Service for National Agricultural Research (ISNAR) estiman que el porcentaje de investigadores especialistas en la ciencia del suelo, de 22 países del sub-Sahara africano, está entre cinco y diez, de alrededor de 7000

investigadores del SNAR. Muchos de estos “investigadores” no tienen postgrado, calificación necesaria para generar investigación de calidad. Si la ciencia del suelo debe guiar en la provisión de soluciones que la lleven a la producción de alimentos, restringida en África, tiene que hacer un esfuerzo destinado a asegurar un número crítico de científicos de la ciencia del suelo que reduzcan la relación cliente investigador para dar consistencia a las interacciones asociadas.

En África, la infraestructura física, de servicio al suelo, es limitada y de calidad variable. El equipo y funcionamiento de los laboratorios han tendido a depender más de la habilidad del investigador, debido a que los fondos para investigación son limitados. La tendencia decadente del fondo de investigación, a escala global, no ayuda en esta situación. La infraestructura limitada trae un desincentivo en los estudiantes que anhelan seguir carreras en la ciencia del suelo, en tanto disminuyen los fondos que contribuyen a una baja capacidad funcional.

Uno reconoce que estos son costos asociados con la capacidad para enfrentar tales cambios y el futuro de la ciencia del suelo depende de proporcionar evidencias de que estos costos son comparativamente más bajos que si se continúa con la extensa degradación del suelo.

Referencias

- Nandwa, S.M. and M.A. Bekunda. 1998. Research on nutrient flows and balances in East and Southern Africa: state-of-the-art. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 71: 5-18
- Scoones, I. 2001. Transforming soils: the dynamics of soil fertility management in Africa. pp 1-44. *In: I. Scoones (ed.) Dynamics and diversity: Soil Fertility and Farming Livelihoods in Africa.* Earthscan. London.
- Sheperd, K.A. and M.G. Walsh. 2006. Diffuse reflectance spectroscopy for rapid soil analysis. *In: R. Lal (ed.) Encyclopaedia of Soil Science.* Taylor and Francis. NY. USA.
- Smaling E.M.A., S.M. Nandwa, and B.H. Janssen. 1997. Soil fertility in Africa is at stake. pp 47-62. *In: R.J. Buresh, P.A. Sanchez and F. Calhoun (eds.). Replenishing soil fertility in Africa.* SSSA Special Publication 51. SSSA and ASA. Madison, Wisconsin. USA.



El futuro de la ciencia del suelo

Winfred E.H. Blum

University of Natural Resources and Applied Life Sciences (BOKU). Vienna Peter-Jordan-Str. 82, 1190 Vienna, Austria. e-mail herma.exner@boku.ac.at

La predicción del futuro de la ciencia del suelo siempre es arriesgada, más cuando está basada en una extrapolación del pasado. No obstante, se hará un intento de predecir el futuro de la ciencia del suelo bajo tres diferentes visiones: 1) Ciencia del suelo y sociedad, 2) La ciencia del suelo en relación a otras ciencias y 3) La ciencia del suelo como una ciencia por sí misma.

Ciencia del suelo y sociedad

El suelo está entregando bienes y servicios a los humanos y al ambiente, como biomasa para los alimentos, forraje y energía renovable, filtrando, amortiguando y transformando sustancias y materiales para limpiar los mantos acuíferos y el aire; mediante la captura de carbono y el mantenimiento de una gran variedad de organismos, garantizando la biodiversidad. En contraste, el suelo puede ser dañino cuando emite gases a la atmósfera, contribuyendo al cambio climático, o por el transporte de sólidos del suelo a aguas superficiales y al aire, por la erosión hídrica o eólica, respectivamente; influyendo en enfermedades de humanos por ingestión, inhalación y contacto con la piel. Por último, el suelo está protegiendo a los remanentes arqueológicos y paleontológicos, no sólo una herencia geogénica, sino también cultural.

En el futuro permanecerán dos tendencias principales: en países con deficiencia de alimentos, la ciencia del suelo se dirigirá principalmente a la fertilidad del suelo, en su más amplia esencia, tanto como esta deficiencia exista. Por desgracia, esta amenaza se está incrementando en muchos países: África, Asia y Centro y Sur América. En contraste, en países con suficiente suministro de alimentos, la ciencia del suelo se dirigirá cada vez más a temas ambientales y culturales, como la protección de la cadena alimenticia contra la contaminación, el recurso agua del subsuelo, el suelo como una herencia cultural y natural; porque, la comida, el agua y el aire limpios son la base de un ambiente saludable que garantizará una esperanza de vida larga para las personas. Al lado de estas dos tendencias principales, en países industrializados, otros aspectos ganarán importancia, como la ciencia del suelo para fechar arqueología, la ciencia del suelo forense y otras aplicaciones de la ciencia del suelo para demandas sociales y económicas específicas.

En los próximos 20-30 años no se espera que estos rasgos generales cambien mucho, porque las sociedades humanas no aumentarán su comprensión sobre las funciones del suelo y, por consiguiente, no se esperan contribuciones importantes de la ciencia del suelo a las sociedades humanas y el ambiente, excepto después de eventos catastróficos, como inundaciones extremas, polución a gran escala u otros accidentes, pero sin efectos duraderos.

La ciencia del suelo en relación con otras ciencias

La ciencia del suelo se desarrolló hace más de un siglo, de la agroquímica y la agrogeología, y todavía un amplio sector del público la ve como una ciencia de apoyo para la producción de biomasa, en especial en la agricultura y la silvicultura. Sin embargo, a través de nuevos conceptos de investigación y el uso de equipo analítico desarrollado por otras ciencias, como física básica, fisicoquímica y bioquímica, la ciencia del suelo se ha desarrollado dentro de áreas muy específicas, tratando con aspectos del intemperismo de una capa encima de un material rocoso, a diferentes escalas, de la macro-escala, por ejemplo, cartografía regional y taxonomía de suelos, a muy pequeñas partículas del suelo y su reacción a escalas nanométricas. Por lo tanto, la ciencia del suelo se ha dividido en diferentes áreas especiales, con el peligro de perder la huella de la visión holística de los suelos.

En contraste con esto, a través del desarrollo de las ciencias geológicas en las últimas dos décadas, la geología está incrementando su competencia con la ciencia del suelo. Por ejemplo, en el campo de la geología ambiental y recientemente bajo el término de agrogeología, una expresión que se abandonó hace más de un siglo, cuando la ciencia del suelo llegó a ser el campo de la ciencia de sí misma. Por consiguiente, la ciencia del suelo aumentará su competencia con la geología y probablemente, también con otras ciencias, en especial la biología, ecología y ciencias de la computación, y sólo será capaz de mantenerse mediante una intensa cooperación con estas ciencias, demostrando que la ciencia del suelo es capaz de contribuir al entendimiento del funcionamiento de los ecosistemas terrestres y acuáticos.

La ciencia del suelo como una ciencia por sí misma

Como la ciencia del suelo está destinada a estudiar no sólo a los componentes físicos, químicos, mineralógicos y procesos relacionados (especialmente fisicoquímicos) del suelo, sino también a algunos biológicos, es difícil entender a la ciencia del suelo como una ciencia básica, a diferencia de la química, la física y otras, ignorando que éstas también se han dividido en un número de dominios científicos específicos.

La ciencia del suelo, como una ciencia, tal vez, dentro de 10 a 20 años, perderá cada vez más la visión holística de los suelos, a causa del aumento en la especialización, donde sólo se investigan cuidadosamente aspectos específicos o partículas del suelo a escalas nanométricas, por ejemplo, en modelación molecular, y se pierda la pista de las funciones globales del suelo para la humanidad y el ambiente. La ciencia del suelo, entonces, podría tener problemas para mantenerse en el área de otras ciencias naturales, cuando éstas se pregunten cuál es el destino específico de la ciencia del suelo. Por ejemplo, la ciencia del suelo todavía tiene que explicar por qué existen varios sistemas de clasificación de suelos diferentes, pero ningún acuerdo general sobre la taxonomía de suelos a escala mundial, o acerca de la definición de tipos o subtipos. Esto muestra que la ciencia del suelo no puede definir su propio objeto de investigación en el ámbito global o regional. Muchos científicos del suelo, o aquéllos que dicen ser científicos del suelo, no tienen un conocimiento general del suelo y sus funciones, sino que están muy especializados y se enfocan en distintas características y procesos del suelo.

El futuro del desarrollo de estas áreas especializadas dentro de la ciencia del suelo dependerá, en gran medida, de otras ciencias, con consideración para los conceptos e instrumentos analíticos operacionales, los cuales se desarrollan por ciencias como la física y la fisicoquímica. Sólo puede esperarse que el alto grado de especialización en la ciencia del suelo lo siga considerando como un cuerpo tridimensional de la corteza terrestre y lo mantenga como un objeto en sí mismo y, también en el futuro, se entenderá al suelo en sus procesos y funciones.



El futuro de la ciencia del suelo

Ole K. Borggaard

Royal Veterinary and Agricultural University Thorvaldsensvej 40, DK-1871 Frederiksberg, Denmark. e-mail Ole.K.Borggaard@kemi.kvl.dk

En una amplia perspectiva global, el uso sustentable del suelo será un importante reto para la ciencia del suelo. Las actividades de investigación deberían concentrarse en la búsqueda de caminos que, clara e inequívocamente, puedan establecer potenciales y limitaciones de diferentes suelos con relación a varios usos, como el desarrollo de plantas, la protección del agua y el aire, el mantenimiento de la biodiversidad y la preservación de la historia cultural y natural. Debe establecerse la medida precisa de la vulnerabilidad del suelo y deben trabajarse los métodos eficientes para la remediación de suelos degradados. Todos estos logros de la investigación, igualmente importantes, deben ser comunicados clara y eficientemente a los planeadores y ejecutores para asegurar que se implementen y utilicen en beneficio de los usuarios del suelo, así como también de la sociedad entera. Los científicos del suelo deberán encargarse de difundir los resultados de las investigaciones a practicantes (gente ordinaria) y no sólo a sus colegas científicos. Para asegurar una visión balanceada y la óptima difusión, los científicos del suelo deberán estar preparados para cooperar con otros especialistas, como economistas, antropólogos y expertos en comunicaciones. Sin embargo, para evitar malas interpretaciones, confusión y pérdida de credibilidad, la información debe ser clara y correcta. Como tarea prioritaria de la ciencia del suelo para el futuro, se puede sugerir el traslape parcial de áreas. Algunas de estas actividades están iniciando, pero necesitan fortalecerse o enfocarse.

Incremento de la producción de biomasa

Para mejorar las condiciones de vida en países en vías de desarrollo en el sur del Sahara, África, se necesitan los métodos más eficientes para incrementar y mantener la productividad de muchos suelos, a menudo los multi-restringidos suelos padecen de carencia de nutrimentos, lluvias erráticas, plagas, etc. Debido a una grave escasez de dinero, las soluciones deben ser baratas y, hasta donde sea posible, basadas en recursos locales. El conocimiento sobre la sensibilidad y la elasticidad de muchos suelos tropicales, a menudo muy diferentes de los suelos de regiones templadas, es aún escaso y debería mejorarse.

El uso del suelo en sitios específicos

El uso del suelo debería pulirse y afinarse con enfoques en la producción de alta calidad y de género único (alto valor), por ejemplo, las verduras saludables, los alimentos mejorados para el ganado y la madera con propiedades especiales. Esto puede considerarse una extensión de lo que se ha usado en la producción de vino por muchos años, donde el sabor del vino se relaciona con el tipo de suelo. Sin embargo, la propuesta de investigaciones de la relación suelo-cultivo debe ser mucho mejor afinada

que la actual interrelación suelo-vino y la calidad alcanzada en el mejoramiento debe ser mensurable, por ejemplo, con base en criterios objetivos.

Regeneración y remediación del suelo

Se necesitan métodos mejorados para regenerar a los suelos que están degradados debido a la erosión y la salinización, o contaminados con agentes orgánicos e inorgánicos. Deben desarrollarse y optimizarse mejores métodos y estrategias, dentro del sitio y fuera del sitio, para limpiar suelos contaminados con metales pesados y xenobióticos orgánicos. También necesitan mucha atención las estrategias de remediación para suelos saturados con N y P, a causa de fertilización excesiva por muchos años. Al mismo tiempo, deberían aumentarse los esfuerzos para difundir el nuevo conocimiento y el ya existente sobre estos temas, para prevenir la degradación del suelo y regenerar los ya degradados.

Biotoxinas naturales

Como una protección contra bacterias, insectos, animales y otros organismos vivientes, muchas plantas producen toxinas ('pesticidas naturales') que pueden ser altamente tóxicas, carcinogénicas o poseer otros efectos adversos. El conocimiento acerca del comportamiento (unión, movilidad y persistencia) en el suelo de estos compuestos es escaso y debe mejorarse el método para buscar caminos que protejan la calidad del agua y los alimentos. Más aún, incierto, pero igualmente importante, es el conocimiento acerca del comportamiento de los productos de la degradación (metabolitos) de estas toxinas naturales y muchos pesticidas sintéticos. De hecho, enfocando los efectos, en lugar del origen, la investigación futura puede presionar en las distinciones actuales, muy marcadas (de manera arbitraria), entre las toxinas naturales y los xenobióticos, como los pesticidas.

Cambios de uso de la tierra

Aspectos como la reforestación, el restablecimiento de tierras inundadas, la transformación de una agricultura convencional a una ecológica y otros tipos de cambios de uso de la tierra, deben estar más enfocados en el método para mejorar el conocimiento acerca de estas alteraciones y evitar efectos adversos en los ecosistemas, por ejemplo, la contaminación del agua y el aire. El establecimiento de nuevas comunidades de plantas, en respuesta al cambio de uso de la tierra, puede introducir toxinas naturales a los ecosistemas que no están adaptados ('acostumbrados') a esas toxinas, las cuales pueden considerarse como xenobióticos. Por ejemplo, los helechos que se extienden agresivamente sobre muchos suelos de reserva de granjas, en Dinamarca y otros países, producen grandes cantidades de los *ptaquilosidos* carcinogénicos que pueden representar una amenaza para la tierra y la calidad del agua potable, debido a que el *ptaquilosido* es bastante persistente y móvil en el suelo. Además, la introducción de cultivos genéticamente modificados puede resultar en la liberación de toxinas, de comportamiento y efectos desconocidos, sobre el ecosistema suelo.

Interacciones suelo-planta

Las interacciones mutuas entre los suelos y las plantas son ‘sabiduría común’, pero los mecanismos precisos sólo son entendidos de forma parcial. El conocimiento acerca de los requerimientos precisos para el suelo de muchas plantas (por ejemplo, varias especies de árboles) es escaso. Tal información es importante para asegurar la estabilidad del ecosistema, en especial donde se cambia el uso de la tierra.

Concepto calidad del suelo

El lanzamiento del concepto calidad del suelo, hace más de una década, atrapó los focos de detección en los suelos. Sin embargo, la multifuncionalidad del concepto ha demostrado ser difícil de manejar. De esta manera, un suelo intensamente fertilizado tiene una alta calidad como medio de cultivo para plantas, pero baja calidad para otras funciones, por ejemplo, la protección de los mantos acuíferos contra la contaminación con nitratos. Además, el concepto está basado en algunos criterios contextuales y subjetivos. El reto es desarrollar el concepto que pueda integrar y reconocer operacionalmente la simultaneidad de las diversas y, a veces, conflictivas funciones del suelo. Si esto se demuestra imposible, la comunidad de la ciencia del suelo debe redefinir la calidad del suelo, en términos de criterios científicamente legítimos y objetivos.

En adición

Todavía está por aprenderse mucho sobre el suelo, como los componentes del suelo (minerales, materia orgánica, solución del suelo y aire del suelo), los procesos del suelo (acidificación, humificación, migración de arcillas, podzolización, intemperismo, etc.), el secuestro de carbono y nitrógeno, y el transporte de agua y solutos en varios suelos. El transporte de coloides orgánicos e inorgánicos y su papel como portadores de contaminantes son temas de investigación actual, los cuales se están consolidando. La clasificación del suelo debe mejorarse, para dirigirse a la simplicidad y uso sencillo, pero también debe habilitarse para cubrir, incluso, el efecto antropogénico en un sentido más veraz.



El futuro de la ciencia del suelo

Johan Bouma

Spoorbaanweg 35, 3911 CA Rhenen, the Netherlands. e-mail Johan.bouma@planet.nl

Como en algunas ciencias, el futuro de la ciencia del suelo dependerá de lo que nosotros, los científicos del suelo, hagamos o dejemos de hacer. Aunque soy optimista por naturaleza, no estoy animado con lo que veo que está ocurriendo en la investigación de la ciencia del suelo actual. Esta investigación está fragmentada y centrada en trabajos subdisciplinarios (“atomización”) sobre física de suelos, química de suelos, biología de suelos y estadística espacial. No cuestiono la calidad científica ni la relevancia de estos trabajos, pero siento que las piezas no encajan. Si deseáramos, deberíamos reconocerlos como unos novatos en proyectos sobre uso de la tierra, cambio climático y uso del agua, por mencionar tres de los esfuerzos en investigación a nivel internacional, en los cuales la ciencia del suelo podría jugar un papel clave, pero no lo hace. La International Council of Science Union (ICSU) es clara: su punto de vista es de un mundo “donde la ciencia se utiliza para el beneficio de todos... y donde el conocimiento científico está efectivamente ligado a la elaboración de la política”. Su meta es “fortalecer la ciencia internacional en beneficio de la sociedad” y coordina varios programas internacionales e interdisciplinarios, en donde nosotros podríamos estar involucrados. Este tipo de proyectos interdisciplinarios, político-orientados, son promovidos, cada vez más, por organizaciones de investigación internacional, nacional y regional.

Algunos problemas

Muchos de nuestros trabajos publicados son más bien centrados y referidos a la arena de la política y los procesos interactivos, y son vistos por muchos científicos del suelo como no científicos y comprometedores. Nuestras acciones, para las ambiciones de la ICSU y aquéllas de fondos comparables y agencias políticas, son inadecuadas, desde mi punto de vista. Algunas indicaciones seleccionadas arbitrariamente son:

1. Nosotros todavía no podemos definir calidad del suelo, lo cual es un elemento esencial de regulación ambiental, mientras la calidad del agua y aire está bien definida. Esto implica que el mensaje del suelo no puede comunicarse tan efectivamente como quisiéramos.
2. Recientemente, un líder científico concluyó que los modelos de erosión del suelo, de amplio uso, producen resultados empíricos, debido a la carencia de buenos datos básicos del suelo (Stroosnijder, 2005). Esto desafía nuestras pretensiones científicas.
3. Las regulaciones de estiércol, en Europa, para proteger la calidad del agua ignoran, en gran medida, la capacidad del suelo y se enfocan en aspectos del manejo de granjas, mientras, en efecto, los procesos del suelo gobiernan la calidad del agua y debieran ser la base para tales regulaciones.
4. Ingenieros, biólogos y geógrafos minan nuestras bases de datos y utilizan pedotransferfunciones para alimentar sus comprensivos modelos de simulación, a menudo sin nuestro involucramiento.

5. Prominentes modelos de simulación para el desarrollo de cultivos tienen submodelos detallados para la fisiología de las plantas, pero uno muy simple para el componente suelo, como lo es la aproximación del balde inclinado. Esto crea modelos desequilibrados que no reflejan adecuadamente nuestra especialización en el suelo. Esto también es cierto para otros modelos de comprensión ambiental con rudimentarios submodelos del suelo.

Oportunidades

Parece que hemos perdido nuestras raíces, anclados en el décimo noveno siglo, definiendo al suelo como cuerpo natural viviente en el paisaje, como una base para definir la dinámica y la interrelación entre los procesos físicos, químicos y biológicos en el suelo. La clasificación de suelos está enfocada sobre cuerpos naturales (genoformas) y ésta es una limitación cuando se estudia el uso de la tierra. Sin embargo, los levantamientos de suelos pueden extenderse, para efectos de manejo de suelos, sobre todo dando series de suelos para distinguir fenofomas (Bouma, 2005). ¿Qué oportunidades tenemos y cómo podemos abordarlas? En otra parte sugerí algunos cambios drásticos en la manera cómo hacemos nuestra investigación (Bouma, 2005) y no podría repetirlo aquí. Sugiero enfocarnos sobre futuras oportunidades específicas que están presentes de manera abundante:

1. En Europa vemos nuevas oportunidades en legislación ambiental, más recientemente las amplias directrices del agua, las cuales están enfocadas sobre cuencas hidrográficas. Definiendo flujos 3D de agua y químicos en un paisaje, en el contexto de cuencas hidrográficas, es un inicio lógico para definir los procesos del suelo, la experiencia del suelo y la hidrología en la nueva disciplina hidropedología (Lin *et al.*, 2006).
2. Similarmente, en Holanda, la planeación espacial está basada en el “modelo de las tres capas” y arranca con condiciones de geología, suelo y agua, asociadas a condiciones ecológicas en la primera capa, seguidas por infraestructura del transporte en la segunda capa y colonización en la tercera. En el desarrollo de la primera capa debe estar la mayor actividad para los científicos del suelo.
3. La nueva estructura del suelo, aprobada por la Unión Europea de Naciones, ofrece muchas oportunidades para la ciencia del suelo y está basada en los principios de *Presión, Estado y Respuesta*, los cuales reflejan los procesos sociales y la manera en que ellos pueden afectarse por el manejo del suelo. Esto, de nuevo, ofrece excelentes oportunidades para la ciencia del suelo.

¿Cómo abordar los desafíos?

Sugiero cinco aproximaciones: (i) Combatir la “atomización”, iniciando proyectos con el análisis integrado de los procesos del suelo en el contexto del paisaje, los cuales, al final, aún se dejan de lado, por el filo cortante de la disciplinaridad. (ii) Facilitar el enlace con proyectos interdisciplinarios para defender nuestra especialización en diferentes niveles de conocimientos (“K”), yendo de lo tácito y descriptivo, al filo cortante de lo cuantitativo (Bouma, 2002). Bouma y Droogers (1999) ilustraron lo anterior para la humedad del suelo, suministrando capacidad. (iii) Extender el alcance de los levantamientos del suelo, no solamente para considerar genoformas, sino

también fenofomas dadas por las series de suelos, reflejando efectos de diferentes tipos de manejo. (iv) Combatir la afición a las bases de datos e iniciar un extensivo monitoreo de campo, usando una amplia matriz de nuevas y modernas técnicas de percepción. (v) Mejorar la comunicación con colegas, políticos e inversionistas, para acoplarla a la revolución de la información.

Referencias

- Bouma, J. 2001. The new role of soil science in a network society. *Soil Science* 166: 874-849.
- Bouma, J. 2005. Soil scientists in a changing world. *Advances in Agronomy* 88: 67-96.
- Bouma, J. and P. Droogers. 1999. Comparing different methods for estimating the soil moisture supply capacity of a soil series subjected to different type of management. *Geoderma* 92: 185-197.
- ICSU (International Council of Science). 2005. Strategic Plan for 2006-2012. www.icsu.org.
- Lin, H., J. Bouma, Y. Pachepsky, A. Western, J. Thompson, R. van Genuchten, H.J. Vogel, and A. Lilly. 2006. Hydropedology. Synergistic integration of pedology and hydrology. *Water Resource Research* 42 W05301.
- Stroosnijder, L. 2005. Measurement of erosion: is it possible? *Catena* 64: 162-174.



El futuro de la ciencia del suelo en sociedades industriales

Henrik Breuning-Madsen

University of Copenhagen, Institute of Geography, Øster Voldgade 10, DK-1350, Denmark. e-mail hbm@geogr.ku.dk

La ciencia del suelo basada en la pedología, fundada por Dokuchaev, tiene menos de 100 años de edad. Desde entonces, sus conceptos están definiendo la ciencia del suelo y muchos levantamientos de suelos nacionales han adoptado a la pedología como un descriptor principal en la cartografía del suelo. Hasta recientemente, la principal tarea para las organizaciones de levantamientos de suelos ha sido producir información base a escala regional y puntual para producción agrícola o forestal. Esto se ha realizado a niveles nacionales, usando clasificaciones de suelos desarrolladas nacionalmente y sistemas de descripciones de suelos, soportados por métodos analíticos para caracterizar los suelos.

Durante las últimas décadas, el enfoque de la ciencia del suelo en el mundo industrial ha cambiado significativamente, porque el enfoque de las sociedades ha cambiado de la producción agrícola y forestal hacia problemas ambientales. Muchos de estos problemas aún pueden resolverse a niveles nacionales, pero algunos tienen que resolverse internacionalmente, lo cual trae consigo la fusión de información de diferentes países. Además, muchos problemas ambientales son tan complejos que no pueden ser resueltos sólo por los científicos del suelo, sino que requieren de la cooperación de otros científicos, como biólogos, químicos y especialistas en modelación por computadora. Este desarrollo demanda, a los científicos del suelo, cambiar el enfoque de su investigación, de temas concernientes al incremento de la producción agrícola y forestal hacia la evaluación del impacto ambiental y cómo resolver los problemas ambientales, como la contaminación y la erosión del suelo, la captura de carbono y la lixiviación de nutrientes.

Muchos problemas ambientales son complejos y necesitan análisis de laboratorio detallados, el desarrollo de nuevos métodos analíticos y la planeación de experimentos a diferente escala, con relación al tiempo y el espacio. Otro problema importante es el ajuste de resultados basados en puntos a escalas regionales, por ejemplo, la captación dentro de áreas administrativas. Este desarrollo plantea varias preguntas sobre ¿cómo obtener por interpolación los mapas de suelos más satisfactorios?, ¿cómo extrapolar resultados obtenidos por el modelado de datos puntuales?, ¿qué datos básicos analíticos de suelos deberían estar disponibles para el modelado? y ¿cómo podemos educar a los científicos del suelo?, para que tengan un entendimiento básico de las transformaciones necesarias para convertir datos de suelos a mapas temáticos derivados y puedan ser utilizados por administraciones municipales, provincias o países. Algunos problemas ambientales, como la lixiviación de nutrientes al mar o la presencia de contaminantes en el aire, no obedecen fronteras 'políticas'.

En el ámbito nacional, los mapas de suelos digitales pueden servir como una herramienta para ajustar puntos de medición a una escala regional, aunque éstos no siempre podrán tener la información necesaria y se tendrán que actualizar con atributos. Debido a que los mapas de suelos nacionales no se han desarrollado de acuerdo con una metodología internacional y sistemas de clasificación comunes, es necesario desarrollar un sistema internacional y unificar los sistemas nacionales cuando se operen a una escala internacional. La WRB es el sistema de clasificación global de suelos, pero es cuestionable 'qué tan bien-preparada está para ajustar la información modelada de puntos base'. La aproximación morfogenética no ha funcionado bien en suelos muy manipulados, los cuales se han arado, enclado, estercolado y drenado. La física y la química de estos suelos no reflejan, necesariamente, los procesos pedológicos iniciales que los formaron y por esto el nombre-WRB. Algunas características del perfil podrían ser relictos, como el gley en suelos drenados, mientras otros, como los epipedones mólico/úmbricos no proporcionan ningún significado en áreas aradas o encladas. La información proporcionada por los nombres puede ser engañosa, irrelevante o acarrear un bajo nivel de información. Otro problema es que la WRB, hasta cierto punto, está basada en propiedades difíciles de medir y la descripción y clasificación científica, en el mismo perfil, puede llegar a distinto resultado. Esto demuestra que es necesaria una nueva reflexión sobre ¿cómo hacer mapas de suelos internacionales, a diferentes escalas, que encajen en los propósitos de hoy?

Para correr un modelo ambiental regional, nacional o internacional, deben establecerse los perfiles de suelos y las bases de datos analíticos. Las bases de datos nacionales existen para algunos países, pero no se establecen con relación a algún estándar internacional común. De esta manera, en algunos países, los modelos regionales son problemáticos, debido a la pérdida de datos, aún cuando el modelado en la frontera de las bases de datos tiene que emparejarse con los mapas de suelos internacionales. Para cumplir con esto, debemos preparar los estándares de las metodologías analíticas para que, a través de los países, la comparación de datos sea posible. Además, los científicos del suelo deben estar dispuestos a estimar datos faltantes en sus bases de datos, porque si un modelo necesita datos faltantes, la información adicional debe crearse con datos basados en reglas del conocimiento. En ese caso, lo mejor sería si los expertos en suelos hacen tal estimación. Los científicos del suelo deben estar de acuerdo sobre ¿qué datos almacenar en una base de datos? Previamente, el enfoque fue sobre datos químicos y físicos del suelo, principalmente; por ejemplo, datos como la retención de humedad del suelo están esparcidos, a pesar de su importancia en los modelos regionales de agua.

Políticamente, existe una creciente comprensión del suelo como un recurso limitado y vulnerable, como el agua y el aire. Entonces, surgen las discusiones sobre ¿cómo proteger al suelo?, ¿cuál es el estado del arte del suelo?, ¿tienen los científicos del suelo un papel que jugar en la construcción de la cuadrícula de monitoreo o la supervisión de las áreas de captación? y ¿cómo coleccionar y analizar muestras de suelos y derivar conclusiones sobre su estado del arte? Por último, los científicos del suelo deben trabajar en la introducción de las técnicas de los sensores remotos, en el rango de los sensores natos para instrumentos base-terrestre que incluyan radares de penetración del terreno, equipos geo-eléctricos o magnetómetros. En la agricultura de

precisión, los sensores remotos tienen buenos usos. La aplicación de fertilizantes inorgánicos de acuerdo con mapas de suelos y la localización precisa de los tractores usando GPS son comunes. Los mapas de suelos elaborados por combinaciones de levantamientos de suelo tradicionales y datos de sensores remotos hacen posible indicar el grado de precisión y error estadístico desarrollados por evaluaciones geoestadísticas. Esa es información importante cuando se está caracterizando y expresando la exactitud local o global de los mapas de suelos.

En conclusión, la ciencia del suelo juega un papel importante en la detección y solución de problemas ambientales a escalas regionales. Para hacerlo, tenemos que cambiar nuestro enfoque, de una producción agrícola, hacia problemas ambientales.



El ambiente suelo, uso del suelo e implicaciones socioeconómicas

Wolfgang Burghardt

Dept. of Soil Technology, Faculty of Bio- and Geosciences, University Duisburg – Essen, 45117 Essen, Germany. e-mail wolfgang.burghardt@uni-essen.de

A mi entender, de mi experiencia personal y práctica con suelos, la importancia de la ciencia del suelo se relacionará con tres puntos de vista en el futuro: (1) el ver a los suelos como portadores de propiedades y producto del ambiente y en constante cambio; (2) el papel del uso de la tierra; (3) la unión de la ciencia del suelo con las ciencias socioeconómicas.

El suelo y el ambiente

Existe una división en la ciencia del suelo, entre la anterior orientación sobre las propiedades del suelo y el desarrollo del suelo basado en los procesos. El principal enfoque de la reciente definición de suelos se refiere a las propiedades del suelo y la capa superficial. Además, esta visión reduccionista sobre el suelo está enfocada sobre las propiedades de los materiales y la producción de plantas. Siguiendo esta tendencia, la ciencia del suelo llega a ser una ciencia de segmentos de suelo y no de suelos. Esto corresponde al desarrollo técnico industrial, el cual se enfoca en un número limitado de productos económicamente prometedores.

Muchos productos esenciales y funciones proporcionadas por los suelos pueden generarse sin suelos. La producción técnica de proteínas en la acuicultura es un ejemplo. El agua potable también puede ser proporcionada mediante medidas técnicas, en vez de usar suelos para la protección de mantos acuíferos de la contaminación. La idea de tratar con suelos como un material es que la calidad del material puede estandarizarse. Así la calidad del suelo puede certificarse. Pero, ¿éste es un concepto apropiado a considerar? De mi visita a una destilería de vino de jerez en Jerez España, aprendí que el suelo de la más baja calidad, un suelo de margas blancas, es el mejor para el vino de jerez. Las demandas de suelo son demasiado diferentes como para que pudiera existir un único y universal concepto de calidad del suelo, como, por ejemplo, para los materiales de construcción.

Inmediatamente después del depósito de suelo natural o uno hecho por el hombre, el ambiente inicia su acción por procesos biológicos, físicos, químicos y mecánicos. El desarrollo del suelo siempre es un proceso natural. Con el tiempo, las propiedades de los materiales de suelos depositados adquieren un segundo y un tercer grupo de propiedades. El segundo grupo se crea por el tipo de combinación, diversidad, duración y etapas de acciones de los elementos del ambiente, conocido como factores de formación del suelo. Estos factores determinan nuevas propiedades de la capa superficial, que consisten de horizontes y un patrón espacial de diversas propiedades, las cuales definen a los suelos.

Por una parte los horizontes del suelo y, por otra, los patrones en el paisaje son una consecuencia de los procesos de formación de suelos. La combinación de diferentes procesos da como resultado ventajas tangibles como las propiedades del suelo. La alta dinámica de destrucción, reemplazo y sellado de suelos, resultan en nuevos procesos, por ejemplo, cosas a favor de lo fundamental de la vida humana, como la acumulación de CO₂ en la superficie del suelo, la liberación de humus, la modificación de la evapotranspiración y la renovación de los mantos acuíferos. El desarrollo de nuevos componentes y organismos, y la dispersión de ambos en todo el mundo son riesgosos. El suelo, con bastantes propiedades diversas, tiene una alta capacidad de amortiguar y resistir efectos adversos por un largo tiempo. Los suelos nos dan la oportunidad de detectar futuras catástrofes potenciales y reducir los riesgos. “Wadlsterben” (bosque reforestado) ilustra esto.

El tercer grupo de propiedades del suelo es que los suelos siempre son únicos, no obstante, relacionados con otros suelos individuales. Junto a la genética y la litosfera, el suelo es uno de los más grandes portadores de información. El derecho y la habilidad de individualidad y de tener parientes y su importancia en la vida humana, plantean la pregunta de los efectos sobre el desarrollo humano cuando la información de la naturaleza muerta y viviente se destruye y se pierde. En mi opinión, la guía a lo largo de conceptos procedimentales basados en las acciones del ambiente aumentará la oportunidad, para los científicos del suelo, de contribuir en la vida humana sustentable y en la promoción pública de la ciencia del suelo.

Suelo y uso de la tierra

Muchos suelos son transformados por los humanos, los cuales llegan a ser el más grande factor ambiental que influye en los suelos y sus procesos. En las ciudades, los suelos tienen un ambiente totalmente nuevo. Esto puede ocurrir por el uso particular de un solar de tierra y por el material y emisiones de calor por el uso de otros solares. Este es un tercer componente de dependencia. En un mundo comercial, los solares de diferentes áreas están relacionados por material y la importación y exportación de energía. La relación de suelos llega a ser un resultado de diferentes etapas de producción y comercio en varios sitios y no más prolongados que las fuerzas de gravedad y los gradientes de materiales y la concentración de energía en el paisaje. Para muchas áreas, los suelos y sus relaciones, y las secuencias espaciales de ocurrencia y propiedades, se determinarán por las relaciones económicas de los solares. Las nuevas relaciones de suelos no están restringidas a un paisaje, pueden existir en todos los continentes. En el futuro, con una economía avanzada, la magnitud de los suelos antropogénicos se incrementará con rapidez. La ciencia del suelo continuará siendo importante cuando su enfoque esté sobre el uso del suelo como el factor principal en el futuro del ambiente suelo, así como de su desarrollo, propiedades y funciones.

Los suelos y la socioeconomía

Hoy en día, los costos socioeconómicos determinan la política en muchos países. El papel del suelo en este contexto no se ha definido claramente hasta ahora. Uno de los principales problemas será la divergencia de intereses entre empresas públicas y privadas, incluyendo los intereses de los gobiernos en el retorno de las inversiones,

impuestos y propiedad, a corto plazo, y la provisión pública que necesitan para el mantenimiento de las condiciones de vida, sociales y económicas, a largo plazo.

Los gastos sociales son grandes en muchos presupuestos gubernamentales. Éstos se necesitan para soportar pobres, gente enferma y vieja, y familias. Los gastos para una política ambiental, los cuales soportan salud, alimentos y otros productos naturales, recreación, y la regulación del clima, reducen el costo social y aumentan la estabilidad social. En este contexto, los suelos tienen un potencial considerable.

Sin embargo, el problema es que la ciencia del suelo está incorporada en la ciencia ambiental y en la agronomía. Esto significa que está incluida en las ciencias incorrectas; éstas no balancearán el futuro financiero de los suelos ni el costo de las medidas de protección del mismo, que en la actualidad son golpes económicos y sociales por los desastres del cambio climático.

Por la gran importancia del transporte y la importación de materiales y energía en el suelo, por los procesos socioeconómicos, deben tener un enfoque principal en la ciencia del suelo sobre la investigación de masas de material y equilibrio de energía, local y globalmente. Las importantes contribuciones de los suelos son:

- La producción de alimentos, combustibles, materias primas, compuestos químicos (por ejemplo, para plásticos) y sus residuos en los suelos.
- El suministro de agua limpia para la agricultura y la población urbana de rápido desarrollo.
- La salud, dilución y transformación de compuestos dañinos provenientes de emisiones y la ocurrencia de organismos patógenos en los suelos.
- La reducción de CO₂ atmosférico, al incrementar la producción de la masa de plantas y la incorporación de residuos de plantas en los suelos.
- El cambio de albedo y la capacidad almacenadora de calor del suelo.
- Las capacidades de nuevos suelos como hábitat y reservorio de organismos particulares de importancia para la economía.
- El uso de los suelos en áreas cubiertas, por ejemplo, para la infiltración de agua de tormenta, y por árboles y plantas en calles de áreas selladas.

Los científicos del suelo deben entender que su trabajo está más relacionado con la administración socioeconómica que con la ambiental. Los científicos del suelo están contribuyendo al retorno de inversiones e impuestos a corto plazo pero, en particular, evitando costos a largo plazo. Esto incluye costos de salud, bastante altos, y otras situaciones riesgosas e inseguras, y también inversiones de largo plazo como para combustible y agua. El futuro de la ciencia del suelo depende de la operación en conjunto con los factores socioeconómicos.



El futuro de la ciencia del suelo: visión de un país en vías de desarrollo

Kep Coughlan

Hassall and Associates, Camberra, Australia. e-mail cardiap_atl@online.com.kh until August 2006; afterwards kepcoughlan@optusnet.com.au

Mi visión no es académica ni como la de una investigación sobre la ciencia del suelo, más bien es como la de una persona con una perspectiva del suelo y las necesidades relacionadas con la tierra (y el futuro de éstas), las cuales están fuertemente marcadas por mi ambiente. Trabajo en Camboya, uno de los países más pobres del sureste de Asia, donde las posiciones son determinadas por los objetivos del alivio de la fuerte pobreza, las cuales operan en un ambiente imperfecto de gobernación, carente de planeación integral y, en algunos casos, fondos de donadores internacionales para establecer una agenda de desarrollo. Desde la perspectiva de un país en vías de desarrollo, a veces los problemas se manifiestan y distorsionan, comparados con la visión de un país desarrollado. Estos cambios de enfoque, frecuentemente, permiten ver problemas familiares con una nueva visión. Quiero ilustrar estas diferencias con referencia a tres problemas familiares para los científicos del suelo.

La necesidad de planeación del recurso tierra

Actividades como la deforestación, para obtener beneficios particulares, son ejemplos en muchos países en vías de desarrollo. En parte, esto puede ocurrir por carecer de una planeación nacional y una estimación de los costos colectivos de tales actividades, que pesan más que los beneficios individuales. Buenos datos biofísicos y socioeconómicos pueden hacer una contribución real para limitar la degradación ambiental durante la fase de desarrollo de un país. Sin embargo, los datos raramente están disponibles y cuando éstos existen, están en diferentes escalas, tanto que su uso para hacer planes es difícil o imposible. La contribución que puede hacer una buena planeación, en un país en vías de desarrollo, es significativamente más grande, si se compara con la de un país desarrollado, debido a que el deterioro ambiental, a escalas que oscilan de lo local a lo global, es muy superior.

Éstas también son las posibilidades de preservar ecosistemas únicos a través de una planeación apropiada. La *Tonle* del lago Savia, en el noroeste de Camboya, es un fenómeno ambiental famoso a escala mundial, donde vastas áreas de bosque se inundan en la temporada húmeda y producen un fecundo recurso en la crianza de peces. Sin embargo, hay competencia por uso de estas áreas entre agricultores pobres, quienes talan el bosque en tierras del Estado para producir arroz, cuando las aguas de inundación se retiran. En corto tiempo se tienen ganancias económicas, pero el daño potencial en el recurso pez, una fuente principal de proteína para los camboyanos, es enorme. Una buena planeación del recurso tierra e intensificar la producción de arroz en otras áreas son la solución obvia, pero ésta podría perderse durante el rápido desarrollo de la deforestación.

La tierra en el tratamiento de desechos

El uso del suelo como un biofiltro es una opción importante para el manejo ambiental en países desarrollados. En países en vías de desarrollo, las aguas negras y los desechos industriales se descargan en cuerpos de agua, con resultados ambientales y consecuencias para la salud. Puesto que, en ocasiones, los suelos son infértiles, el uso de desechos líquidos aceptables en la irrigación de cultivos industriales tendría una doble ventaja: incrementar la productividad y reducir el deterioro ambiental. Sólo cuando los nutrimentos de las aguas negras son tan perjudiciales para mantener la fertilidad del suelo, a veces, éstas se descargan en los ríos. En los países desarrollados se cuenta con técnicas para el tratamiento de desechos en la tierra, en países en vías de desarrollo, la aplicación de éstas es una enorme oportunidad.

Cultivos orgánicos

Todos los sistemas de cultivo tradicionales fueron orgánicos. Ahora, algunos como “roza, tumba y quema”, se están criticando debido a las implicaciones ambientales y no sustentables, asociadas con las cortas fases de regeneración del bosque. Los productos orgánicos son un nicho en el mercado y, por lo tanto, los cultivos orgánicos tienen su lugar. En Camboya, donadores internacionales están argumentando que, puesto que los agricultores locales tradicionalmente no han utilizado fertilizantes químicos ni pesticidas, tienen una ventaja comparativa en el mercado de la exportación para abastecer de productos orgánicos a los países desarrollados. Mientras esto es verdad, en una escala limitada, debe hacerse la pregunta: ¿la aplicación de prácticas de cultivos orgánicos, a escala nacional, es sustentable? Si no, los agricultores camboyanos podrían estar negando el beneficio de la productividad mejorada y la rentabilidad, en nombre de proveer productos preferidos por los consumidores, en particular en países desarrollados. Al mismo tiempo, podrían desviarse recursos valiosos de los mercados convencionales dentro de la región.

Soy escéptico de que un agricultor pueda cultivar orgánicamente de material producido de su propia tierra. Problemas como éste deben encararse pero, en países en vías de desarrollo, esto está limitado a la experiencia científica y la agenda frecuentemente es determinada por expertos extranjeros. Esto es una necesidad para el debate lógico, basado en evidencias empíricas, pero se carece de ellas. Por ejemplo, un grupo de protagonistas de cultivos orgánicos, en Camboya, escuchó del Estado “Si ustedes aplican químicos a sus campos, sus hijos pueden nacer deformes”. Esta emotiva afirmación pone, por supuesto, a la urea en la misma canasta que a “un agente naranja”. Esta es un área donde los científicos del suelo pueden hacer una verdadera contribución en cuantificar y balancear los nutrimentos, el potencial del reciclado de nutrimentos a través de las plantas y las fuentes biológicas de nutrimentos, como la fijación de nitrógeno.

Estudios globales demuestran que muchos países desarrollados están acumulando nutrimentos a través de la importación de productos agrícolas, mientras que en algunos países en vías de desarrollo los nutrimentos se están agotando. Si esas prácticas de cultivo orgánicas resultan no ser sustentables, a cualquier grado razonable de producción al nivel de parcela, ¿deben los científicos del suelo cabildar por el subsidio de fertilizantes químicos (poniendo un precio mundial común) más que

condenar a los países en vías de desarrollo a que continúen con bajos rendimientos? En una conferencia reciente revelé que el costo de la urea, en Europa, es de 90 dólares, mientras en Malawi es de 700 dólares, donde los agricultores menos pueden permitirlo.

Los países en vías de desarrollo siempre serán laboratorios en los cuales se prueban “las buenas ideas” de los científicos de los países desarrollados. Claro que esto es positivo, excepto cuando las estrategias que se pueden trabajar bien en algunos casos se aplican a todas las situaciones por partidarios entusiastas. Una de tales buenas ideas es el sistema de intensificación del arroz, el cual propone, *inter alia*, que el arroz es un cereal normal que está adaptado al desarrollo en condiciones de inundación, pero que se desarrolla mucho mejor en condiciones de drenaje sin estrés de agua. Los partidarios declaran: “las plantas de arroz se están inundando, se apiñan y se envenenan (con fertilizantes químicos)”. Este sistema necesita probarse rigurosamente, puesto que, si las teorías están equivocadas, hay serias consecuencias adversas para los agricultores pobres.

En conclusión, en los países en vías de desarrollo, el futuro de la ciencia del suelo no es todo “ciencia”, sin embargo, para permitir el debate regional, son importantes buena ciencia y evidencias empíricas. Nosotros debemos reclamar el derecho a, y estar comprometidos en, debatir en áreas tales como los cultivos orgánicos (en la ciencia del suelo) y problemas como la de los organismos genéticamente modificados (GMO, por sus siglas en inglés) a una escala agrícola más extensa.

Mi consejo a los científicos del suelo es que se involucren nuevamente en la investigación y el desarrollo en países en vías de desarrollo. Esto no sólo brindará beneficios a los países involucrados, sino que proveerá diferentes perspectivas, las cuales a menudo clarifican puntos de vista aislados (geográficos o disciplinarios).



El futuro de la ciencia del suelo: una visión de Europa

Endre Dobos

Dept. of Physical Geography and Environmental Sciences, University of Miskolc, 3515 Miskolc-Egyetemváros, Hungary. e-mail ecodobos@uni-miskolc.hu

Los problemas de la degradación de la tierra, la disparidad de los potenciales de producción y el tamaño de la población trajeron obvias preocupaciones internacionales, a inicios del nuevo milenio. La globalización y los problemas ambientales globales necesitan que se colecte e interprete, de manera armonizada, la información global del suelo. Un gran desafío y una tarea para los futuros científicos del suelo es proporcionar a la sociedad, en un mundo centrado en la información, los datos del suelo apropiados.

La temática de la ciencia, como la ciencia del suelo, como una disciplina científica que permanece solitaria, no puede subsistir sin integrarse dentro de un objetivo y problema orientado a la sociedad. Esto significa que el conocimiento representado por la comunidad de la ciencia del suelo ha sido comprensible y comerciable para otros campos científicos, y que los datos utilizados por modelos interdisciplinarios han respondido a las necesidades de éstos.

Los datos de suelos se requieren para correr numerosas aplicaciones de científicos cuya área no es de suelos y algunas veces se utilizan sin entender completamente su significado, origen, calidad, utilidad y limitaciones. Es necesario un lenguaje de comunicación para transferir el conocimiento entre los proveedores de datos de suelo y los “usuarios no-suelos” de datos. La tarea es grande e incluye el desarrollo de metodologías armonizadas y un lenguaje para diferentes escalas de descripción de suelos, para digitalizar y cartografiar tierras con información tecnológica.

El autor representa a la sociedad de cartografía digital y clasificación del suelo de la Comunidad Europea, donde la armonización de bases de datos de suelos nacionales y el desarrollo internacional es espacial y temáticamente consistente, y los cruces de los límites de las bases de datos son los problemas clave a nivel continental y regional. El manejo integrado de los recursos naturales y humanos, en Europa, es un resultado benéfico y potencial de la integración europea. En este contexto, me gustaría resaltar algunos de los mayores problemas y tendencias obligadas de la ciencia del suelo en el futuro cercano.

El desarrollo de la base de datos de suelo

Los datos de suelos de varias escalas, detalle y exactitud se han colectado en todo el mundo durante el siglo pasado y la mitad del anterior. Los levantamientos de suelos fueron el mayor factor de desarrollo en el conocimiento de la ciencia del suelo; éstos ayudaron a entender y clasificar a los suelos y su función en el paisaje. Muchos de los mejores científicos del suelo ganaron su conocimiento a través de levantamientos de suelos. Sin embargo, muchas campañas de levantamientos de suelos se terminan y el

conocimiento representado y mantenido por las comunidades de levantadores de suelos se marchita lentamente. Se necesitan levantamientos de suelos que (i) tomen de nuevo la herencia de los levantamientos viejos, (ii) actualicen el conocimiento representado en los mapas de suelos y las bases de datos, y (iii) transfieran esta información a los contenidos y formatos requeridos por los datos que utiliza la sociedad.

El mundo ha cambiado y también lo han hecho las prioridades, de la producción agrícola a problemas ambientales, especialmente en la parte más industrializada del mundo. Los datos de suelos disponibles a veces fallan para proveer las respuestas necesarias para manejar nuestros recursos ambientales. Se necesitan nuevos tipos de datos de suelo para completar las bases de datos existentes y éstos tienen que integrarse en un sistema de información geográfico (SIG) para proveer los detalles espaciales requeridos por los usuarios. Las técnicas digitales de cartografía de suelos, como herramientas adicionales para conocer la distribución, variabilidad y diversidad espacial del suelo, están integradas en un conjunto de herramientas de cartografía de suelos. La proporción entre cantidad y calidad de procedimientos mejorará la consistencia espacial y temática de los datos, el registro de los procedimientos y la exactitud de las mediciones. Los metadatos, para asegurar la calidad y la cantidad de las mediciones, serán una parte crucial de todas las bases de datos, especialmente cuando éstos se usen fuera de la ciencia del suelo.

Armonización

Muchos de los problemas ambientales atraviesan los límites políticos. Los datos que se han colectado a escala nacional, usando estándares nacionales, tienen que ser usados junto con extractos de información necesaria para resolver problemas ambientales. Esta tarea es difícil, debido a diferencias entre los sistemas nacionales. La inconsistencia espacial es más evidente y es un problema que se puede reconocer con facilidad a través de la no-correspondencia de los polígonos a lo largo de las fronteras políticas. Un problema menos visible, y por eso más grande, es la inconsistencia temática, la cual viene a través del diferente entendimiento e interpretación de los sistemas de referencia por los proveedores de datos y los “traductores”. El inicio de una nueva y armónica campaña de levantamientos de campo parece irreal en el futuro cercano. La solución solamente es la armonización de datos existentes, la cual se está haciendo dentro de la comunidad europea. La armonización requiere un sistema común y de clasificación de las variables del suelo. Esto no debe ser más que una interfase, donde todos los datos de origen nacional puedan entrar al proceso, que traduzcan la ventana de datos a los formatos y contenidos requeridos. Estos estándares no se tienen para muchas de las variables del suelo. Una tarea importante de la ciencia del suelo es el desarrollo de estas estructuras de datos estandarizados. La Base de Referencia Mundial (WRB) es el mejor ejemplo de esto.

La Clasificación de Suelos

Muchos sistemas de clasificación de suelos se estandarizaron en la mitad del último siglo y empezaron a utilizarse desde 1960, basados en principios genéticos. En muchos sistemas se realizaron modificaciones. Con Base en experiencias y un mayor conocimiento, se ha sustituido el énfasis en la aproximación genética por el uso de propiedades del suelo cuantificadas, como criterio de diferenciación. Este diagnóstico de aproximación, con definiciones paramétricas, alimenta mejor las bases de datos digitales y sirve para los esfuerzos de armonización. La correlación oficial de los sistemas de clasificación es la WRB para los Recursos Suelo. El uso de tal herramienta asegura una caracterización, identificación e interpretación de unidades de suelo comunes y ayuda al desarrollo de cruces de linderos de sus bases de datos. Muchos sistemas nacionales están adaptando los diagnósticos aproximados, tomando más de las especificaciones de los criterios de diagnóstico, horizontes y propiedades de la WRB, mientras que conservan la nomenclatura y la clasificación nacional. Esta aproximación hace correlaciones entre los sencillos sistemas nacionales, mientras mantiene el detalle y las tradiciones locales de éstos.

Pedometría

La ciencia del suelo cuantitativa, también llamada pedometría, es de desarrollo relativamente reciente en la ciencia del suelo. Cubre una gran porción de técnicas de cartografía digital de suelos para la modelación de los procesos del suelo y sus variables. Recientemente, nuestro entendimiento de los procesos del suelo fue organizado por un grupo de reglas cualitativas, las cuales creemos son verdaderas y explican la naturaleza y propiedades de los suelos en un ambiente dado. Los pedométricos prueban estas reglas y relaciones para examinarlas, para explicar la variabilidad espacial y temporal, y los cambios de las propiedades del suelo, así como para prevenir las tendencias del futuro. Estos ensayos hacen uso de las más avanzadas técnicas cuantitativas y fuentes de datos digitales para probar que nuestras creencias son reales. ¡Los resultados son estimulantes! Esto puede demostrar que estamos en el camino correcto o, también, puede demostrar lo contrario. Pero el más importante mensaje de esto es que nuestro entendimiento y conocimiento aún están lejos de la realidad. Lo bueno es que nosotros todavía tenemos mucho que hacer y podemos disfrutar el trabajo que nos gusta, ¡hacer investigación en la ciencia del suelo para entender mejor los suelos!



La ciencia del suelo, el ambiente global y el bienestar humano

Julian Dumanski

16 Burnbank St., Ottawa, Canada. e-mail jdumansk@rogers.com

Los problemas ambientales, resultado de las actividades humanas, han empezado a amenazar la sustentabilidad del sistema de apoyo de vida en la Tierra. La conservación, restauración y el manejo sabio de los recursos de la Tierra son, entre muchos, algunos desafíos críticos que enfrenta la humanidad.

Lubchenko, 1998

El estudio del suelo como un cuerpo natural comenzó como una ciencia agrícola, pero su futuro queda con las ciencias ambientales. El suelo es un cuerpo viviente, es parte integral del ecosistema terrestre de la tierra y un componente importante en el suministro de servicios y beneficios del ambiente global. La sobreexplotación humana de los recursos naturales ha resultado en una considerable degradación de los ecosistemas globales (capital natural); recientes estimaciones indican que ésto continuará como consecuencia de un probable aumento al doble, de tres a seis, del PIB global para 2050, incluso mientras que las poblaciones globales están en espera de nivelarse (UNEP, 2005). El reto para los científicos del suelo es integrar y profundizar su ciencia, junto con profesionales ambientales, sociales, económicos y políticos, para ayudar a resolver estos vitales problemas ambientales globales.

El estado del ambiente

En la actualidad, alrededor de 25% de la superficie terrestre de la Tierra se maneja intensivamente, en la agricultura, los bosques naturales, las plantaciones o las reservas naturales (UNEP, 2005); y cerca de 70% del total de la superficie de la tierra está bajo alguna forma de intervención humana (Vitousek, 1994). El Informe de la Valoración de los Ecosistemas del Milenio (UNEP, 2005) muestra cómo este grado de cambio de uso de tierra está impactando en los ecosistemas globales y el bienestar humano:

- En los últimos 50 años, más tierras se convirtieron en tierras de cultivo que en los 150 años entre 1700 y 1850;
- Se retiró el doble de agua pura (70% para la agricultura) y se cuadruplicó la represa de agua detrás de diques;
- Se duplicó el flujo de nitrógeno biológicamente disponible y el flujo de fósforo se triplicó. Casi la mitad de todos los fertilizantes sintéticos se han usado desde 1985;
- La concentración atmosférica de CO₂ ha aumentado en 32%, desde 1750, con casi 60% de éste desde 1959;
- Las actividades humanas están resultando en pérdidas significativas de fauna y biodiversidad global.

La degradación de los servicios del ecosistema representa una pérdida de bien capital y mientras esto a veces puede justificarse por producir mayores ganancias en otros

servicios, frecuentemente, los servicios de los ecosistemas, de más interés para la sociedad, se degradan aún más (UNEP, 2005).

Convenciones internacionales

La Convención Internacional del Ambiente provee una plataforma y un enfoque para revertir la degradación del suelo a una escala global. Mientras todas las convenciones tratan problemas complejos del manejo de la tierra a niveles globales y nacionales, sólo la Convención de las Naciones Unidas para el Combate de la Desertificación, la Convención de las Naciones Unidas para la Estructura sobre Cambio Climáticos y su subsidiaria, el Protocolo de Kioto, y el Foro de las Naciones Unidas sobre Bosques, se refieren específicamente al manejo de la degradación de la tierra y el suelo. Otras convenciones relacionadas incluyen la Convención de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica, los acuerdos de estructura sobre aguas internacionales y el tratado Ramsar sobre tierras inundadas. Las convenciones internacionales no guían las actividades en conservación de suelos, pero proveen el foro y la agenda global para que los problemas del suelo se integren más comprensiblemente dentro de la agenda ambiental global.

La ciencia del suelo y el manejo de ecosistemas

El ambiente terrestre global consiste de un mosaico de ecosistemas naturales y tierras de uso humano, entrelazados ecológicamente. La salud de estos ecosistemas, definida como ecosistema integrado, depende de los componentes del ecosistema y la sinergia de procesos que pasan entre ellos, y promueve un flujo estable de producción y buenos ambientes y servicios (GEF, 2004). La degradación de la tierra afecta componentes de ecosistemas seleccionados y ciclos funcionales, dañando la sinergia y la seguridad de servicios que fluyen de ellos. El papel de la ciencia del suelo, en la mitigación de la degradación de la tierra, es enfocar la atención en los enlaces y sinergias entre y a través de componentes identificados de los ecosistemas locales y globales, comprendiendo que el suelo es el pivote central y la conexión a través de la cual pasan todos los procesos.

Se requiere una aproximación del paisaje para estudiar el papel del suelo como un componente integral de los ecosistemas modificados (manejados) y naturales (Dumanski *et al.*, 2002). El estudio del paisaje promueve el entendimiento de las interacciones ecológicas y socioeconómicas, ligando los beneficios de buenos ambientes locales a los globales y los servicios, en áreas trazadas de la superficie terrestre de la Tierra. Los agroecosistemas y otros ecosistemas manejados experimentan diferentes presiones, flujos de energía y dinámicas; y éstos tienen que ser mejor entendidos, no sólo en términos de retorno de capital (rendimiento, etc.), sino también como una consecuencia de la intervención humana sobre los sistemas naturales.

A menudo, la mitigación de la degradación de la tierra y la restauración de los ecosistemas, requiere de la acción en las iniciativas legislativas y económicas, como la creación de políticas ambientales, un mayor uso de instrumentos económicos (como el comercio del carbono), el pago por servicio de ecosistemas, el establecimiento de esquemas de certificación, la incorporación de valores no mercantiles en inversiones a

ecosistemas, así como también la remoción de subsidios perversos y otras políticas que impactan negativamente en el manejo de los ecosistemas. No obstante, la resolución final requiere de innovaciones tecnológicas en la ciencia del suelo que mejoren la salud de éste, mientras concurrentemente proporcionan beneficios económicos (Dumanski *et al.*, 2002).

Los científicos del suelo ya están participando en muchas de estas iniciativas, pero el involucramiento de la ciencia del suelo debe rodearse de otras ciencias y aproximaciones. Sin embargo, para hacer posible esta transición, la ciencia del suelo tendrá que dejar su puritana posición unicientífica del pasado y volverse una ciencia que actúe para integrar todas las facetas de la biofísica y ambientes humanos dentro de los cuales ésta funciona. Después de todo, ¿no es la naturaleza donde encontramos al suelo?

Referencias

- Dumanski, J., P.A. Bindraban, W.W. Pettapiece, P. Bullock, R.J.A. Jones, and A. Thomasson. 2002. Land classification, sustainable land management, and ecosystem health. *In: Encyclopedia of food and agriculture science. Encyclopedia of life support systems.* EOLSS Publishers. Oxford, UK.
- GEF. 2004. Scope and Coherence of land degradation activities of the GEF.GEF/C.24/6.GEF. Washington, DC.
- Lubchenko J. 1998. Entering the century of environment: A new social contract for science. *Science* 279: 491-497.
- UNEP. 2005. Millennium Ecosystem Assessment. UNEP. Nairobi, Kenya.
- Vitousek, P.M. 1994. Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology* 75: 1861-1876.



El futuro de la ciencia del suelo

Hari Eswaran

USDA Natural Resources Conservation Service, 1400 Independence Avenue Washington DC 20250, USA. e-mail hari.eswaran@WDC.usda.gov

La ciencia provee la base del conocimiento en favor de los humanos para mejorar el manejo de su ambiente y asegurar una calidad de vida favorable para las generaciones presentes y futuras. Esta última afirmación, ha tomado un nuevo sentido de urgencia. Los científicos han debatido los límites de la capacidad de la Tierra para sostener el continuo crecimiento de la población. Algunos de éstos ven límites a la capacidad del suelo para producir los alimentos y las fibras necesarias para el anticipado aumento de la población. Otros piensan en lo prematuro de subestimar el potencial de las tecnologías futuras para aumentar inmensamente la producción de comida. Hoy, hay aproximadamente 800 millones de personas que están desnutridas o mal alimentadas y otros 2.2 mil millones personas que consumen una ingesta calórica mínima. Existe una fuerte correlación climática-geográfica con la desnutrición. Muchos de los desnutridos viven donde es muy frío, muy seco, muy húmedo o muy caliente para la producción agrícola. Adicionalmente, la pobreza y la inestabilidad de los mercados y gobiernos indican que muchos de estos países no están en posición de beneficiarse de avances tecnológicos. La pobreza, la torpeza civil y la corrupción de los gobiernos, los cuales, a menudo, están indisolublemente ligados, obstaculizan en la expansión de la capacidad para producir y distribuir alimentos y comida, efectivamente, en dirección de los desnutridos.

La ciencia del suelo, como muchas otras ciencias, estuvo en la inactividad durante la última década del siglo XX. La creencia de que la biotecnología superaría todos los contratiempos en la producción agrícola significó un menor énfasis en la necesidad de entender a los suelos. Los límites, y no sólo las promesas, de la biotecnología están claros ahora. El futuro de la ciencia del suelo depende de qué tan bien hagamos un manejo igualitario y estable del progreso científico. La ciencia del suelo debe mantener su identidad mientras demuestra su valor a otras ciencias; debe contribuir, pero no debe sesgarse por logros en otras ciencias relacionadas. Para la ciencia del suelo el desafío es mantenerse pertinente, producir resultados que no sean significativos sólo a científicos, sino también para el público; y continuar empujando hacia nuevas fronteras en su campo. El futuro depende de cómo enfrentemos estos continuos desafíos.

Generalmente, no sobresalimos en demostrar nuestras contribuciones y valores al público. De hecho, evitamos comprometerlo. Los años sesentas y setentas fueron de apogeo en nuestra profesión, mientras se reunía la comunidad científica para trabajar sobre la terminología y la clasificación. Tomamos un objetivo definido y trabajamos para alcanzarlo. Claramente, la Sociedad de la Ciencia del Suelo trabajará y destacará cuando confronte un desafío. El liderazgo actual debe poner por delante un nuevo desafío para movilizar la fuerza técnica de la Sociedad hacia un objetivo claro y significativo. El próximo Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, de la IUSS,

promete ser bueno y podría ser grande si trae por delante tal chispa. La degradación de la tierra y la desertificación tienen gran potencial para ser un punto de reunión, y podrían serlo con el valioso soporte de la Sociedad.

Nuestro futuro depende de nuestra habilidad para encajar en las decisiones públicas acerca de la ciencia. Para mantener la ciencia viva, tenemos que permanecer pertinentes y producir resultados que sean significativos a la sociedad. Esto se hace a través de nuestro contrato social. La ciencia del suelo fue más fuerte cuando el beneficio social fue su objetivo declarado, incluso cuando nosotros éramos demasiado optimistas sobre la promesa de la ciencia del suelo. Tenemos que fomentar y asegurar el diálogo entre científicos, políticos y el público en general. Tenemos que ser transparentes a las preguntas como: ¿quiénes somos?, ¿por qué la ciencia es relevante?, ¿en qué dirección vamos y cómo la determinamos?, ¿cuáles son los beneficios públicos?

Hay muchos problemas que afectan nuestra habilidad para asegurar los sistemas agrícolas sustentables, la mayoría son de naturaleza socio-económica. Los tres problemas más importantes son:

1. El rápido abatimiento, en calidad y cantidad, de los recursos naturales globales debido a la degradación (desertificación) y el incontrolable consumo de recursos en muchos países, específicamente países en vías de desarrollo, las tensiones de la agricultura global con consecuencias negativas a largo plazo.

Aproximadamente 33 por ciento de la superficie del suelo de la Tierra tiene el potencial para la desertificación. Esto es alrededor de 42 millones de km² y afecta más de mil millones de personas. Para el 2020, si no se toman las acciones adecuadas, el número de personas afectadas será más del doble. Como la mayor parte del incremento en la población se da en Asia y África, estas regiones sufrirán más. Con una reducción de la capacidad de estos países para ser autosuficientes en alimentos, la seguridad de alimentos surgirá como un mayor problema global, forzando a los países del oeste a proveer más comida. Esto puede estresar aún más los recursos de la tierra, incluyendo un drenaje neto o el desequilibrio de los nutrientes en el recurso suelo de los países donadores. Esta situación se puede agravar con el cambio climático.

2. La ausencia de bases de datos globales, actuales y fidedignos, de los recursos naturales reduce la capacidad de las naciones desarrolladas para dirigir sus inquietudes hacia la hambruna potencial o el desorden socioeconómico, específicamente aquéllos que surgen de carecer de recursos naturales o tierras de baja calidad.

Existe evidencia creciente de que la inquietud civil en muchos países lleva a especializarse en los conflictos que están fuertemente relacionados con la capacidad y calidad de los recursos de la tierra. Los avisos oportunos de los indicadores de hambruna y las proyecciones de colapso de los ecosistemas pueden ayudar a impedir algunos de estos conflictos. La estabilización de los sistemas agrícolas de los países, específicamente a través de la implementación de políticas apropiadas de conservación de suelo y agua, pueden ayudar a reducir los impactos de las desgracias naturales. Los países propensos a sequías, particularmente aquéllos dependientes del ganado, pueden reducir pérdidas por el uso juicioso de las tierras de pastoreo. La deforestación a gran

escala y la quema de las selvas en los trópicos afectan el clima con los impactos adicionales en la calidad del aire.

3. La ausencia de un mecanismo de colaboración global para asegurar que las bases de datos estén disponibles para todos, el manejo estandarizado del suelo, los procedimientos de control de calidad en los levantamientos de suelos y la valoración de los recursos.

El desarrollo de bases de datos globales es costoso, pero la utilización de estándares y procedimientos aceptados en el ámbito internacional puede producir un desarrollo más eficiente, ya que bases de datos nacionales pueden combinarse dentro de un sistema global. Cuando se utilizan diferentes estándares, el costo del mantenimiento de las bases de datos se incrementa exponencialmente y se reduce la disponibilidad para compartir información.

El deseo de todos los países debe ser el de adoptar políticas que apoyen metas mutuas de salud del suelo, agua limpia y cultivos sustentables. Los métodos y sistemas necesarios para alcanzar estos objetivos son: un programa de valoración y monitoreo que rastree las condiciones de calidad de los recursos, el uso de tecnologías apropiadas y políticas ambientales que habiliten las prácticas de una agricultura sustentable. Logrando esta situación, los países estarán en la posibilidad de cumplir sus deseos. La ciencia del suelo puede servir como el vehículo para alcanzar estos objetivos.



El futuro de la ciencia del suelo

Richard Fowler

ARC-GCI KwaZulu-Natal, South Africa. e-mail rmfowler@iafrica.com

“¡Los agricultores están haciéndolo, los extensionistas están intentando detenerlos y los investigadores están intentando entender lo que está pasando!” Este resumen de la Secretaría de Conservación Agrícola de Brasil de la revolución a finales del siglo XX, se aplica a muchos de los sistemas innovadores de producción de cultivos, en uso desde entonces. Ambas, las prácticas ‘moderna’ y ‘tradicional de los agricultores’, como la agricultura orgánica y la labranza mínima, los sistemas LEISA (Agricultura Sustentable de Baja Entrada Externa) y SRI (Sistema de Intensificación de Arroz), frecuentemente encuentran desacuerdo con consejeros de limitado acceso a resultados recientes, visión o información para incorporar resultados de ‘disciplinas destellantes’ dentro de los sistemas campesinos.

En los pueblos globales, las áreas dedicadas a la producción de cultivos disminuyen, como resultado de la urbanización, la erosión y el calentamiento global, lo que incrementa la necesidad de cultivar suelos degradados y marginados, utilizando cubiertas de paja, reduciendo la labranza, practicando la agricultura de conservación (perturbación mínima del suelo, máxima cobertura del suelo y rotación de cultivos) y produciendo ‘más cultivos por goteo’. Las demandas de productos alternativos, como biocombustibles y alimentos tradicionales ‘saludables’ (especialmente no-GMO), se acelera. Las entradas externas de fertilizantes (especialmente inorgánicas) se volvieron cada vez más costosas, debido a la reducción percibida y real en la disponibilidad de los hidrocarburos; y la humanidad redescubrió su necesidad de balancear o reemplazar la búsqueda hedonística por una mejor nutrición, estímulos mentales y paz espiritual, mientras contempla la posibilidad inherente en la exploración del Espacio.

Lo conocido actualmente como ‘agricultura moderna’ se construye en el entendimiento fisicoquímico del suelo, que margina a los actores y factores biológicos. Aunque en años recientes se ha estado incrementando el reconocimiento sobre la centralidad de los actores biológicos en el sistema suelo, los científicos del mañana necesitarán ir más allá del ‘post-modernismo’, intentando imitar los sistemas del bosque y teniendo en cuenta la importancia de valores como la reducción de la pobreza, la conservación ambiental (incluyendo la biodiversidad sobre y debajo de la tierra) y la distribución equitativa de los alimentos. Debido a los costos y la disponibilidad de fertilizantes, los científicos necesitarán buscar maneras de:

- Prevenir y rectificar, por ejemplo, la compactación del suelo, la salinidad y acidificación del suelo, usando procesos naturales;
- Volver a revisar la Ley del mínimo de Liebig’s, teniendo en cuenta no sólo al suelo, sino a otros determinantes del rendimiento, como la disponibilidad de financiamiento, mano de obra, combustible y otras entradas externas, normas culturales;
- Habilitar a los agricultores de pequeña y gran escala, utilizando el segundo paradigma de Sánchez (1994): confiar más en los procesos biológicos adaptando

germoplasma a condiciones adversas del suelo, reforzando la actividad biológica del suelo y optimizando el ciclo de los nutrientes para minimizar las entradas externas y maximizar la eficiencia de su uso.

Para hacer frente a estos retos complejos, los científicos del suelo del siglo XXI necesitarán hacerse más holísticos en su enfoque. Mientras continúan con investigaciones físicas, químicas y biológicas, necesitarán utilizar simulaciones y modelaciones para fortalecer su entendimiento de la interacción de estas propiedades con otras, así como también con otros componentes del ciclo de producción. Mientras trabajan en estrecha relación con antropólogos, sociólogos, economistas, entomólogos, patólogos de plantas, malas hierbas y otros cultivos agronómicos, ellos necesitarán, como John Hanks una vez formuló, ‘poner un pie en el campo’.

En adición a científicos ‘puros’, los ‘Especialistas Generales’ necesitan desarrollarse holísticamente en científicos bien informados, quienes escuchen las necesidades de los agricultores, para después salir y descubrir la raíz de las causas de los problemas y, entonces, desarrollar posibles soluciones, probándolas en laboratorio o campos experimentales, sugiriendo opciones que los agricultores puedan comparar por sí mismos y luego difundan los resultados a todos los usuarios potenciales, tanto a aquéllos con entrenamiento como a quienes se encuentran en entrenamiento. El cabildeo efectivo y resuelto de los políticos y otras opiniones de líderes, combinadas con consumidores del mercado, se requerirán para asegurar que estos esfuerzos sean instaurados, que sus resultados permanezcan en el dominio público y que las consideraciones a corto y largo plazo influyan en las decisiones del éxito.

A mediados de 1950, existió una escuela del pensamiento en la cual se creía que la función primaria del suelo era el anclaje de las plantas. Sabemos que el suelo no es una mezcla de partículas por casualidad, sino un sistema biológico complejo y dinámico, que incluye muchos organismos aún sin nombre, entendámoslo, especialmente con relación entre sí. Superficialmente hemos visto cómo la alteración del suelo destruye su estructura, pero sólo hasta ahora estamos comenzando a apreciar que tan importante es esa estructura, no sólo para la entrada y penetración de aire, agua y raíces, sino también para el mantenimiento y vitalidad de los sistemas meso, micro y bio, especialmente, y a su vez el efecto en la disponibilidad de nutrientes para la raíz, el crecimiento de la planta y, por consiguiente, el rendimiento de la cosecha. Por desgracia hemos intentado reemplazar los procesos naturales con arreglos rápidos, por ejemplo, la falta de lombrices con subsuelos, la falta de depredadores con pesticidas. Como resultado, la capa superficial se erosiona por efecto del viento y el agua, los pesticidas están proliferando, los costos van en aumento y, en muchos casos, los rendimientos disminuyen. La función primaria de los científicos del suelo en el siglo XXI se orienta a escuchar, actuar con lógica e investigar y comunicar, para desarrollar su propio entendimiento y el de los agricultores, consejeros y políticos acerca del complejo suelo y su importancia crítica para la supervivencia humana en este planeta.

Agradecimientos

Muchos amigos y mentores de diversos continentes, culturas y escuelas de pensamiento están contribuyendo en mi entendimiento. Algunos estarán de acuerdo con lo que estoy diciendo, otros pueden estar en desacuerdo, pero me gustaría agradecerles a todos, especialmente a aquéllos que se tomaron el tiempo y la molestia para responder a mi petición de 'ayuda!'. Su número es legión, su intelecto profundo, su búsqueda de la verdad, ejemplar, pero agradecerles por nombre podría ser injusto para aquéllos a quienes omitiera. ¡Así, por favor, mis colegas, estén satisfechos con unas cordiales gracias!

Referencias

Sánchez, P.A. 1994. Tropical soil fertility research: towards the second paradigm. Transactions 15th World Congress of Soil Science. ISSS, Acapulco, pp. 65-88.



El futuro de la ciencia del suelo: el papel de los suelos para la sociedad y el medio ambiente

Emmanuel Frossard

ETH Zurich, Institute of Plant Sciences, Experimental station Eschikon, P.O.Box 185, 8315 Lindau-Eschikon, Switzerland. E-mail emmanuel.frossard@ipw.agrl.ethz.ch

Durante el último siglo, la humanidad se ha apropiado de una gran porción de los recursos ambientales. Este dominio resultó en un fuerte incremento en los flujos de nutrientes y contaminantes en el ambiente; en una reducción de las reservas de los recursos naturales (mantos acuíferos, petróleo, fosfatos); en contaminación de agua, aire y suelos; degradación de suelos e, incluso, en algunos casos, la desaparición de tipos de suelos raros; aumento de la urbanización; la reducción de la biodiversidad; y el incremento de catástrofes naturales y problemas de salud humana. Estas variaciones se resumen bajo el término de “cambio global”. Los diversos aspectos del cambio global serán exacerbados, puesto que la población mundial aumentará de 6 a 9 mil millones. De tal manera que la producción de alimentos debe ser el doble para el año 2050, para enfrentar las necesidades de la creciente población. En otras palabras, la producción agrícola tiene que aumentar, principalmente, en los países en vías de desarrollo. Esta situación se ha empezado a ver en el rápido incremento de la superficie plantada con cultivos genéticamente modificados y el fuerte incremento de la producción de ganado, nuevos aspectos notables de la producción agrícola. Todos estos cambios afectan, directa o indirectamente, las propiedades y funciones del suelo.

Mientras que las consecuencias del cambio global sobre el clima, la calidad del aire, la cantidad y calidad del agua y la biodiversidad se están discutiendo ampliamente en el público y reciben la atención de fundaciones, la importancia del suelo es menos reconocida. En países industrializados esta carencia de conciencia está relacionada con diversos factores. Los alimentos son abundantes y pueden importarse de otros países y, por lo tanto, los suelos no se reconocen, como una base indispensable para la producción de alimentos. En cambio, el suelo puede comercializarse como un sustrato para construcciones y calles, en algunas instancias, a precios muy altos. En otros lugares, la fertilidad del suelo es altamente valorada por pequeños propietarios, de áreas tropicales y subtropicales, para la producción de alimentos; sin embargo, la carencia de financiamiento impide la inversión en técnicas de mejoramiento en algunos suelos, que se cobrará en el futuro. Finalmente, las otras funciones del suelo, aparte de la de producir alimentos, se reconocen escasamente por el público en general, a menos que éstas se pierdan.

Los suelos son recursos naturales que no son renovables en la escala de tiempo de la vida humana. Sus propiedades y manejo deben considerarse en cualquier esquema de desarrollo sustentable. El reto es utilizar a los suelos de tal manera que las necesidades de la humanidad puedan cubrirse sin comprometer las necesidades de generaciones futuras.

¿En qué y cómo puede contribuir la ciencia del suelo?

Aún es necesario explicar las diferentes funciones de los suelos, dentro de los límites de la comunidad de la ciencia del suelo, a otros científicos, profesores, políticos y público, en general. Las decisiones políticas deben tomarse antes de que ocurran problemas dramáticos como ¡la tormenta de polvo en 1930 en EUA! Esto requiere, por un lado, actividades de investigación sólida en la ciencia del suelo y, por otro, un continuo diálogo entre los científicos del suelo y la sociedad. Un buen ejemplo, al respecto, es el desarrollo reciente de la Estrategia Europea para la Protección del Suelo, durante la cual científicos del suelo y políticos estuvieron involucrados en un diálogo sobre suelos con el público.

La investigación rigurosa y de alta calidad está manteniendo las bases de la ciencia del suelo y lo seguirá haciendo. La cobertura de las diferentes necesidades de la sociedad, en una forma sustentable, sólo puede basarse en un conocimiento profundo de las propiedades y funciones del suelo. Muchas investigaciones excelentes se han realizado en las diferentes subdisciplinas de la ciencia del suelo, pero todavía hay mucho que hacer para mejorar nuestro entendimiento de los procesos que controlan el desarrollo y funcionamiento del suelo. En particular, es necesaria la investigación para entender los posibles efectos del cambio global sobre las funciones y propiedades del suelo (por ejemplo, en el intemperismo, el flujo del agua y elementos, la biodiversidad del suelo, etc.), así como para adaptar usos y manejos de la tierra para nuevas situaciones. También es necesaria más investigación en la interfase entre la ciencia del suelo y otras disciplinas científicas, incluyendo a la geología, la geografía, la biología, la agronomía y las ciencias sociales y económicas. Finalmente, los resultados de estos estudios interdisciplinarios necesitarán integrarse conjuntamente, no sólo con modelos conceptuales, sino también numéricos. Esta integración permitirá obtener una idea compartida acerca de los sistemas en estudio y hacer predicciones, por ejemplo, sobre el efecto de las decisiones políticas o los cambios en las condiciones económicas sobre las propiedades y funciones del suelo. Estas actividades de investigación, ya sean orientadas a mejorar el entendimiento del funcionamiento del suelo o mejorar el manejo del mismo, deben intentarse en todos los niveles, desde el laboratorio y el campo, hasta escalas globales. Deben llevarse a cabo a escala mundial, incluyendo científicos de países en vías de desarrollo en redes eficientes como la Unión Internacional de la Ciencia del Suelo. La comunidad de la ciencia del suelo debe contribuir más activamente en las iniciativas internacionales. La Unión Internacional de la Ciencia del Suelo está involucrada en el Consejo Internacional de Ciencias sobre el papel de la Ciencia para la Salud y el Bienestar, y en el Año Internacional del Planeta Tierra de las Naciones Unidas, por citar dos buenos ejemplos.

La información derivada de investigaciones debe hacerse disponible para la comunidad científica, para los usuarios del suelo (agricultores, ingenieros agrónomos, forestales y civiles) y la sociedad. Debemos ser capaces de convencer a los políticos para adoptar medidas pro-suelo. Como los políticos debieran tomar decisiones basadas en la necesidad de la gente, los ciudadanos necesitan una educación apropiada sobre suelos, no sólo en el ámbito universitario, sino también en la escuela secundaria y primaria. Es un deber continuo convencer a los ciudadanos de que el suelo donde caminan, construyen y en el cual dejan su basura, es una de las bases de la vida sobre

esta Tierra. En Suiza, aunque la protección del suelo está fijada en un decreto federal, casi un metro cuadrado desaparece cada segundo debajo de construcciones. La cantidad de superficie total de sitios con industrias abandonadas es de 17 millones de metros cuadrados, lo cual equivale al total de la superficie de la ciudad de Génova. Estos sitios son un gran potencial para utilizarse antes de extender las construcciones hacia sitios nuevos. Una gran proporción de suelos agrícolas son afectados por erosión y compactación y 10 000 ha también tienen altas concentraciones de contaminantes. ¡El papel del suelo no sólo debe ser parte del dialogo social, sino deben implementarse soluciones basadas en la ciencia para garantizar su uso sostenido!

Agradecimientos

El autor agradece al Dr. A. Oberson (ETH Zurich) por su fructífera discusión sobre este documento.



El futuro de la ciencia del suelo

C. Gachene

Faculty of Agriculture, University of Nairobi, P.O. Box 29053 – 00625, Nairobi, Kenya. e-mail: gachene@uonbi.ac.ke

¡Esperando que haya futuro! El futuro es triste. Durante los finales de los setentas y principios de los ochentas, había reconocimiento para la ciencia del suelo y mucho campo de actividad en el desarrollo rural, como los programas de irrigación. Las Fundaciones no eran un problema y la matrícula de estudiantes en los niveles de postgrado tampoco, ni las becas para emprender estudios de postgrado en la ciencia del suelo fueron limitadas. Hoy, es diferente en Kenia. La ciencia del suelo, en la universidad donde estoy enseñando, está en peligro de extinción. Los estudiantes de postgrado son pocos. Durante la reorganización de los departamentos de la ciencia del suelo, éstos fueron los primeros en fusionarse con otros, a pesar de la importancia de la ciencia del suelo en la producción agrícola.

Algunas de las razones dadas por la carencia de entusiasmo en la ciencia del suelo, son las siguientes:

- La disminución de apoyos de donadores en el campo de la ciencia del suelo, comparado con otros campos de la agronomía. Esto está afectando tanto a la investigación, como a la capacidad de producir (recurso humano y equipo);
- La carencia de atención, a nivel político, en la importancia de la ciencia del suelo;
- La carencia de oportunidades de trabajo;
- La carencia de soporte de sociedades de ciencias del suelo, locales o regionales, que están esperando producir, al mismo tiempo, científicos del suelo para mejorar el intercambio de información. ¡Hablar de clubes con la disminución de miembros!
- La revisión de planes de estudios para salir de la ciencia del suelo tradicional, que parece no ser tan cordial y popular con los estudiantes.

Sugerencias sobre el camino a seguir

Deben explorarse las maneras de apoyar a la ciencia del suelo, especialmente en el mundo en vías de desarrollo. Aunque muchos proyectos agrícolas son manejados por donadores, no deberíamos descuidar la importancia de la ciencia del suelo. En Kenia, la Fundación Rockefeller fue uno de los mayores soportes de la ciencia del suelo, hasta el año 2004, cuando los fondos para los temas dirigidos al suelo llegaron a su fin. ¿Podremos fortalecer la conexión de proyectos de investigación dirigidos a problemas del suelo, los cuales puedan atraer fondos fácilmente?

Hasta que los gobiernos reconozcan la importancia del suelo y la ciencia del mismo, este campo continuará estando en peligro. En Kenia, un equipo pequeño de personas interesadas está trabajando actualmente en un documento político sobre los problemas de la fertilidad del suelo. Una vez terminado, es probable que vengan oportunidades de trabajo. No sorprende que muchos países carezcan de coordinación

unidades/grupos para conocer quién está haciendo qué en los campos relacionados con la ciencia del suelo.

Sociedades de la ciencia del suelo

Siendo, anteriormente, un Secretario General de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de África Oriental (SSSEA), uno de los mayores retos, al mismo tiempo, fue producir científicos locales y el carecer de apoyos para sostener conferencias. ¿Debe la IUSS estar asesorando a tales sociedades en la identificación de donadores potenciales? Yo así lo creo. De hecho, esos cuerpos regionales, como la SSSEA, están generando la filosofía de que no todo está perdido en la ciencia del suelo. Los Grupos de Trabajo de la IUSS, deben, tanto como sea posible, incorporar miembros de países en vías de desarrollo. La carencia en el flujo de información también puede ser un obstáculo para apreciar la ciencia del suelo. Los nuevos desarrollos en ciencia del suelo deben filtrarse a tantos científicos del suelo como sea posible.

Preveo el futuro de la ciencia del suelo si ésta se integra con otras ciencias. Por ejemplo, ¿no deberíamos empezar a mirar sobre los suelos en relación con el ambiente? Debemos salir de la ciencia del suelo tradicional. En consecuencia, es necesaria la revisión de viejos programas de estudio, con una visión de redescubrir el papel de la ciencia del suelo y la sociedad, en general. Siento que esto haría a la ciencia del suelo más atractiva. El futuro no es tan brillante, si el papel de la ciencia del suelo es tradicional como de costumbre. En un país como Kenia, la ciencia del suelo tiene un papel principal en muchos de los problemas ambientales y es necesario destinar más apoyo para ésta.



El futuro de la ciencia del suelo

Sabine Grunwald

Soil and Water Science, Department, University of Florida, P.O. Box 110290, Gainesville, FL 32611-0290, USA. e-mail SGrunwald@ifas.ufl.edu

Para dirigirse al futuro de la ciencia del suelo se requiere entender sus raíces históricas, necesidades sociales y las brechas en el conocimiento. Este breve artículo proporciona una perspectiva sobre el futuro de la ciencia del suelo en un mundo postmoderno manejado por la tecnología que está enfrentándose con los limitados recursos de la tierra.

El suelo varía gradualmente en el espacio geográfico y a través del tiempo, y forma complejos patrones, en función de múltiples factores ambientales interrelacionados y las funciones naturales forzadas. La investigación del suelo se ha enfocado en la génesis de los suelos, su composición, factores que influyen en ellos, y su distribución geográfica. Numerosas subdisciplinas especializadas se desarrollaron dentro de la ciencia del suelo, incluyendo la mineralogía, la microbiología, la química, la física de suelos, y la pedología, por nombrar unas cuantas. Esta segregación dentro de unidades separadas ha generado una comprensión detallada de los suelos. Los retos futuros incluirán la unificación de conocimientos de la ciencia del suelo dentro de ésta disciplina y otras estrechamente relacionadas como la hidrología y las ciencias ambientales, para avanzar hacia el entendimiento de los diversos compartimentos de la tierra, que interactúan entre sí, a diferentes escalas del paisaje. Los científicos del suelo necesitarán, efectivamente, participar en estudios interdisciplinarios sin perder sus propias raíces e identidad. Asimismo, será importante que ellos participen de manera interactiva en la generación de grupos de datos e información, pero también, en la transferencia y la distribución del conocimiento con inversionistas, legisladores, planeadores de uso de la tierra, políticos y otros. La ciencia del suelo debe continuar para extenderse más allá de su identificación tradicional con la agricultura hasta convertirse en una compañera de las ciencias de la tierra, la ecológica y la ambiental.

Múltiples modelos conceptuales del paisaje-suelo se han desarrollado para formalizar el conocimiento sobre los suelos. Por ejemplo, los modelos factoriales suelo-formación usan funciones para relacionar factores ambientales como el clima, la topografía, la cobertura de la tierra, la geología y otros. Algunos sistemas de clasificación de suelos, enraizados históricamente en la geología y la anatomía, se han desarrollado. Los levantamientos de suelo se han enfocado en la cartografía de características morfológicas de suelo y clases taxonómicas, derivadas de observaciones de campo. Esta doble aproximación quebradiza, segrega al suelo continuo dentro de endebles unidades de mapa (polígonos) y agrega múltiples características del suelo para derivar datos taxonómicos. Numerosos esquemas de clasificación del suelo son utilizados ampliamente en el mundo para agruparlos dentro de diferentes categorías. Pero podría ser demasiado simple asumir que podemos satisfacer las necesidades de la sociedad agregando descripciones de pedones y mapas de unidades taxonómicas, a menudo, demasiado generales para aplicaciones sitio-específicas. La demanda de alta

resolución, datos sitio-específicos de atributos de suelo es enorme para dirigir una variedad de problemas locales, nacionales y globales. Estos incluyen, pero no se limitan, a la agricultura de precisión, la valoración de la calidad ambiental, manejo de conservación, manejo sustentable del recurso tierra, captura de carbono, cambio climático global y otros.

La conectividad global, el compartir el conocimiento y la información, han motivado estudios holísticos que se enfocan sobre el entendimiento de las relaciones funcionales entre los componentes del ecosistema. En este contexto, la ciencia del suelo juega un papel primordial, proporcionando conocimiento sobre los patrones del suelo, procesos y dinámicas del paisaje. Los servicios del ecosistema caracterizan las funciones que son útiles para los humanos y contribuyen a la estabilidad, elasticidad, sustentabilidad e integridad de los ecosistemas. Estos servicios son diversos, fluctuando de físicas (por ejemplo, prácticas de manejo que reduzcan el lixiviado de nutrientes) a socioeconómicos (por ejemplo, la producción de cultivos, valores culturales) y aspectos estéticos. Los servicios del ecosistema, suministrados por los paisajes, multi-funcionales y multi-usos, así como también las propiedades del paisaje suelo, son afectados por el tipo, intensidad, y arreglo espacial del uso de la tierra y las actividades humanas. La ciencia del suelo tiene el potencial para contribuir a la evaluación de los servicios del ecosistema.

Estas son cuatro de las principales áreas donde se está contribuyendo al cambio gradual de caracterizaciones cualitativas del paisaje suelo a más cuantitativas:

1. *Nuevas herramientas y técnicas de mapeo* como los sensores del suelo (por ejemplo, inducción electromagnética, espectroscopia de la reflectancia difusa del visible/infrarrojo cercano/medio), sistemas de posicionamiento global, sensores remotos basados en aerotransporte o en satélite, la detección y la oscilación de la luz (LIDAR), etc.
2. *Manejo de datos* – Sistemas de Información Geográficas, y sistemas de manejo de bases de datos.
3. *Informática poderosa* para procesar la base de datos multidimensional del medioambiente.
4. *Métodos* – estadística multivariada avanzada y métodos geoestadísticos, técnicas de reconstrucción tridimensional para crear modelos del paisaje suelo, y algoritmos que describen los procesos pedogenéticos. La cartografía digital y las técnicas de modelación están mostrando muchas promesas por lo rápido y rentable de la cartografía de los suelos con alta resolución espacial, cubriendo grandes regiones. Estos métodos, frecuentemente, combinan matemáticas y estadística avanzadas para comprender, bases de datos ambientales multidimensionales acordes a observaciones medidas del suelo. Una revisión comprensiva del mapeo digital de los suelos y la modelación fue presentada por McBratney *et al.* (2000; 2003) y Grunwald (2006).

La pedometría, definida como la aplicación de las matemáticas y métodos estadísticos para el estudio de la distribución y génesis de suelos, jugará un papel fundamental para formar el futuro de la ciencia del suelo. Ésta integra a la ciencia del suelo con otras disciplinas tales como la ciencia SIG y las matemáticas y facilita en forma explícita la cartografía de atributos del suelo, espacial y temporalmente. La pedometría, en el año 2004, fue adoptada como una nueva Comisión de la Unión

Internacional de la Ciencia del Suelo (IUSS). Una aproximación cuantitativa para la ciencia del suelo permitirá tapan los huecos del conocimiento y mejorar la comprensión de los procesos pedogenéticos a escalas micro, meso y macro, los comportamientos no lineales de los procesos del ecosistema, los ciclos biogeoquímicos a escalas multi espaciales y temporales; asimismo, permitirá evaluar los efectos de la actividad humana y las funciones forzadas de la naturaleza sobre la calidad del suelo. Para incluir certidumbre dentro de las aplicaciones de la ciencia del suelo, será importante optimizar el manejo sustentable de los recursos de la tierra. Aunque, las relaciones genéricas entre los atributos del suelo y los factores ambientales se han identificado, estos dominios son específicos y pueden cambiar a través del tiempo. Por eso, no existe ecuación universal o modelo que se ajuste a todos los paisajes suelo. Ésta es una amplia oportunidad para los científicos del suelo para cubrir estas brechas de investigación usando técnicas científicas deductivas e inductivas.

Los programas de educación interdisciplinarios serán el pivote para entrenar a la próxima generación de científicos del suelo. El futuro de estos científicos requiere un extenso entrenamiento, enraizado en la ciencia del suelo tradicional (física de suelos, química de suelos, microbiología de suelos y pedología) complementado con habilidades analíticas, cuantitativas y de modelación geoespacial. La distribución de mapas de suelo 2D y datos basados en la web continuará jugando un papel principal para difundir la información ampliamente. La visualización científica y las técnicas de reconstrucción para crear modelos del paisaje suelo en 3D y 4D facilitarán una mejor comunicación del conocimiento al público, en general. Finalmente, no debemos olvidar que el futuro de la ciencia del suelo no solamente depende de datos y hechos, sino requiere de una motivación genuina y entusiasta por la materia.

Referencias

- Grunwald, S. (ed.). 2006. Environmental soil-landscape modelling – geographic information technologies and pedometrics. p. 488. CRC Press, New York.
- McBratney, A.B., I.O.A. Odeh, T.F.A. Bishop, M.S. Dunbar, and T.M. Shatar. 2000. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. *Geoderma* 97: 293-327.
- McBratney, A.B., M.L. Mendoça Santos, and B. Minasny. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma* 117: 3-52.



El futuro de la ciencia del suelo

Alfred Hartemink

ISRIC – World Soil Information, PO Box 353, 6700 AJ, Wageningen, The Netherlands. e-mail Alfred.hartemink@wur.nl

No es fácil pensar acerca del futuro de la ciencia del suelo sin considerar las tendencias del pasado y las del presente. Daré breves ideas sobre el futuro, como una pequeña extrapolación del presente y el pasado, y después, sin pensar en ellos, acerca del futuro – la independencia imaginable del futuro de la ciencia del suelo. Finalmente, algo sobre la IUSS.

La ciencia del suelo siempre ha tenido dos formas de pensamiento: mostrar cómo está funcionando el mundo y cómo debería estar funcionando – y cambiando el mundo. Ha sido bueno en ambos sentidos, pero ha habido un cambio hacia la segunda manera de pensar, acentuando la utilidad de nuestras actividades. Relacionado con esto, en la última mitad del siglo XX, la comunidad de la ciencia del suelo se ha estado diluyendo por la entrada de personas atraídas por la ciencia, como una fuente de dinero y trabajos, no por vocación (Philip, 1991). Una generación se está retirando y se han creado pocas posiciones nuevas. Se está haciendo menos ciencia del suelo ahora que hace 20 o 30 años y, sin embargo, el número de publicaciones se incrementa cada año. Puede ser que la ciencia del suelo esté trabajando más eficientemente, al estar las computadoras involucradas en todas las etapas de coleccionar datos y colocarlos en publicaciones electrónicas. Puede ser que sólo estemos reciclando ideas.

Los cambios de uso de la tierra por la creciente población, el cambio climático y la globalización creciente, han sido y seguirán siendo globalmente masivos. Como las compañías mueven sus fábricas alrededor del mundo, en la búsqueda de más ingresos económicos, la agricultura está moviéndose a áreas donde pueda producir mayores ingresos. En muchas regiones templadas, los recursos de las áreas bajo agricultura están decreciendo; en las regiones tropicales, la producción de alimentos tiene que crecer. En ambas regiones, la información del suelo es esencial. No podemos enfatizar esto lo suficiente, pero confiamos en datos antiguos, algunas técnicas observacionales anticuadas y, en particular, nuestro juicio. Hay nuevos sensores y otros tipos de observaciones, como la secuenciación genética de las muestras (no especies), que acelerarán el entendimiento de los suelos (Gewing, 2006) y pueden tener mayor vinculación con algunas de las funciones primarias de los suelos (por ejemplo, medio para el desarrollo de las plantas, filtrado y amortiguado, captura de carbono, etc.). Estos no se están utilizando rutinariamente todavía, pero está en puerta una revolución en las técnicas observacionales.

Creo que fue Keynes quien dijo: la dificultad queda, no en las nuevas ideas, sino en escapar de las viejas que se ramifican en cada esquina de nuestras mentes. De algún modo, estamos tomando a los suelos en el mismo sentido que hace 100 años. Simplemente, suponga que la ciencia del suelo tuviera que iniciar hoy, que nosotros no conociéramos nada acerca de los suelos ni tuviéramos alguna idea de cómo investigarlos. ¿Qué haríamos? ¿Trataríamos a los suelos como a las plantas, animales y

al sistema completo de la tierra? ¿Trataríamos de buscar sistemas de clasificación para unidades discretas? ¿Mediríamos un conjunto de propiedades individuales, combinándolas, ligándolas y derivando alguna sabiduría de esto? Es difícil proponer respuestas que se liberen de nuestro pensamiento en los triángulos de texturas, diferenciación de horizontes o fracciones de carbono (C). En cualquier caso, si la ciencia del suelo se inventara hoy, sería más independiente de la agricultura – por lo menos en aquellos lugares del mundo donde los alimentos son abundantes. Tal vez llegaríamos a un nuevo conjunto completo de propiedades de diferenciación y medidas que no encajan en el pensamiento del modelo de formación del suelo: clima-organismos-relieve-material parental-tiempo (CIORPT).

No puedo imaginar que podamos hacer buena ciencia del suelo sin experiencias de campo y laboratorio. Sin embargo, las habilidades de la computación están volviéndose más importantes cada vez y en los grados de ciencias la importancia de las matemáticas y la química se sustituirán por las habilidades con la computadora. Pero el pensamiento tiene que permanecer, ésa es la parte más difícil de simular y, como en cualquier ciencia: pensar demasiado poco obstruye el progreso.

Para algunos, la ciencia del suelo es víctima de su propio éxito, a tal grado que, globalmente, hay bastante para comer (pero distribuida de manera irregular) y con una población urbana en crecimiento, aislada del recurso suelo, donde el conocimiento e interés en este recurso está disminuyendo. La siguiente generación (tal vez dominada por el género femenino) no está necesariamente entusiasmada por la presencia de revestimientos en la parte más baja de un horizonte Bt. Ésta tiene otras emociones, conducidas por los artefactos tecnológicos como el sincrotrón, los sensores para el mapeo de lombrices de tierra o el software que vaga por la red y construye nuevas infraestructuras de datos. También pueden conducirse por inquietudes de la sociedad. Hay el peligro de que la nueva generación caiga en el mismo hoyo, del que unos de ellos habían escapado. Si la información y la sabiduría obtenida por los nuevos métodos no se etiqueta y comunica como generada por la ciencia del suelo, no será reconocida por otras disciplinas. Ése es un peligro.

Algo acerca de la IUSS

Hay tres retos para la IUSS. Primero, consolidar la comunidad global de la ciencia del suelo – este problema tradicional cada vez es más importante, ahora que muchos científicos del suelo están formando parte de otros departamentos o están siendo recalificados. Segundo, la IUSS debe incrementar el reconocimiento de la ciencia del suelo entre la comunidad científica. Esto se provee, en parte, por los miembros de la ICSU y el Año Internacional del Planeta Tierra. Tercero, la IUSS tiene que jugar un papel clave en la información al público en general y a los políticos – muchos de los cuales están alejados del suelo.

Hay otras cosas que la IUSS debe hacer. El Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, celebrado cada cuatro años, podría dejar de ser atractivo a la larga. Mucha gente prefiere diferentes tipos de reuniones para la mejor interacción con otras disciplinas; además, cada vez se publica en otras revistas que en las enfocadas en ciencia del suelo. La IUSS puede co-organizar el Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo con otras sociedades para iniciar y adoptar interacciones; por ejemplo, con la IGU (Unión

Internacional Geográfica), la INQUA (Unión Internacional de Investigación Cuaternaria), la ISPRS (La Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos) y también los químicos (IUPAC) y los físicos (IUPAP). Así, en lugar de escoger un país para el siguiente congreso mundial, la IUSS debería escoger una unión científica. Esto formaliza lo que ya está pasando en la tierra y podría contribuir a reforzar una identidad de la ciencia del suelo.

Además la IUSS debería llegar a ser una organización profesional con una secretaría permanente, un sitio web no amateur y una estrategia más inteligente para interactuar con el mundo de la superficie de la tierra. Eso cuesta dinero y costará miembros también –hacer menos podría costar más.

Referencias

Gewin, V. 2006. Discovery in the dirt. *Nature* 439: 384-386.

Philip, J.R. 1991. Soils, natural science, and models. *Soil Science* 151: 91-98.



El futuro de la ciencia del suelo

Christian Hartmann

Institut de Recherche pour le Développement, Ecole normale supérieure, 46 rue d'Ulm-75230 Paris Cedex 05, France. e-mail christian.hartmann@ird.fr

El 'Milenio de la Valoración del Ecosistema' (MEA) ordenado por las Naciones Unidas, se publicó en 2005 (www.millenniumassessment.org). Más de 1 000 científicos de 90 países trabajaron 4 años para compilar datos acerca de diferentes ecosistemas. Ellos evaluaron el impacto de las actividades humanas y posibles escenarios de evoluciones futuras. El suelo es el compartimiento fundamental de muchos ecosistemas y es posible ligarlo a algunas de nuestras actividades de investigación, con su impacto sobre el ambiente y la sociedad, y ver cuál podría ser la futura ciencia del suelo.

Los trabajos reportan los logros de la agricultura en la alimentación de la creciente población – logros por los cuales los científicos del suelo pueden ser acreditados parcialmente. Los éxitos se lograron trayendo los ecosistemas naturales a los cultivos. Más tierra se convirtió a tierra de cultivo, desde 1945, que en los siglos XVIII y XIX, combinados. También ha habido una intensificación simultánea de producción (la Revolución Verde). Se lograron altas producciones de alimentos con grandes aplicaciones (entradas) al suelo (agua, fertilizante, energía, etc.). Esos cambios drásticos también tuvieron algunos efectos colaterales: degradación del suelo a través de la dosificación de los ciclos biogeoquímicos naturales (acidificación, salinización, erosión, etc.) y disminución de su elasticidad. En suelos degradados, las aplicaciones de reciclado agrícola (o industrial) fueron limitadas. Consecuentemente, muchos productos se desecharon en otros compartimientos ambientales, los cuales también están siendo degradados (reservorios rellenos con sedimentos, químicos transferidos a aguas profundas subterráneas, etc.). Para el futuro, todos los escenarios predicen que la productividad del suelo disminuirá en las áreas tropicales y la contaminación por carga de nutrimentos se incrementará (con seguridad de media a alta), mientras la población (y sus requerimientos de alimentos) continuará creciendo (más de 50%, en Asia).

En este contexto, la ciencia del suelo tendrá que: i) incrementar la productividad de los suelos para mantener la producción de alimentos, ii) rehabilitar ecosistemas degradados, iii) evitar 'efectos colaterales' y iv) generar técnicas sustentables de manejo de suelos económicamente aceptables. Para aumentar la productividad del suelo, los anteriores científicos del suelo tenían mayor flexibilidad, puesto que ellos sólo tenían una limitación económica, la cual era que ese manejo necesario fuera provechoso. Hoy en día, tenemos una limitante económica más, la ambiental. Nuestro mundo está enfrentando, simultáneamente, la escasez de agua y petróleo - factores principales en la agricultura moderna. Debido a que la explotación minera de los recursos naturales ya no es aceptable, la producción de alimentos sólo se puede alcanzar a través de mejorar el reciclado (Fig. 1).

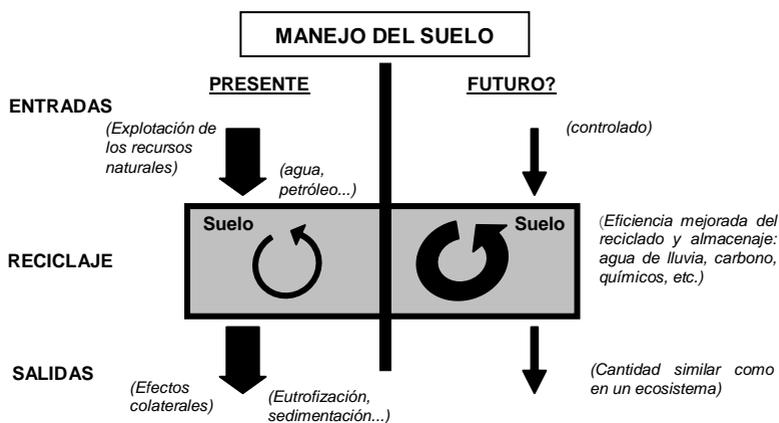


Figura 1. Vista esquemática de la posición del suelo en el presente (izquierda) y futuro (derecha) agrícola, lo último requerido por la sociedad por razones ambientales. La ciencia del suelo será solicitada para entender y controlar el reciclado y los procesos de almacenamiento; el flujo será, probablemente, estimado económicamente e integrado en análisis financieros concernientes a administraciones agrícolas.

Bajo condiciones tropicales, algunos ecosistemas naturales presentan una alta capacidad de reciclaje y una gran producción de biomasa, si se compara con su potencial de producción calculado, a partir de los análisis de suelo. Los científicos del suelo deberían, probablemente, dedicar más atención a tales sistemas y estudiar procesos de reciclaje para emularlos en ambientes controlados. En ambientes naturales, la heterogeneidad y la diversidad espacial parecen ser las principales condiciones de una alta productividad. Por ejemplo, en el oeste de África, costras discontinuas sobre la superficie del suelo inducen escurrimiento y drenaje del agua en las áreas más porosas, donde los elementos minerales y el carbono pueden acumularse y, consecuentemente, las plantas pueden crecer, a pesar de la escasa precipitación promedio, la concentrada heterogeneidad espacial de los recursos y la localización de los cultivos permitidos. En lugar de describir las características del suelo promedio y propiedades relacionadas, los futuros científicos del suelo tendrán que describir la heterogeneidad espacial, así como también las relaciones y retroalimentaciones entre los diferentes compartimentos del sistema suelo. Siendo la actividad biológica del suelo (vegetal y animal) un factor importante para el proceso de reciclaje en el suelo, quizá se estudiará intensivamente.

Los científicos del suelo, al entender y describir los sistemas naturales, podrán sugerir técnicas de manejo del suelo, estimulando o emulando procesos similares en el contexto de agroecosistemas. En el pasado se han realizado esfuerzos para aumentar la complejidad de los sistemas de cultivo (el cultivo en surcos, asociación de plantas, la introducción de lombrices de tierra, etc.), pero la eficiencia rara vez parecía lo bastante

alta para competir con la monocultura tradicional. Esto es, en parte, porque simplemente, el introducir un nuevo elemento sin crear interrelación y retroalimentación con otros compartimientos ha limitado la eficacia. Si esfuerzos similares estuvieran basados en mayor y firme conocimiento de las relaciones en ecosistemas naturales, éstos podrían ser más exitosos. Finalmente, debido a la advertencia global, los agroecosistemas también tendrán que encarar nuevas y erráticas condiciones (el calentamiento no será lineal) en un futuro cercano (sequía/inundaciones, temperaturas extremas más altas/más bajas, incremento de la intensidad de la lluvia, etc.). Es importante que el manejo del suelo pueda estimular el potencial elástico del suelo bajo variables climáticas restringidas.

Los científicos del suelo tendrán que enfocarse en condiciones y procesos de elasticidad del suelo en ambientes naturales, para introducir estos aspectos en técnicas de manejo alternativas. Por varias razones, tales alternativas de manejo no serían aprovechables en el sistema económico continuo, en el cual la agricultura y la silvicultura están involucradas. Pero quizás se inició un gran cambio en 1997, cuando se firmó un acuerdo internacional, concerniente a un precio para el carbono circulante en el ambiente (alrededor de 300 euros $t^{-1} CO_2$). Hace algunos años, el valor de la tierra dependía de su potencial productivo, ahora dependerá también de su potencial para almacenar y reciclar carbono. Debido a que la biodiversidad también se considera importante, las negociaciones para estimar su valor financiero, ya se están iniciando! Calcular el valor monetario de los compartimientos ambientales o la calidad, podría ser una revolución capaz de cambiar la percepción global de los suelos y las tierras. Tal vez, otros aspectos ambientales 'se estimarían económicamente' como, por ejemplo, la capacidad para resistir la erosión y evitar liberar sedimentos. Economistas y 'ambientalistas' esperarán que los científicos del suelo les proporcionen información cuantitativa sobre aspectos, todavía, rara vez medidos. Los esquemas de agroecosistemas, como el presentado en la Figura 1, no sólo se caracterizarán por flujos e interrelaciones, sino también por varias evaluaciones financieras. Los científicos del suelo tienen que ser considerados en las evaluaciones económicas para favorecer los manejos que tienen impactos positivos sobre el ambiente y la producción de alimentos, porque esto afecta a las prácticas de los agricultores.

En conclusión, creo que el futuro de la ciencia del suelo será, probablemente dentro de poco, una ciencia más compleja e integradora, con un ámbito más amplio y una aproximación multidisciplinaria, capaz de asociar aspectos tradicionales (física, química, etc.) con otros más innovadores (ecología del suelo, 'economía del suelo', etc.). Nosotros, los científicos del suelo, tenemos que estar en una posición de liderazgo para responder a los retos del siglo XXI. Nuestro éxito podría no depender de la mejora técnica, sino de un cambio en algunos de nuestros conceptos básicos y paradigmas.



El futuro de la ciencia del suelo

Juan José Ibáñez

Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE), 46470 Albal, Valencia, España. e-mail juan.ibanez@un.es

Es difícil ser un relator de fortuna en semejante mundo, rápidamente cambiante. Después de un período de bonanza, bajo el paraguas del paradigma agronómico, la ciencia del suelo y, en particular la pedología, empezó a sufrir una crisis que todavía persiste. Para superar esta situación, necesitamos ampliar los límites de la disciplina, para reunir las demandas sociales de información de suelo y, al mismo tiempo, recobrar la confianza de los directores de la política científica, las colegas en otras disciplinas y el público en general. El deterioro ambiental y la preservación de los recursos naturales son problemas urgentes que llaman a reformular el esquema de la pedología. Pero, en este intento, no basta que se movilizan las nuevas tecnologías de la información; como Peter Borrough nos recuerda, la máxima eficiencia no se puede obtener de nuevas tecnologías sin un cambio conceptual, optimizando las ventajas que ellos proporcionan. Casi cincuenta años más tarde, tal cambio conceptual aún es una tarea pendiente.

En el ‘antropoceno’ estamos cambiando tan drásticamente la superficie de la tierra que estamos obligados a estudiar, describir y clasificar materiales, procesos y estructuras que, de antemano, no ocurrían en la naturaleza. Necesitamos un nuevo concepto de suelo que amplíe las viejas barreras conceptuales y abra nuevos horizontes. En y alrededor de las ciudades, la cubierta del suelo se modifica al extenderse los proyectos de construcción y el depósito de desechos, esto facilitó la creación de un nuevo grupo de suelo (los urbanosoles, tecnosoles). Además, prácticamente, no tenemos conocimiento de los procesos que ocurren en los sedimentos del lago y otras áreas sumergidas en agua, incluso de la zona fótica de las plataformas continentales (los suelos hídricos). Asimismo, desde el punto de vista de las demandas científicas y sociales, los límites más bajos del suelo deberían extenderse para cubrir la regolita. El concepto del sistema suelo-regolita es validado por el hecho de que la actividad biológica excede los límites que los libros de texto usualmente describen como suelo, varios metros de profundidad. El sistema suelo-regolita, las áreas con suelos inundados y los suelos urbanos son los lugares sobre la tierra que están más expuestos a la contaminación, resultado del incremento de la cantidad de toda clase de desechos y su depósito incontrolado. Algunos autores han sugerido reconsiderar y ampliar el concepto suelo sobre las bases de estos nuevos retos (Ibáñez y Boixadera, 2002, entre otros). La ciencia está progresando, tanto o más, debido a la potencialidad heurística de hipótesis atrevidas que por los cambios tecnológicos en sí mismos; sin embargo, éstos pueden ser importantes.

Este concepto ampliado de suelo requiere clasificaciones basadas en nuevos criterios. La WRB ha demostrado estar un paso adelante, al tomar en cuenta a los suelos inundados, los urbanosoles y los tecnosoles, aunque padecen de una definición “no vacua” de suelo y no considera el sistema suelo-regolita.

Actualmente, las taxonomías universales de suelo son cuestionadas por algunos pedometrólogos y los defensores del llamado “paradigma calidad del suelo”. Los primeros proponen que dejemos todo en las manos de matemáticos, mientras que los últimos están vendiendo el vino viejo en botellas nuevas. Los primeros atacan la naturaleza artificial y la subjetividad de las clasificaciones tradicionales; los últimos se dirigen a ciertos problemas ambientales y agronómicos, usando nuevas metodologías, instrumentos y un vocabulario antropomórfico (funciones, salud, calidad, alma, etc.). Estos cuestionamientos de las concepciones clásicas carecen de rigor epistémico y buen conocimiento de los métodos científicos. Ambos caen dentro de la paradoja tecnológica referida por P. Borrough. Las clasificaciones universales de suelos son completamente necesarias, considerando que éstas son un lenguaje entre especialistas de una misma disciplina, así como también un amplio sistema de almacenaje y de recuperación. Éstas podrían complementarse, en lugar de reemplazarse, por un código de nomenclatura internacional (CNI), como se hace en las taxonomías biológicas. Las clasificaciones de suelos nacionales deben someterse a cosas así, si nosotros no queremos seguir viviendo en una Torre de Babel, mientras las clasificaciones adecuadas puedan requerirse para cubrir problemas específicos de investigación aplicada. En cualquier caso, creo que diseñar nuevas clasificaciones sin estudiar lo que está pasando en otras disciplinas es un gran error. La mente humana tiene potencialidades y límites para memorizar y procesar información. Debemos aprender lo que se sabe de la mente humana para procesar la información, ya que una clasificación o taxonomía son los sistemas de recuperación de información, de una manera rápida y amigable para el usuario, aceptando la división en clases duras y en los niveles jerárquicos de las taxonomías, independientemente del dilema del continuo.

La paradoja tecnológico-conceptual surge cuando, al implementar los sistemas de información de suelos, ¿tenemos suficientes y apropiados datos del suelo para contribuir a la variedad de aplicaciones de campo que emanan de una demanda social creciente? Podría ser preocupante que se dedicara tanto tiempo, dinero y esfuerzo para obtener información del suelo indirectamente (por ejemplo, vía funciones pedotransferencia, reglas taxotransferencia, mapeo de suelos digital predictivo, etc.), en lugar de recolectar nuevos y adecuados datos de campo del suelo. Las tecnologías de la información no pueden operar indefinidamente sólo sobre la base de los sensores remotos o datos inferidos. La actualización de los inventarios de suelos es uno de los principales campos donde nuevas tecnologías deberían facilitar el muestreo y la obtención de datos. El trabajo necesita llevarse a cabo con técnicas no agresivas, con una visión para obtener la mayor información detallada posible, así como información tridimensional del sistema suelo-regolita. Los programas de monitoreo del suelo necesitan iniciar con la actualización de los inventarios de suelos, de una forma más detallada que los existentes en muchos países. En otras palabras, necesitamos urgentemente más y mejores datos de campo para perfeccionar la eficiencia de las TI por predicciones y simulaciones. También es importante la exposición de los datos de campo recolectados en los programas de educación de suelos para evitar el deslumbramiento por la manipulación computarizada de datos.

Detecto una obsesión creciente por la solución de problemas (la ciencia aplicada) en detrimento de estudios teóricos. Las investigaciones básicas y aplicadas deberían ir de la mano, puesto que la última debe apoyarse en la primera, si deseamos mejorar nuestro cuerpo doctrinal en vez de acumular datos sin formalizarlos en un nuevo conocimiento disciplinario. El suelo es parte de nuestra herencia natural y, por lo tanto, necesitamos preservarlo, tanto como sea posible en su diversidad y en su más primitivo estado natural. La inmensa biodiversidad del suelo prácticamente es desconocida. Una nueva y fascinante aventura es lograr, nosotros mismos, meternos en la corriente principal de conservación de la biología, la cual incluye los organismos vivos y su hábitat (tipos de suelo), y contribuir al diseño e implementación de sistemas de reserva de suelos. La relación entre la salud humana y el suelo probarán ser otro campo promisorio de exploración y algún día podremos ser capaces de hablar de pedomedicina. Los desarrollos en conocimiento molecular y el nivel de instrumentación pueden ayudar a mejorar nuestro entendimiento de los procesos biológicos del sistema suelo.

Nuevas tecnologías de la información están cambiando el panorama de enseñanza y la publicación de resultados de investigación y nosotros, los pedólogos, necesitamos tomar ventaja de todo su potencial. Los movimientos "Open Access" se están desarrollando con rapidez en la comunidad científica internacional. Los nuevos desarrollos en la ciencia del suelo deberían alcanzar a todos, particularmente en los países menos favorecidos donde el acceso limitado a los avances científicos amenaza con ampliar la brecha entre países ricos y pobres. Cursos en línea y la implementación de archivos de documentación científica en páginas y portales Web, deben continuar creciendo en un comportamiento exponencial. La divulgación de la ciencia a niños de niveles de educación más altos también tendrá que mejorarse. La mejor manera en la que los ciudadanos de todas las edades vean el valor de lo que la ciencia del suelo proporciona a la sociedad y aprendan la importancia capital del suelo en el sistema biogeoesférico es a través de una rigurosa y amena divulgación de información relevante. Las formas económicas son los weblogs; por ejemplo, <http://weblogs.madrimasd.org/universo/>. Éste está teniendo éxito en Latino América. Esto ayuda a crear ciudadanos conscientes y llama la atención sobre la decisión de hacerse responsables de la formulación e implementación de políticas sobre ciencia.

Agradecimientos

Desearía expresar mi aprecio a Dick Arnold, Alfred Zinck y Juan Sánchez por su inestimable colaboración en la revisión del contenido y la forma de este manuscrito.



El futuro de la ciencia del suelo: una perspectiva canadiense

Yash P. Kalra

Canadian Forest Service, Edmonton, Alberta, T6H3S5, Canada. e-mail ykalra@nrcan.gc.ca

El estudio de la ciencia del suelo moderna, se cree, tiene su origen a mediados del siglo XVII. Por más de tres siglos sucesivos, el principal objetivo de la ciencia del suelo fue incrementar los rendimientos de los cultivos agrícolas. La última mitad del siglo XX también estuvo impactada por preocupaciones no agrícolas, como las relacionadas con los bosques y el ambiente. Las aplicaciones de los principios de la ciencia del suelo, en la mejora de la producción de fibra de los bosques y en la remediación de suelos contaminados por residuos sólidos, líquidos y gaseosos, son los embates continuos en los albores del siglo XXI. En este siglo, los científicos del suelo encararán muchos retos, además de aquéllos que se están heredando de décadas previas. Hace nueve años preparé un artículo para la Sociedad de la Ciencia del Suelo de la India (Kalra, 1997); los siguientes puntos incluyen las ideas de éste, junto con reflexiones adicionales.

1. Ahora, uno de nuestros mayores retos se relaciona con la causa y el efecto del cambio climático. Los suelos representan el más grande reservorio de C en el mundo y necesitamos entender y manejar el C del suelo para proporcionar una estabilización amortiguadora significativa y un esquema de planeación de uso de la tierra que responda al cambio climático. Todo esto debe lograrse dentro de una escena de mayor inestabilidad climática y presión humana para la estabilidad de alimentos. Puesto que la materia orgánica está en el centro de muchas funciones del suelo, se tendrán que dedicar mayores esfuerzos al entendimiento de su naturaleza, dinámica, papel y manejo.
2. El reto más fundamental, local y globalmente, es: ¿cómo convencer a la sociedad de que el conocimiento de la ciencia del suelo y el manejo del mismo se subutilizan enormemente para desventaja de las economías nacionales y locales?
3. Hoy, los científicos del suelo están preocupados por el futuro de la ciencia del suelo en las universidades. El reto para los científicos es defender la ciencia del suelo como una disciplina independiente, con un cuerpo coherente de conocimiento acerca de cuerpos naturales en el paisaje. La ciencia del suelo se percibe como un adjunto de la ciencia de la planta; se está fragmentando y dispersando entre disciplinas como ingeniería, biología, química, agricultura y silvicultura. Tal fragmentación debe enfrentarse con un conocimiento firme de la disciplina.
4. El financiamiento para la investigación aplicada y básica es una de las inversiones más ventajosas que cualquier gobierno puede hacer. Los fondos para la investigación, sin embargo, en todas las disciplinas de la ciencia, ahora son escasos y serán más escasos.
5. Se proyecta un incremento significativo en la población mundial para el siglo XXI y, por lo tanto, la producción de alimentos (especialmente en países en vías de desarrollo) permanecerá como una preocupación. Tendrá que incrementarse la atención al

suministro de micronutrientes en nuestros suelos, como se hace con la aplicación de grandes cantidades de nutrientes primarios. Los esfuerzos de la investigación necesitan intensificarse en la agricultura de precisión y el manejo de nutrientes.

6. Los científicos del suelo necesitarán incrementar su entendimiento del sistema suelo bosque. Mientras que el propósito de la investigación del suelo de bosque en Norte América puede ser, principalmente, la producción de fibra. La presión de la población, sobre todo en países en vías de desarrollo, aumentará la cantidad de tierras de bosque convertidas a la agricultura. Los efectos del corte-aclareo de las áreas boscosas sobre la conservación del suelo y el agua, así como también sobre las comunidades, requiere más atención. Un área de la silvicultura que va a tener ramificaciones serias para los suelos de bosque es el uso de la biomasa del bosque para la bioenergía. Hay algunas implicaciones con respecto al agotamiento de nutrientes y la perturbación del suelo, particularmente en el bosque boreal.

7. La preocupación ambiental no sólo continuará, sino que se incrementará de acuerdo con las demandas más crecientes de la sociedad para alcanzar y mantener un alto nivel de vida. Además, el desarrollo conduce a un mayor consumo y al depósito de desechos. La contención de sustancias tóxicas continuará presentando retos a los científicos del suelo. Un ejemplo es: la contaminación del suelo y agua por pesticidas, herbicidas, nutrientes, metales pesados, y desechos municipales, agrícolas e industriales. La bioremediación será uno de los puntos de interés más importantes de la investigación.

8. Los científicos del suelo en el siglo XXI, tendrán que hacerse más proceso-orientados en la aplicación de sus conocimientos. Junto al hallazgo de la solución de un problema, las preguntas de “cómo” y “por qué” se tomarán tan importantes como la solución.

9. La clase alta, tierras productivas, está usándose para el desarrollo industrial y residencial y, puesto que esta mercancía es finita, debe protegerse. Los continuos problemas de una población que explota y siempre disminuye el recurso de la tierra arable, deben recibir una pronta atención para evitar el riesgo de hambre masiva en muchas partes del mundo.

10. El manejo del agua jugará un papel importante. La palabra *azul* (revolución azul) se unirá al *verde* (revolución verde) como un zumbido ambiental.

11. Nuestro objetivo debe ser difundir información a investigadores, extensionistas, usuarios de los recursos de la tierra, especialmente el suelo, y público en general. La fuerte colaboración internacional entre científicos del suelo tendrá que desarrollarse para dirigirse a problemas comunes.

12. Los experimentos a largo plazo, como aquéllos llevados a cabo en las Parcelas Clásicas Bretonas (<http://bretonplots.rr.ualberta.ca/>), en Alberta, continúan impactando, ambiental y económicamente, a nuestras comunidades. Estos experimentos evalúan las interacciones de productividad de la cosecha, la calidad del suelo y el ambiente. Debemos continuar apoyando estos esfuerzos.

13. Hay una necesidad de desarrollar un mecanismo fuerte para promover la educación de la ciencia del suelo entre maestros y estudiantes en las escuelas.

14. Muchos científicos del suelo ahora están en el sector público. Existe una tendencia creciente de que este sector se contraiga. Veo que la ciencia del suelo pasará al sector privado.

15. Las pruebas de suelo serán más una herramienta de monitoreo y menos un procedimiento de diagnóstico. Hay necesidad de validar métodos e incrementar la practica para probar los programas.

El futuro de la ciencia del suelo es promisorio. Es nuestra responsabilidad manejar, usar y proteger los recursos del suelo para las generaciones futuras. Esperamos enfrentar los desafíos en el siglo XXI.

Referencia

Kalra, Y.P. 1997. Challenges facing soil scientists in the 21th century. Indian Society of Soil Science Newsletter. 3: 1-2. New Delhi, India.



La pedología en estudios interdisciplinarios de ciencias ambientales y materiales

Selim Kapur

Departments of Soil Science and Archaeometry University of Çukurova, Balcali 01330, Adana, Tukey. E mail kapur@cu.edu.tr

Un asunto a resaltar sobre el futuro de la ciencia del suelo, creo, se relaciona con la captura de carbono en el suelo y su implicación con el cambio climático. La información del suelo, hoy, se pensó y creyó, rellenaba la brecha en los estudios del cambio climático a escala global y local, cuyo enfoque y dirección metodológica vagan en una esfera de incertidumbres (lo desconocido) y esfuerzos enigmáticos para predecir los cambios climáticos en el futuro con las menores consideraciones respecto al pasado. La capacidad del suelo para capturar C y la elasticidad de éste en el suelo debe considerarse como un factor primario en la elaboración de programas de manejo sustentable de tierras. Más aún, la preparación de mapas de distribución de C en el suelo de un país o una amplia región, conduce a una base para el desarrollo de programas de manejo sustentable de tierras.

Si imagináramos cómo las personas manejarán el recurso suelo de la Tierra en el futuro, sería importante reflexionar sobre qué se hizo en el pasado, para que las lecciones de la historia se aprendan y no se olviden. Por ejemplo, el estudio de las fracciones de P, tipos de minerales arcillosos, niveles de alteración de feldspatos a kaolinitas y las propiedades termoluminosas del cuarzo y feldspatos a través de los perfiles del suelo de terrazas hechas por el hombre, así como su fluctuación, indica los cambios climáticos ocurridos, aunque también técnicas de cultivo del pasado. El estudio del suelo llevado a cabo en paredes de terrazas y montículos hechos por el hombre, también es recompensado en el sentido de la obtención de datos sobre formación de suelos, relevantes para el cambio climático que pueden producir indicios para el futuro.

Otras áreas de preocupación son los materiales eólicos. Las partículas individuales del polvo de las tormentas de arena del Sahara se han estudiado por pedólogos y sedimentólogos en cuanto a las variaciones en los contenidos de minerales en diferentes episodios de transportación del norte de África al valle del Mediterráneo. No obstante, los científicos del suelo buscan realizar extensos estudios en los materiales eólicos, para entender las propiedades de los aerosoles, que son una preocupación creciente para prevenir la contaminación del aire y la continuidad del ciclo de la humedad a lo largo de las latitudes medias de ambos hemisferios.

La perspectiva de la arqueometría

La micromorfología, el frente visual de la ciencia del suelo, con la capacidad para mirar el lado físico, la trama y la microestructura de los materiales en la naturaleza que están relacionados con los suelos y sedimentos, como las rocas, y especialmente materiales cerámicos y de construcción, a escalas macro y micro es, probablemente, uno de los más recompensados campos de importancia económica. La concepción y la aptitud

alcanzada por muchos micromorfólogos del suelo sobre la valoración visual de los colores y formas de los objetos en los suelos, y los progresos naturales o artificialmente inducidos de sus procesos de formación, ha suministrado los medios para interpretar las inciertas y dudosas características, a pesar de la ayuda proporcionada por los sub-microscopios. Éstas incluyen los minerales neoformados a altas o específicas temperaturas, especialmente desarrollados en antiguas y contemporáneas cerámicas, alfarerías y materiales de funciones similares.

Un ejemplo notable es la determinación de las caras de fricción en revestimientos de diversos fragmentos de cerámicas antiguas que son similares a las que se desarrollan en los suelos por el fenómeno de expansión-contracción. Las caras de fricción en revestimientos se han determinado para revelar fuentes de materias primas ricas en arcilla (suelos/sedimentos) utilizadas para la producción de cerámicas durante procesos de cocción en hornos con incremento – decremento de temperaturas, especialmente en los antiguos Seljuk kilns en los siglos X y XI. Revestimientos de arcilla iluviada se determinaron también en alfarería Hittite y Çatalhöyük del Neolítico, los cuales pueden indicar las menores fluctuaciones climáticas del inicio al final del Holoceno.

Aplicaciones de la micromorfología

El enfoque central de los micromorfólogos ha sido explicar cómo el suelo está estructurado, su arquitectura y trama en los niveles micro. Dado la importancia de la materia orgánica y otros constituyentes en la formación de agregados, y sus implicaciones en la estabilidad estructural para la sustentabilidad de los cultivos, es necesario elucidar el papel de la microestructura con relación al impacto del cultivo en los suelos. De particular interés es la escasa captura de carbono orgánico, en rotaciones de leguminosas, que afecta la microestructura.



La investigación para el manejo sustentable del suelo

Dominique King

Institut National de la Recherche Agronomique, Science du Sol - InfoSol, Centre de Recherche d'Orléans, BP20619, 45166 Olivet, France. Email king@orleans.inra.fr

Desde 1970, diversas conferencias han resaltado los límites de los recursos del planeta y el impacto de las actividades humanas sobre la evolución de estos recursos. La comunidad internacional gradualmente incrementó la conciencia por la biósfera (deforestación, decadencia de la biodiversidad), la atmósfera (contaminación del aire, cambio climático) y la hidrósfera (cantidad y calidad de agua). En la interfase de estos compartimientos mayores del ambiente, la pedósfera permaneció ignorada, a pesar del papel central que juega entre estas esferas.

Ahora se reconoce bien, por todo el mundo, que el suelo es afectado por actividades humanas. Recientemente, la Unión Europea lanzó una gran consulta pública, con todos los inversionistas interesados, para definir una estrategia política para la protección del suelo. Las funciones del suelo se enlistaron: producción de biomasa, reciclado geoquímico, captura de carbono, regulación de agua, etc. y se analizaron en relación con los otros compartimientos terrestres y tomando en cuenta las necesidades humanas. Las diferentes amenazas para el suelo (por ejemplo, erosión, compactación, pérdida de carbono orgánico, contaminación, salinización, sellado, etc.) también se analizaron para mejorar el entendimiento de las mismas y, a cambio, proponer acciones ambientales.

Los suelos y su manejo

De este análisis pueden resaltarse tres preguntas:

- (1) ¿Existen los mapas de suelos y las bases de datos suficientes para describir la diversidad de los suelos y sus funciones?
- (2) ¿Seremos capaces de entregar periódica y cuantitativamente información sobre la evolución y los procesos del suelo a una escala global?
- (3) ¿Cómo podremos optimizar las actividades humanas de acuerdo con la variabilidad espacial de los suelos con el objetivo de contribuir para el desarrollo sustentable?

(1) Diversidad de los suelos y de sus funciones

En el siglo XX, los programas de levantamientos nacionales e internacionales se condujeron para evaluar la variabilidad espacial del suelo. Existen grandes discrepancias entre países y hay una carencia de armonización en los datos. Más aún, a veces los datos son viejos, raramente actualizados y muchos de los levantamientos están actualmente detenidos. Los problemas de investigación acerca de la cartografía de suelos conciernen tanto al pasado como al presente de los suelos. Tenemos que entender el origen de la variabilidad de los suelos y utilizar este conocimiento para predecir el actual funcionamiento del suelo. La variación fue un problema durante los primeros estudios de pedogénesis. Necesita revisarse de nueva cuenta a través de las

nuevas técnicas numéricas, especialmente con modelos pedogenéticos 3D, combinando aproximaciones probabilísticas y mecánicas. La predicción del actual funcionamiento del suelo se relaciona con los programas de inventarios de suelos. Éstos están basados en análisis sistemáticos, según escalas preparadas de antemano. Pueden ser demasiado rígidos para responder a las demandas del futuro. Tenemos que proponer aproximaciones multi-sitio y multi-escalas con nuevas herramientas metrológicas adaptadas a las áreas consideradas y para la precisión requerida. El objetivo es proveer, a los agricultores o a quienes toman decisiones, de mapas numéricos que muestren las funciones del suelo en tiempo y ofrezcan interactividad para evaluar escenarios.

(2) La evolución del suelo bajo el impacto de los cambios ambientales

El suelo es un medio de vida, en equilibrio con los otros compartimientos del ambiente y en perpetua renovación a varias escalas de tiempo. El posible impacto del cambio climático y los cambios por actividades humanas aumentan la cuestión de la protección de los recursos del suelo a corto y largo plazo. Los problemas de investigación contemplan la observación de los cambios en los componentes y las propiedades del suelo, bajo el impacto de nuevas restricciones ambientales (a corto plazo) y la modelación de la evolución del suelo a través de los procesos pedogenéticos, para ser capaces de evaluar a largo plazo las modificaciones del suelo. Tenemos que enfatizar el componente biológico del suelo a través de la interacción entre los componentes físicos y químicos. Evaluar cómo el suelo es resistente contra los cambios, o flexible, o se desarrolla fuera de mando, es esencial para identificar una posible retroalimentación entre los componentes del suelo.

Si el conocimiento acerca de los recursos del suelo es pobre en una escala global, el conocimiento sobre el desarrollo de éste es aún más reducido. Por otra parte, la información es escasa con pocos sistemas nacionales de monitoreo del suelo e incluso menos a escalas globales. Estos consisten en unos pocos programas de monitoreo multi-locales, los cuales raramente son multi-propósitos. Una generalización espacial de resultados no es simple, debido a la diversidad de las situaciones pedológicas. Entonces, para cuantificar el desarrollo del suelo, se necesita de un análisis espacial, en concomitancia con los trabajos de cartografía multi-escalar, mencionados anteriormente. Además, los suelos son archivos del pasado y los análisis espaciales pueden conducir al mejor entendimiento de su desarrollo. Estos puntos refuerzan la necesidad de desarrollar nuevos métodos de cartografía de suelos, desde un punto de vista dinámico. En todos los casos, la implementación de un sistema de monitoreo global del suelo, como se ha estado haciendo para otros recursos ambientales (atmósfera, el ambiente del mar), permitiría explorar la diversidad de situaciones y, de esta manera, mejorar la comprensión de los procesos involucrados y proporcionar una imagen cuantitativa del desarrollo del suelo a una escala mundial.

(3) Manejo espacial y sustentable de los recursos suelo

En el pasado, los suelos se consideraron, principalmente, como el soporte de la producción agrícola. Este objetivo implicó programas de mejoramiento del suelo (por ejemplo, drenaje, labranza) y suministro (por ejemplo, nutrientes, agua). Estas

acciones tuvieron éxito en alcanzar sus objetivos, pero algunas veces con efectos nocivos sobre otras funciones del suelo, que lo degradaron y afectaron el ambiente. Los problemas de investigación son: (i) una evaluación global de las funciones del suelo (incluyendo la producción de biomasa), (ii) y un manejo espacial de tierra, respondiendo a los problemas sociales y ambientales. La escala espacial puede variar, desde el campo de la agricultura de precisión, a una región para reglas agro-ambientales. Por lo tanto, necesitamos bases de datos espaciales y temporales, proporcionadas por nuevos programas de estudios y monitoreo, presentados anteriormente. Esto también requerirá un conocimiento fino de los estados instantáneos de los suelos (especialmente condiciones de agua), para optimizar gradualmente prácticas sobre el tiempo. Semejante aproximación requiere de un acoplamiento creciente entre más y más poderosas redes meteorológicas y modelos de funciones del suelo en interacción con los otros compartimientos del ambiente. Las investigaciones tienen que guiarse para desarrollar el uso de nuevas tecnologías de información y comunicación (sensores remotos, geofísica, GPS, redes).

El suelo es un continuo en espacio y tiempo. Será necesario un enfoque integrado en varias escalas para considerar la sustentabilidad del manejo de los recursos del suelo. Esto requerirá del desarrollo de redes de medición para tomar en cuenta la diversidad del suelo y optimizar las actividades humanas de acuerdo con las limitantes pedológicas y asegurar su multifuncionalidad. A cambio, la agrupación de estas redes ofrecerá a la ciencia nuevos medios para explorar un amplio rango de situaciones y entender mejor el funcionamiento espacial de los suelos, en relación con los otros compartimientos ambientales. Finalmente, estas redes podrían estar compartidas por un amplio rango de usuarios y quizás participar en el desarrollo social de áreas rurales.

Agradecimientos

Agradezco a mis colegas Dominique Arrouays y Guy Richard por sus contribuciones y estímulos para este documento.



Visiones sobre el futuro de la ciencia del suelo

Guy Kirk

Cranfield University, Cranfield MK43 0AL, UK. g.kirk@Cranfield.ac.uk

Uno de los aspectos más difíciles de la ciencia del suelo es el amplio rango de escalas que alcanza, tanto espacial como temporalmente. Cubre escalas espaciales desde la molecular hasta el paisaje, con frecuencia juntas en el mismo problema, y escalas temporales de procesos instantáneos a procesos de formación de suelos que perduran por milenios. Cambios continuos en la disponibilidad de información, en ambos extremos de estas escalas, influirán grandemente en el futuro de la ciencia del suelo. En un extremo están varias ciencias biológicas moleculares –genómica, proteómica, metabolómica– y en el otro extremo están las ciencias geoespaciales –sensores remotos, sistemas de información geográfica– y ciencias de los sistemas de la Tierra. La ciencia del suelo se traslapa y vincula con muchas de estas disciplinas. Habrá una demanda creciente y oportunidades para que la ciencia del suelo explore esta información y en el futuro debe proporcionarse un empujón para que las estructuras cuantitativas unan varios hilos a la vez.

Tradicionalmente, esto se habría hecho con procedimientos estadísticos para establecer relaciones empíricas entre variables, como lo hecho exitosamente en el pasado para la agricultura, por ejemplo, derivando recomendaciones de fertilizante basadas en ensayos de campo que cubren varias combinaciones de cultivos, suelos y climas. Pero para los problemas del ambiente y el surgimiento de nuevos problemas biológicos y tecnológicos, estas aproximaciones tienen limitaciones prácticas y científicas. La principal limitación práctica es que en los modelos basados en correlaciones estadísticas, las predicciones sólo pueden hacerse por interpolación en conjuntos establecidos de datos. Cada nuevo problema, por lo tanto, requiere un nuevo conjunto de ensayos o experimentos y del establecimiento de un nuevo conjunto de relaciones empíricas. En la visión de la gran diversidad de problemas ambientales y tecnológicos y el paso rápido del cambio, ésto es impráctico. Las limitaciones científicas son: las relaciones estadísticas no son de causa efecto, aunque pueden señalar cuáles factores causales necesitan considerarse. Éstas son pobres al revelar la clase de relaciones no-lineales y los procesos de regeneración comunes en los sistemas naturales.

Así que será importante desarrollar modelos predictivos del suelo para problemas a diferentes escalas, una base en el entendimiento mecánico de procesos subyacentes y, tan rápidamente como sea posible, independizarse de las correlaciones estadísticas. Los modelos pasados por ‘soporte de decisión’, con frecuencia estaban siendo demasiado simplistas o conjeturables e insuficientemente bien corroborados con otros experimentos. Se han desarrollado modelos ‘orientados a procesos’ para soportar decisiones, los cuales pretenden considerar, para los procesos, los conceptos que sean importantes en sistemas particulares. Sin embargo, la extensión de los parámetros de entrada de tales modelos se deriva de los de salida; el proceso completo es un poco mejor que una forma detallada de una curva ajustada. Se necesitan modelos

tan mecánicos como sea posible y corroborados contra experimentos; modelos en los que los parámetros de entrada sean moderadamente independientes de los de salida. Para esto, nuevas herramientas matemáticas y de computación están disponibles; así como, nuevas técnicas se pueden utilizar para probar estos modelos.

Ocuparse de los problemas de escalas será central para el progreso de la modelación. Los modelos propiamente corroborados de procesos particulares pueden usarse como submodelos en modelos a gran escala, conectados a conjuntos de datos en una resolución disponible. Pero estos procesos de ‘escala-hacia arriba’ o ‘escala-hacia abajo’ traen consigo problemas particulares, asociados con propagación de errores e interacciones entre variaciones en parámetros de entrada y la no linealidad en los modelos. Por ejemplo, puede existir discrepancia entre la escala espacial a la cual se modela un proceso (p. ej. el pedón), la escala en la cual la información sobre las variables de entrada están disponibles (p. ej. un valor generalizado para una unidad cartografiada de suelo) y la escala a la cual un político necesita tomar decisiones (las cuales pueden ser escala de campo, escala de granjas, escala regional/captación o escala nacional). Tales discrepancias causan problemas particulares cuando el modelo tiene una discrepancia no lineal de variables clave o intervienen procesos adicionales a escalas entre el pedón y la unidad de interés. La aplicación de métodos geoestadísticos y las técnicas de análisis espacial para tales problemas ayudarán a resolver algunas de estas dificultades.

En paralelo con esto, habrá una creciente necesidad de información de suelos, de alta resolución, con cobertura nacional e internacional, para manejar modelos y monitorear suelos sobre una base nacional. Los avances en la computación y las técnicas geoestadísticas ofrecen un enorme potencial para esto; por ejemplo, en la cartografía digital de suelo, en la cual la información de suelos, en una resolución fina, se interpola a partir de una información con resolución gruesa, usando datos del terreno, geológicos y otros. Todo esto debe apuntalarse por un mejor entendimiento de los procesos biofísicos: físicos, químicos y biológicos, con tendencia a suelos.

El fondo para la investigación de suelos está seguramente al borde del resurgimiento. Los problemas del suelo continúan creciendo en la agenda política, a medida que el ambiente se hace más prominente, en la política nacional e internacional, y la protección del suelo por sí sólo se incrementa hasta tener el mismo estatus de protección que el aire o el agua. Además, la ciencia de los sistemas de la Tierra ha surgido como un tema principal, y el papel fundamental del suelo en ésta es ampliamente reconocido.

En resumen, el futuro de la ciencia del suelo luce muy bien.



El futuro de ciencia del suelo: la investigación de la ciencia del suelo en las universidades de EU

Mary Beth Kirkham

Department of Agronomy, Kansas State University, Manhattan, KS 66506-5501 USA. e-mail mbk@ksu.edu

El futuro de la ciencia del suelo en las universidades de los Estados Unidos dependerá de los fondos. He observado investigaciones de la ciencia del suelo desde que era una niña, debido a que mi padre, Don Kirkham, fue un profesor de física de suelos en la Universidad Estatal de Iowa, desde 1946 hasta su muerte, en 1998. Después de la Segunda Guerra Mundial, hasta cerca de 1980, los fondos para la ciencia del suelo en las universidades Land Grant vinieron del gobierno federal a través de la fórmula del fondo. Estos fondos fueron suficientes para cubrir a los estudiantes graduados. Estudiantes extranjeros, becados por sus gobiernos, utilizaron su beca para venir a los EUA. A menudo eran de países ricos en petróleo, como Irán y Arabia Saudita. El Programa Fulbright, el cual becó a estudiantes foráneos, y las becas National Defence Education Act Fellowships, dadas a los estudiantes nacionales, fueron otros recursos de fundaciones para estudiantes graduados.

Estos tres recursos de fondos (la fórmula del fondo; el soporte de gobiernos foráneos; las becas) están esencialmente secos. Sólo una pequeña cantidad de la fórmula fondos está disponible y no es suficiente para sostener a un estudiante graduado. Los países extranjeros ya no envían a sus estudiantes, porque ellos, al igual que EUA, están enfrentando la crisis del presupuesto. Los estudiantes extranjeros, que tienen beca, como aquéllos de Irán, no pueden obtener visa. Fulbrights ya no paga los gastos de la investigación para que un profesor tenga los fondos para apoyar a estudiantes.

En consecuencia, muchos estudiantes graduados deben ser apoyados por fondos externos que el profesor obtenga. Los estudiantes graduados son necesarios para la supervivencia de los departamentos. En la Universidad Estatal de Kansas se deben tener, al menos, 20 estudiantes de Maestría en Ciencias y cinco estudiantes de Doctorado en Filosofía para mantener un programa de graduados (Dr. K.W. Williams, Kansas State University, 21 de marzo 2006, comunicación personal). Si este mínimo no se mantiene, el departamento será eliminado. Por eso cuando las autoridades evalúan un profesor ponen principal énfasis en las donaciones externas. Ninguna convocatoria de trabajo sale hoy sin la línea ‘capaz de conseguir donaciones para un programa apoyado externamente’. Esto no era un requisito de empleo hace 25 años.

En los años ochentas y noventas, cuando obtuve las donaciones del NSF y DOE, los fondos se basaban en la revisión de pares. Ahora, mucho fondos, si no es que la mayoría, vienen de las apropiaciones especiales. De acuerdo con Sëller (2004), usando lenguaje de señas, “el Congreso y las universidades están trabajando cada vez más juntos para socavar la pureza y la calidad en la investigación académica y el desarrollo.”

La carencia de fondos gubernamentales para la ciencia refleja la realidad: ahora el dinero de los contribuyentes se está yendo para defensa y seguridad. Es previsible que la mano de obra en la investigación de EUA declinará (Showstack, 2004). ¿Cuánto dinero está disponible para que la investigación vaya por la nueva ciencia (p. ej. Biología molecular, nanotecnología), la cual se percibe como de mayor valor que la ciencia tradicional, como la ciencia del suelo? Las áreas tradicionales de la ciencia del suelo pueden desaparecer. La Universidad de Nebraska solía tener un programa fuerte en física de suelos, pero ya no tiene un físico de suelos.

¿De dónde vendrá el apoyo para la ciencia del suelo? La industria continuará apoyándola para consolidar lo que ésta siente que es necesario. Las regulaciones gubernamentales fuerzan a las industrias para limpiar sitios contaminados y los científicos del suelo serán necesarios para la limpieza. Los científicos del suelo que sobrevivan van a ser aquéllos con experiencia política, quienes descifren las señas. Esto significa que las personas que no tienen esta habilidad, o no deseen participar en las actividades políticas, se marginarán de la ciencia. La creatividad va a sufrir, porque los científicos del suelo necesitarán pasarse su tiempo con políticos en lugar de investigar.

La investigación que se efectúe, se aplicará y enfocará en resultados inmediatos, porque la industria, la cual será la principal proveedora de fondos, así lo requiere. Las investigaciones teóricas no se efectuarán, a menos que un científico del suelo haga esto con sus propios fondos personales. Las investigaciones cuantitativas las realizarán las computadoras. La instrumentación se desarrollará más rápidamente que la ciencia que la utilizará. Quienes puedan permitirse el lujo del equipo más reciente, estarán viendo al suelo con la mayor agudeza y midiendo los componentes con mayor resolución.

Mientras tanto, las computadoras se usarán para modelar; éstas también serán la causa de tiempo perdido. El tiempo que los científicos del suelo solían tener para leer la literatura y hacer investigación ya no está disponible, porque éstos están esforzándose por mantenerse al ritmo de la tecnología. Todos gastamos horas al día contestando correos electrónicos, conservando las computadoras libres de virus, instalando y aprendiendo nuevo software para estar al día, y esforzándonos por subir manuscritos, en sitios difíciles de la Web, que funcionan según los portales electrónicos. Nosotros estamos logrando menos que en años anteriores, debido a la tecnología. Mi departamento tiene cinco personas trabajando para mantener las computadoras funcionando. Estos trabajos no existían hace 10 años. En los pasados cuatro años, éste departamento ha perdido tres científicos del suelo, los cuales no se han reemplazado.

Ahora, se da énfasis a proyectos en equipo. El científico individual que consigue una concesión federal está volviéndose una cosa del pasado. Algunos grandes proyectos requieren de un trabajo en equipo. Sin embargo, el científico individual todavía es el que propone las nuevas ideas. Es el científico individual quien consigue reconocimiento de una sociedad profesional. Por ejemplo, la membresía en la National Academy of Science está dada a una sola persona. Los equipos jamás se han vuelto, a la vez, miembros de la NAS.

La diversidad es un problema que no se ha dirigido a los departamentos de la ciencia del suelo. Uno, probablemente, podría contar con los dedos de una mano el número de mujeres del total de profesores de la ciencia del suelo en las universidades de Land

Grant. El gobierno federal, debido a sus requerimientos para igualar oportunidades, todavía es el principal lugar donde las mujeres científicas del suelo trabajan. Los científicos negros también están ausentes de los programas de ciencia del suelo. Ahora, los científicos de Asia están ocupando posiciones en la ciencia del suelo, y esta tendencia continuará. La diversidad estará representada por ellos. En resumen, veo el futuro de la ciencia del suelo en las universidades de los EUA como sigue:

1. Menos fondos
2. Los fondos disponibles serán a través de asignaciones especiales, lo cual significa que los científicos del suelo tendrán que tener destreza política; aquéllos que no tengan habilidades políticas tendrán que encontrar otros trabajos.
3. Pérdida de los programas tradicionales de ciencia del suelo.
4. Seguirán siendo un desafío la contratación y retención de mujeres y negros.

Referencias

- Séller, I., 2004. Research subverted by academic greed. The chronicle of Higher Education, January 16, 2004, p. B6 - B7 + cover.
- Showstack, R. 2004 National Science Board report indicates U.S. research workforce may decline in size. EOS 85(20): 198 (18 May 2004 issue).



La ciencia del suelo en la era de la economía del hidrógeno y 10 mil millones de habitantes

Rattan Lal

Carbon Management and Sequestration Center, The Ohio State University, Columbus, OH 43210 USA. e-mail Lal.1@osu.edu

El suelo es el cimiento de la civilización humana. La buena calidad de los suelos ha soportado civilizaciones que prosperaron e hicieron contribuciones notables a la ciencia y la cultura. Las sociedades que no se preocupan de sus suelos y recursos naturales desaparecen. La inestabilidad política, los conflictos étnicos y las guerras han sido promovidos por civilizaciones que se enfrentaron a la escasez de alimentos y el hambre, ambos causados por la incapacidad del suelo para mantener su creciente población. De hecho “no hay muchos problemas en el mundo más alarmantes que aquéllos causados por el fuego en el hoyo de un estómago vacío.” El concepto fue propiamente resumido por O. Henry, quien dijo “El amor y los negocios y la familia y la religión y el arte y el patriotismo, son nada más que sombras de palabras cuando un hombre está hambriento.” Las amenazas futuras a la paz mundial también pueden surgir de la relación de “humano a suelo” en lugar de “humano a humano”.

La revolución verde del siglo XX

Los avances en la producción agrícola fueron uno de los éxitos del siglo XX. En los EUA se incrementó el rendimiento en grano de maíz, de 1500 a 8400 kg ha⁻¹ (se multiplicó por 5.6); trigo, de 900 a 2900 kg ha⁻¹ (se multiplicó por 3.2); soya de 1800 a 2422 kg ha⁻¹ (se multiplicó por 2.2); arroz de 1680 a 6625 kg ha⁻¹ (se multiplicó por 3.9); y cacahuate de 790 a 3000 kg ha⁻¹ (se multiplicó por 3.8), del año 1900 a 2000, respectivamente. Incluso hubo aumentos, aún más drásticos, en la producción agronómica en el sur de Asia y China, que salvaron a miles de millones de personas del hambre y la inanición. Mientras que los pesimistas auguraron hambre, los científicos del suelo, junto con los mejoradores de plantas y agrónomos, desarrollaron la revolución verde y reforzaron la producción agronómica a través de la introducción de variedades sensibles en suelos fértiles e irrigados. Como ha sido el caso en el siglo XX, a aquéllos que mantuvieron visiones neo-Maltusianas, de nuevo se demostrará su error a través de la adopción de prácticas de manejo recomendadas para el uso sustentable del recurso suelo.

Surgiendo los problemas del siglo XXI

La queja, se lograron ganancias impresionantes en la producción de alimentos en el siglo XX a costa de la calidad ambiental. Con la expansión agrícola vino la degradación del suelo, con el incremento en el uso de químicos agrícolas vino la contaminación ambiental, con el incremento en la irrigación vino la salinización, con la deforestación y el arado excesivo vino la emisión de CO₂ a la atmósfera y con el incremento en la producción vino la excesiva confianza en la energía de los combustibles fósiles. Así, enfocándose en mejorar la ciencia del manejo del suelo, para reforzar y llevar más allá

la productividad agronómica, los científicos del suelo también deben dirigirse a otros problemas importantes para la sustentabilidad ambiental, entre los que se encuentran: el enriquecimiento atmosférico de los gases invernadero, el calentamiento global, escasez de agua fresca renovable y la eutricación y contaminación de aguas superficiales y mantos acuíferos, el depósito de desechos urbanos e industriales, la salud del suelo y humana, el suelo como almacén de germoplasma y las funciones tradicionales del suelo como sustento de estructuras de ingeniería y civiles, y de abasto de materias primas para la industria. Hay una enorme necesidad de estudiar los procesos que gobiernan las interacciones de la pedósfera con la biosfera, para reforzar la productividad agronómica y de biomasa y mejorar la biodiversidad; con la atmósfera, para mejorar la calidad del aire y mitigar el efecto invernadero; con la litosfera, para el depósito de desechos y la captura de CO₂ en estratos geológicos; y con la hidrosfera, para mejorar la calidad y cantidad de los recursos de agua fresca renovable. Por lo tanto, las futuras prioridades en investigación son (a) maximización de la productividad agronómica y la biomasa, por unidad entrada de agua, químicos y energía; (b) minimización de la contaminación ambiental, especialmente polución de agua y contaminación del suelo; (c) moderación climática, a través de la captura de C en el suelo y superficie terrestre, y (d) utilización del suelo como un medio para depósito de desechos. Estudios vinculados con los ciclos de carbono (p. ej. biosíntesis, respiración, mineralización y humificación), agua (precipitación, evapotranspiración, infiltración, escurrimientos) y nitrógeno (fijación biológica e industrial, lixiviación, volatilización) son de alta prioridad.

Construyendo puentes a través de disciplinas

Los científicos del suelo deben mirar hacia otras disciplinas para manejar, efectivamente, los problemas ambientales y ensanchar el ámbito de su investigación más allá del uso del suelo como un medio para el crecimiento de plantas. Los científicos del suelo necesitan trabajar con colegas en ciencias básicas (ej. hidrología, climatología, geología, ecología, biología, química, física) para entender los mecanismos que apuntalan a los servicios del ecosistema del suelo; éstos deben trabajar con colegas en ciencias aplicadas (p. ej. economistas, politólogos, sociólogos) para considerar las dimensiones humanas de los procesos de toma de decisiones. Haciendo esto, los científicos del suelo se posicionarán para servir a las necesidades que surjan en la sociedad humana durante siglo XXI.

Educación

Los planes de estudio de la ciencia del suelo, en los niveles de pregrado y grado deben ser capaces de preparar científicos del suelo para manejar los problemas globales emergentes. Los planes de estudio convencionales en las grandes escuelas que estudian la tierra, a menudo, son débiles en ciencias básicas (p. ej. física, química, matemáticas, biología, hidrología, climatología). La notable falta de estos cursos en los planes de estudio limita la preparación de estudiantes de agricultura y recursos naturales, para la tarea de investigación básica relacionada con el cambio climático, procesos hidrologicos y ecológicos, transformaciones químicas, calidad del agua, ciclo de los elementos y otros procesos que gobiernan los servicios y la elasticidad de los

ecosistemas. También hay una fuerte necesidad de entrenar científicos del suelo con habilidades de comunicación para interactuar, efectivamente, con científicos de otras disciplinas, políticos, organizaciones de fondos, inversionistas industriales, y público en general. Los planes de estudio deben preparar científicos que adopten una aproximación holística para el estudio del suelo, no sólo para la productividad agronómica y la seguridad alimentaria, sino también para afrontar problemas ambientales relevantes, de ingeniería, biológicos, ecológicos, arqueológicos, planetarios/ astronómicos, sociales y políticos. Éstos deben estar preparados para manejar problemas interdisciplinarios, mirando más allá de la disciplina de la ciencia del suelo y trabajando con colegas de otras ciencias.

Problemas de la ciencia del suelo

Un cambio mayor en el paradigma para los científicos del suelo, sobre todo en los países en vías de desarrollo, es emprender proyectos que demanden manejarse con un enfoque innovador y original. La importancia de las contribuciones científicas depende de la originalidad, dedicación y habilidad para resolver problemas por parte de los científicos del suelo. El rigor científico y la calidad siempre están mejorando por los mayores y duros desafíos, que van a ser abundantes en el mundo de 10 mil millones de habitantes, y escasez de recursos naturales que ya están bajo una gran tensión. Entre los numerosos desafíos de importancia global que tendrán que abordarse se encuentran los cinco siguientes:

(i) *Seguridad global de alimentos.* El promedio global del rendimiento de cereal en grano, de 2.64 Mg ha⁻¹ en 2000, debe incrementarse por lo menos a 3.60 Mg ha⁻¹, para el 2025, y 4.30 Mg ha⁻¹, para el 2050. Con posibles cambios en los hábitos dietéticos en economías emergentes, como China e India, el promedio del rendimiento del cereal en grano tendrá que incrementarse a 4.40 Mg ha⁻¹, para el 2025, y 60 Mg ha⁻¹, para el 2050.

(ii) *Biocombustibles.* Además del avance en la seguridad de alimentos, los científicos del suelo deben jugar un papel principal en la producción de alimentos para abastecer biocombustible (bioetanol, biodisel) y celdas de H₂, que son más versátiles como almacenadores de energía y sistemas portadores. Los científicos del suelo necesitan trabajar con ingenieros para incrementar la conversión de luz solar a H₂. La eficiencia de conversión puede mejorarse por la biomasa generada mediante subproductos agrícolas (bagazo, comida empacada/procesada).

(iii) *Depósito de desechos.* Los científicos del suelo necesitarán tomar una actitud activa en el desarrollo de una tecnología de depósito de desechos. Los llamados “desechos” pueden ser transformarse en productos de valor agregado como enmiendas del suelo. El composteo y los basureros pueden usarse para generar biogas, la fauna del suelo puede ser utilizarse para degradar contaminantes y las colonias de termitas en el suelo pueden degradar fibras de madera y materiales celulósicos.

(iv) *Purificación del agua.* Más que la tierra arable per capita, la escasez de agua fresca renovable será un reto mayor en numerosos países en regiones áridas y semiáridas. El manejo juicioso del paisaje suelo dentro de cuencas hidrográficas será necesario para mejorar y ampliar los recursos agua. También, es necesario el desarrollo de mejores

prácticas para el manejo de cuencas hidrológicas con el fin de reducir el problema de hipoxia en ecosistemas costeros.

(v) *Suelo y clima*. Históricamente, los suelos del mundo han sido una importante fuente de enriquecimiento de la concentración de CO₂ y otros gases invernadero. En adición al suelo y la biota, la combustión de combustibles fósiles se convirtió en la principal fuente de CO₂, con el comienzo de la revolución industrial. Sin embargo, deben desarrollarse sistemas de manejo de uso de la tierra para hacer de los suelos del mundo un mayor reservorio para el CO₂ atmosférico. Además, los cambios en la calidad del suelo, debida al cambio proyectado en el clima, deben ser evaluados y considerados en el desarrollo de sistemas para el manejo sustentable.

El suelo y el futuro de la civilización humana

La alimentación para la población mundial de 6.5 mil millones en 2006, 7 mil millones en 2010, 8 mil millones para 2025 y 10 mil millones para el 2050 y más allá, demanda que se restaure y mejore la calidad del suelo. La inseguridad de alimentos, para una población de 850 millones en 2006 y en aumento, junto con varios miles de millones sufriendo hambre oculta, no dejan lugar a la complacencia. Debe hacerse frente al déficit de granos para alimento de 23 millones de megagramos (toneladas) proyectado para el 2010, a través de sistemas mejorados de manejo de suelos, y la adopción de tecnologías de preservación de tierra a través de la intensificación agrícola en el sub-Sahara África y en otras partes donde el cultivo extractivo es ampliamente practicado.

La demanda de energía del mundo de 400 Quads año⁻¹ (1 Quad = 10¹⁵ BTU) se está incrementando. Las alternativas a los combustibles fósiles deben tomar efecto en las siguientes décadas. Los biocombustibles y el H₂ producido de biomasa son fuentes importantes de suministro de energía en el siglo XXI y más allá. La captura de carbono en ecosistemas terrestres es otra opción, aparte de los combustibles fósiles. El desarrollo de tecnologías para el establecimiento de plantaciones de biocombustible sobre suelos degradados y marginados es una estrategia ganar-ganar.

Para hacer frente a los problemas de demanda de alimentos, mejora del ambiente y la disponibilidad y calidad de agua, y el logro de la seguridad de energía, la respuesta es el suelo. Los científicos del suelo tienen una oportunidad de enfrentar esta situación y afrontar estos retos.



Clarificando la percepción negativa e intensificando las contribuciones

Henry Lin

Dept. Crop and Soil Sciences, 116 A.S.I. Building, The Pennsylvania State Univ., University Park, PA 16802. e-mail: bul3@psu.edu

Un obstáculo mayor en el avance de la ciencia del suelo es la percepción negativa del suelo mantenida por el público general y la gran comunidad científica. La visión pública del suelo generalmente está asociada con “suciedad,” “barro” y “cultivo,” lo que conduce a una baja estima, poca apreciación y, por lo tanto, baja preferencia. En la realidad, sin embargo, el suelo es la cuna de diversos ecosistemas, la base para el florecimiento de vida sobre la Tierra (cuando se combinó con el agua), y un problema de seguridad global. Como Daniel Hillel (1991) sucintamente señaló “Nuestra propia civilización está siendo ahora probada con respecto a su manejo del agua, así como también del suelo.” La frágil piel de la Tierra regula el balance de masa y energía de su superficie, pero se ha tomado por mucho tiempo por dispensado, especialmente después de la Revolución Industrial. Los problemas relacionados con el suelo abundan, incluso en los ambientes urbanos, incluyendo el depósito de desechos, la prevención de la contaminación, el manejo del agua de lluvia, los espacios verdes, la cimentación de construcciones y el uso de la tierra.

En la comunidad científica, el suelo comúnmente se visualiza como “simple,” “fácil,” e “invisible,” lo cual conduce a enfoques sobre-simplificados al estudiar la heterogénea y dinámica geodermis y al abandono del oculto, pero difícil de renovar, tesoro bajo los pies. Science publicó un tema especial, en el 2004 (Vol. 304, edición 5677), en “Soil – The Final Frontier” sugiere que, después de 500 años desde Leonardo Da Vinci, la tierra bajo nuestros pies todavía es tan extraña como un planeta distante. Es intrigante meditar ¿por qué la exploración extraterrestre es más urgente que la exploración y protección del planeta, nuestro hogar?, ¿por qué tantos fenómenos críticos en el suelo todavía son “misteriosos” (ej. la biodiversidad microbiana bajo la tierra y los patrones preferenciales de flujos subsuperficiales)?

Sugiero seguir tres pasos para ayudar a impulsar la ciencia del suelo, de manera que actuemos enérgicamente e intensifiquemos nuestras contribuciones a la sociedad y la ciencia en general:

Dirección de percepciones erróneas

Mucho puede hacerse y se necesita hacer en este aspecto. Por ejemplo, pueden usarse representaciones innovadoras para revelar el complejo mundo bajo nuestros pies. Una oportunidad excelente es la Exhibición Smithsonian de Suelos, programada para abrirse en el 2008, donde pueden utilizarse películas interactivas, presentaciones multimedia y demostraciones en vivo para educar e impresionar a millones de personas alrededor del mundo acerca de los desafíos y recompensas al explorar el suelo. Otro enfoque al cual recurrir es el concepto Zona Crítica de la

Tierra, para ayudar a incrementar la conciencia y consideración del suelo y publicar las oportunidades de la profesión al trabajar con el suelo.

La Zona Crítica es esa parte de la Tierra desde la parte alta de los árboles hasta el fondo de los acuíferos (NRC, 2001), contiene la pedósfera entera como su cimiento central. Las interacciones en estas interfaces entre la Tierra sólida y sus envolturas de fluidos determinan la disponibilidad de casi cada recurso que es sustento de vida y provee el sustento para todas las actividades humanas. Por esto, el concepto Zona Crítica proporciona un esquema comprensivo para los estudios integrados del agua con el suelo, rocas, aire y recursos bióticos, y justifica la necesidad de fondos para el apoyo y el suministro continuo de futuros científicos del suelo. Para promover la ciencia del suelo, también creo en el mérito de distinguir la pedología del término general de ciencia del suelo, porque una muestra aplastada de suelo es semejante a un perfil de suelo natural, como un montón de ladrillos lo es a un hermoso edificio. La manera tradicional de estudiar suelos, usando cuentas de vidrio, arenas de playa, materiales de suelo cribados o columnas de suelo aislado, debería reemplazarse más con suelos *in situ* que tengan inequívocas características de rasgos pedogenéticos, estructuras, capas, heterogeneidad, dinámica y contexto en el paisaje.

Formar alianzas con otras disciplinas

El acoplar, escalar y forzar son tres problemas científicos fundamentales reconocidos por muchas disciplinas (NSF-CUAHSI, 2005). De aquí que se necesita una aproximación integrada, multidisciplinaria y multiescalar para mejorar nuestra habilidad para prever y planear los cambios globales y aplicarla a los problemas sociales críticos como la seguridad humana, salud humana, desarrollo económico y sustentabilidad. Los enfoques tradicionales limitados a la disciplina y basados en componentes individuales para medir, modelar y predecir procesos pedológicos, hidrológicos y biogeoquímicos necesitan reemplazarse por estudios integrados de suelo, agua y biogeoquímica. De hecho, las interacciones del suelo y el agua son tan íntimas y complejas que no deberían estudiarse de manera poco sistemática, sino como un sistema a través de escalas espaciales y temporales.

Los ciclos biogeoquímicos son inseparables del ciclo hidrológico y el reservorio crítico del suelo, lo cual muestra la importancia fundamental de los estudios integrados para los flujos de agua, energía y elementos químicos. Como el agua se ha recomendado como un tema unificador para la investigación y la educación en los sistemas ambientales complejos (NSF, 2005) y la Zona Crítica proporciona un esquema atractivo para estudios integrados de recursos naturales y el ambiente (NRC, 2001), aliándose la ciencia del suelo con la hidrología, la biogeoquímica y otras biociencias y geociencias relacionadas, demostrarán ser fructíferas.

Aumento de las contribuciones de la ciencia del suelo

Dentro de la estructura de exploración integrada de la Zona Crítica, los suelos juegan 7 + 1 papeles – desde la geociencia básica a la hidrología, la ecología, la ciencia

atmosférica, la agrícola, la ingeniería y las ciencias ambientales, hasta las exploraciones extraterrestres (Lin, 2005). Semejante visión inclusiva para la integradora ciencia del suelo ayuda a reforzar su imagen en la toda comunidad científica. Entre tanto, necesitamos afilar las herramientas utilizadas para trazar, supervisar y modelar procesos integrados en la pedósfera, y reforzar las contribuciones de la ciencia del suelo a la sociedad.

Un ejemplo excelente es Selman Waksman, un microbiólogo del suelo, quien ganó el Premio Nobel en Fisiología y Medicina en 1952 por su descubrimiento del antibiótico estreptomina, que fue la primera droga valiosa en el tratamiento de la tuberculosis. Ahora nosotros sabemos que entre el inmenso número y variedad de microorganismos en el suelo está un organizador de microbios, valorado por su potencial para ayudar a resolver problemas ambientales y suministrar la cura, así como la enfermedad (como el botulismo y ántrax).

Otro ejemplo es la teoría de formación del suelo de V.V. Dokuchaev y H. Jenny, la cual ha tenido impacto profundo en el campo de la geografía, geomorfología, ecología, geología Cuaternaria y paleopedología.

Un tercer ejemplo queda en las decisiones del uso de la tierra y la planeación de “cultivos inteligentes”; debido a los nuevos planes de uso de la tierra y prácticas de desarrollo de tierras, se debería considerar la manera en la cual los suelos naturales varían en el paisaje, lo que ofrece pistas acerca de “qué” puede hacerse mejor y “dónde”, con los riesgos más bajos y las mayores oportunidades (Bouma, 2006).

Terminando, espero que una imagen clara de *comida en nuestra mesa, agua en nuestra botella y aire en nuestro cuarto* pueda conectarse bien a ese regalo de la naturaleza para nosotros, lo que llamamos suelo, y que, en un caso dado, nos obligue a promover los estudios integrados de la Zona Crítica de la tierra para mejorar la ciencia del suelo e intensificar sus contribuciones a la sociedad y toda la ciencia.

Referencias

- Bouma, J. 2006. Hydrogeology as a powerful tool for environmental policy research. *Geoderma* 131:275-286.
- Hillel, D. 1991. *Out of the Earth – Civilization and the Life of the Soil*. The Free Press. New York. NY.
- Lin, H.S. 2005. Letter to the Editor on “From the Earth’s Critical Zone to Mars Exploration: Can Soil Science Enter Its Golden Age?” *Soil Science Society of America Journal* 69:1351-1353.
- National Research Council (NRC). 2001. *Basic Research Opportunities in Earth Science*. National Academy Press. Washington, DC.
- National Science Foundation Advisory Committee for Environmental Research and Education (NSF AC-ERE). 2005. *Complex Environmental Systems: Pathways to the Future*, Washington, DC.
- National Science Foundation – the Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science (NSF-CUAHSI). 2005. *Cooperative Large-Scale*

Environmental Observatories (CLEOs). Interim Science and Implementation Plan. Washington, DC.



Perspectivas y orientación del futuro de la ciencia del suelo

Franz Makeschin

Dresden University of Technology, Piennner Str. 19, D-01737 Tharandt, Germany. e-mail makesch@forst.tu-dresden.de

La ciencia del suelo tiene inherente una función mediadora única en la investigación y la educación ambiental. Conecta facetas múltiples de ciencias ecológicas con aquellas que tratan con el agua y los recursos atmosféricos y bióticos. La ciencia del suelo contribuye de forma consistente al sostenimiento de los recursos para la vida como la comida, la habitación, la recreación, las actividades industriales y el transporte. Los suelos son clave en los elementos del paisaje y, por lo tanto, un requisito importante para introducir los costos y beneficios en el análisis socioeconómico del uso de la tierra.

Durante el siglo pasado la ciencia del suelo desarrolló intensamente su tarea. En la primera fase prevalecieron los enfoques orientados a la disciplina con las secciones clásicas, como física de suelos, química de suelos, biología de suelos, geología de suelos o clasificación de suelos. Enseguida los aspectos orientados a los procesos jugaron un papel importante considerando las demandas progresivas por entender las funciones del suelo para la producción de cultivos y el ambiente. Estas actividades se reflejan de manera impresionante en los numerosos artículos científicos revisados por pares, libros de texto y conocimientos aplicados. Sin embargo, a pesar de los logros indudables de la ciencia del suelo, las próximas demandas respecto al manejo sustentable de nuestros recursos naturales, para mitigar problemas ambientales y riesgos, y para afrontar la degradación mundial del suelo son los mayores desafíos persistentes.

En conjunción con estas demandas, la ciencia del suelo tiene que, además, contribuir a una comprensión global y la solución de problemas. Por consiguiente, es esencial mejorar nuestro conocimiento en los aspectos básicos y aplicados, especialmente en la transferencia de conceptos para el manejo, evaluación, administración y educación ambiental. Debería darse una consideración especial a una educación atractiva y entrenamiento avanzado al estudiante, no sólo por medios locales, sino también mediante educación a distancia, la cual, incluso, permite el acceso razonable de grupos objetivo en regiones marginadas.

Algunos temas sobresalientes son el enfoque del uso sustentable de la tierra, los indicadores integrados de degradación del suelo y los métodos ecológicamente eficaces y económicamente viables para la protección del suelo. Para las regiones tropicales y subtropicales, innovadores y significantes sistemas de clasificación para la estimación de la fertilidad y la fertilización, para el escalamiento y regionalización, y para sistemas de información del suelo, combinan experiencias de campo y las modernas técnicas remotas.

Junto a la visión ecológica y el manejo respectivo, debe darse suma importancia a las herramientas de planificación necesarias para el uso sustentable de la

tierra y los aspectos socioeconómicos y de aceptación para los diferentes grupos objetivo. En conjunto, los conceptos deberían conectar investigación y educación ambiental.

Las sociedades nacionales de la ciencia del suelo deberían identificar y definir las prioridades de investigación dentro del esquema de la IUSS, bajo la consideración especial de las áreas de investigación interdisciplinarias e intradisciplinarias. Como áreas clave de investigación se hace énfasis a los siguientes temas:

- Suelos, consumo de tierra, rehabilitación de tierra y reciclado
- Suelos y clima
- Suelos y uso de la tierra
- Métodos innovadores e integradores en la investigación del suelo
- Investigación del suelo en el ámbito nacional e internacional
- Los suelos en la educación: entrenamiento avanzado y sociedad



Meditaciones sobre el futuro de la ciencia del suelo (en ~ 1 k palabras)

Alex. McBratney

Faculty of Agriculture, Food & Natural Resources, McMillan Building A05, The University of Sydney, NSW 2006, Australia. e-mail Alex.McBratney@usyd.edu.au

¡Mi instinto me dice, no hagas esto! ¿Por qué no? Yo tengo una somera idea, recogida a través de una lectura superficial de un ensayo del laureado nobel británico, filósofo, científico y autor de prosa clara, Peter Medawar, quien dijo que la predicción del futuro de cualquier ciencia está condenada al fracaso. Recuerdo que él dio un argumento filosófico que apoya esta posición. Va aproximadamente así. Desde su punto de vista, la ciencia versa sobre la adquisición o descubrimiento de nuevo conocimiento acerca de la naturaleza –no simplemente sobre corolarios lógicos del conocimiento existente. Este conocimiento viene de formular y probar nuevas hipótesis o ideas– si le digo ahora lo que estos nuevos conceptos serán, entonces lógicamente esos conocimientos no pueden ser nuevos en el futuro. Así, dado este argumento, basado en una definición bastante estricta de qué está tratando la ciencia, el curso futuro de ésta no puede predecirse. Así que la posición de Medawar era inequívoca, si cualquiera le pide que pronostique sobre la ciencia, el consejo simple y sagaz es no lo haga.

Así, fuera de alguna sensación de abandono, me encuentro haciendo exactamente eso que en apariencia es irracional filosóficamente. Ah bien, aquí va. Para empezar, una cita:

*... como sabemos, hay conocidos sabidos;
hay cosas que sabemos que conocemos.
También sabemos que hay conocidos ignorados;
es decir, sabemos que hay algunas cosas que no sabemos.
Pero hay también ignorados desconocidos,
los que no sabemos que no conocemos.*

Esto fue muy bien dicho por Donald Rumsfeld, ministro de defensa de los EUA, en un informe de prensa en la Casa Blanca, en febrero 12 de 2002.

¿Qué tiene esto que ver con el futuro de la ciencia del suelo? Bien, un poco. Muchos se han mofado de este arranque como imprudente, inarticulado o simplemente incomprendible. Siento, sin embargo, que nos da algunas categorías claras de conocimiento, las cuales podemos usar para pensar sobre el futuro de cualquier conocimiento –basado en una empresa, sea la psicología, sinología o ciencia del suelo. Podemos organizar y extender ligeramente las categorías de Rumsfeld para construir un cuadro de doble entrada, así.

Características de las categorías de Rumsfeld extendidas de estados de conocimiento y su relación con la ciencia (suelo)

	CONOCIDO (S)	DESCONOCIDO (S)
Conocido	<p>Categoría 4</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (General) Ciencia del suelo conocida o aparentemente conocida ○ ¿Qué tan general es? ○ ¿Qué tan universalmente verdadero es? 	<p>Categoría 2</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 'Investigación normal' ○ Rellenando los huecos ○ Tecnológicamente asistido ○ Predecible
Desconocido	<p>Categoría 3</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ ¿Educación – inversionistas? ○ Nosotros ○ Las generaciones futuras ○ Políticos ○ La unión de necesidades y síntesis 	<p>Categoría 1</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Visión de Medawar de los retos científicos de ○ La frontera ○ Lo impredecible ○ El excitante futuro descansa aquí

Así como un bello desfile de lo viejo, revelaré estas categorías en orden inverso.

Categoría 4 (lo que sabemos conocido)

Esto es el canon de la ciencia del suelo que todos los científicos del suelo profesionales más o menos saben. Ahora, y en el futuro, tenemos que meditar sobre todo esto y verificarlo por inconsistencias y conceptos erróneos. Dos posibles ejemplos. ¿No es tiempo de que Jenny fuera reemplazado? (algunos han defendido un enfoque de energía.) ¿El concepto de calidad del suelo es ficticio o simplemente un callejón sin salida? Creo que deberíamos gastar 5% aproximadamente de nuestro esfuerzo en esta categoría (en este momento es probablemente < 1%).

Categoría 3 (lo ignorado conocido)

Claramente, esto es acerca de la educación –haciendo que otros se enteren de lo que nosotros sabemos y podemos hacer. Primero necesitamos unirnos y sintetizar nuestro conocimiento –hacerlo menos fragmentado, y entonces diseminarlo a nuestros compañeros científicos, las nuevas generaciones, políticos y el público. Ésta es una gran tarea, dado que en muchos países las nuevas generaciones y nuestros gobiernos están desencantados con la ciencia. ¡Necesitamos gastar 40% de nuestro esfuerzo aquí!

Categoría 2 (lo conocido ignorado)

Esto es lo que mucha gente piensa de cómo es la investigación. Es acerca de colorear un cuadro en blanco y negro, o poner la carne en los huesos, de nuestro conocimiento. Entre los muchos conocimientos ignorados sabemos que necesitamos un completo entendimiento de la función biológica del suelo, descubrir la estructura real y la función de los materiales orgánicos, una teoría cuantitativa (no la descripción) de la variación del suelo y una manera exitosa

de agregar y desagregar propiedades y procesos del suelo, espacial y temporalmente. La tecnología, al facilitar nuevas máquinas e instrumentos de medición, es una gran ayuda pero no debería manejar la agenda. Puede ser una droga y podemos hacernos adictos y engañarnos. La tecnología está aquí para ayudarnos a contestar las preguntas, no ser un fin en sí mismo. Aproximadamente, cincuenta por ciento de nuestro esfuerzo necesita ponerse aquí, pero no debería ser mucho más que eso.

Categoría 1 (lo desconocido ignorado)

Ésta es la ciencia real de Medawar y la investigación genuina. Apenas algunos trabajos en esta categoría, fuera del borde –los gobiernos y las instituciones no entienden éstos– es difícil conseguir dinero para hacerlo, pero tal vez no se necesita dinero. Sin embargo, necesitamos tiempo, y mucho de éste, porque requerimos un pensamiento profundo. Aquí es donde los descubrimientos ocurren. Las nuevas ideas les darán algo que hacer a los investigadores de la Categoría 2, durante 30 o más años después de que estos adelantos se hayan hechos. Lógicamente, no puedo decir lo que éstos serán, pero podrían ser cosas heréticas raras, como que las bacterias produzcan los minerales de arcilla o que el espesor del suelo es un control clave del ecosistema terrestre. Necesitamos gastar mucho más tiempo pensando – y necesitamos consagrar por lo menos cinco por ciento de nuestro esfuerzo en esta categoría.

Me he concentrado en la ciencia del suelo más que en los políticos, sociólogos o economistas. Claramente, lo que de hecho suceda se manejará por geopolíticos, incluso en países en vías de desarrollo y en rápido desarrollo, junto con las amenazas y desafíos humanos y ambientales percibidos. Aunque, podríamos pensar que el canon de la ciencia del suelo es global, mucho de lo que se ha logrado ha sido a partir de conceptos locales para problemas locales, un tipo particular de fertilización, salinización y acidificación, que podría tener causas y soluciones diferentes en lugares distintos. Si bien, esto continuará, tendremos que unir nuestro conocimiento y pericia para resolver problemas globales de alimentos, agua, seguridad energética y sustentabilidad dinámica. Necesitamos una ciencia del suelo grande, que abrace todo, y amplia para servir a la sociedad. Esto asegurará nuestra supervivencia como una disciplina estimada. No podemos permitirnos el lujo de estar mirando hacia el centro y contemplativos. El número de científicos del suelo necesita aumentar más rápidamente que la población mundial.

Defiendo un punto de vista meditativo, expansivo, que mire al exterior. ¡Repetiendo las palabras de mi compatriota Burns, y adelante ¡aunque yo no puedo ver, supongo y espero!

Alfred pidió mil palabras, quizás yo debería haber pintado un cuadro.



Visión de un pedólogo sobre el futuro de la ciencia del suelo

Neil McKenzie

Bruce E. Butler Laboratory, CSIRO Land and Water, GPO Box 1666, Canberra, ACT, 2601. Australia. e-mail Neil.McKenzie@csiro.au

Mi perspectiva, inevitablemente australiana, sobre la ciencia del suelo es desde la disciplina integradora de la pedología. Los paisajes predominantemente áridos de este continente han amoldado la vida de centenares de generaciones. Los impactos humanos, después de la colonización hace unos 60 000 años, están a discusión, pero por incendios la vegetación y la fauna sufrieron cambios sistemáticos. Más dramático ha sido el corto período de colonización Europea. Mientras muchos colonos europeos tenían buen ojo para el potencial agrícola de la tierra, la mayoría no entendió las limitaciones inherentes a los, a menudo, suelos viejos y empobrecidos. En 1949, esto condujo a un político prominente a concluir que “no podríamos tener un problema más grande de los suelos del país si su destrucción se hubiera llevado a cabo bajo vigilancia.”

La ciencia del suelo floreció en respuesta al obvio desafío. Una comunidad científica enérgica surgió, apoyada generosamente por los gobiernos y las agradecidas industrias primarias. Ellos generaron valioso conocimiento que en el futuro se combinaron con actitudes sociales progresistas para resultar en mejor calidad del manejo de la tierra, a través de grandes porciones de Australia. Sin embargo, muchos problemas permanecen, incluidos una proporción no sustentable de erosión del suelo, extensa acidificación, materia orgánica insuficiente, contaminación y salinidad. Mientras que la comprensión científica de estos problemas es buena, la implementación de soluciones es difícil. Se requiere un esfuerzo combinado de individuos, comunidades, científicos, gobiernos e industrias. La necesidad de entender los procesos del suelo ha sido alcanzada por la necesidad de aplicar lo que sabemos.

Sin embargo, el sustento del ambiente se ha atirantado -es fuertemente aplicada, a corto plazo, y de manera comercial. La ciencia del suelo es apoyada a condición de que resulte en un mejor manejo de los recursos naturales y, en particular, el recurso agua. El número de científicos del suelo comprometido en la investigación ha declinado y disciplinas como la pedología se han depauperado severamente. Esto viene en un momento en que los pedólogos son necesarios para proporcionar las recomendaciones sobre *dónde* localizar sistemas particulares de manejo del suelo. También hay demanda por funciones de predicción en suelos en paisajes a través de un rango de escalas para apoyar la modelación simulada.

Evolución del suelo y manejo de la tierra

Es medular una visión integrada de procesos del suelo para legitimar su manejo. Las propiedades y los procesos del suelo, ajustados dentro de ecosistemas y la formación del suelo, son una consecuencia de ciclos y flujos de energía, agua, sedimentos,

nutrimentos y otros materiales. El sustento de nuestra visión integrada debe ser una comprensión del suelo y la evolución del paisaje durante décadas, siglos y milenios. Esto no es sólo una finura teórica para el pedólogo. Proporciona el contexto esencial y una referencia para entender cómo interactúan los usos del suelo actuales con el paisaje (p. ej. velocidad base de erosión, fuga de nutrimentos, equilibrio de las concentraciones de carbono). La ciencia del suelo está formulando demasiado poco dentro de este contexto. Mientras que debemos mucho a Hans Jenny, la aproximación factorial funcional ya no provee un esquema teórico suficiente para explicar la formación del suelo, particularmente en paisajes antiguos, donde las escalas de tiempo para el desarrollo del suelo y el paisaje son comparables a las de la evolución biológica. Las conceptualizaciones del desarrollo del suelo y el paisaje necesitan hacer énfasis a procesos, uniones del sistema y co-evolución, en lugar de entender los factores solos. Semejante esquema teórico es más compatible con la acumulación de materiales usados en geomorfología, ciclos biogeoquímicos, hidrología, hidrogeología y física atmosférica. Tenemos buenos puntos de partida para desarrollar una teoría general mejorada de la evolución del suelo, pero el informe definitivo todavía será escrito. Los beneficios podrían incluir una comunicación interdisciplinaria más eficaz y una mejor predicción espacial.

Medición

Muchos problemas prácticos requieren una habilidad para estimar flujos de agua, nutrimentos, solutos y sedimentos. También se requiere del entendimiento de los conductores de cambio. En la mayoría de los casos, una comprensión segura se deriva sólo de las medidas a un sitio de investigación por un largo plazo. Asimismo, hay una necesidad de estimar el registro pre-instrumental para determinado contexto. En muchos países, la falta de sitios ecológicos de investigación a largo plazo (vea www.lternet.edu) debilita nuestra capacidad para ser contundentes sobre una amplia gama de problemas ambientales urgentes.

Como un desafío central permanece la generalización de unos pocos paisajes bien estudiados a grandes regiones. En la mayoría de los países, particularmente en aquéllos fuera de Europa y América del Norte, los levantamientos de suelo existentes no proporcionan un esquema adecuado. Los nuevos y prácticos métodos de cartografía digital del suelo han surgido durante los últimos 20 años y están expandiendo a proporcionar una alternativa en los levantamientos tradicionales (www.digitalsoilmapping.org). Sin embargo, el progreso es lento, comparado con los adelantos espectaculares en el monitoreo de la superficie terrestre y la atmósfera. Las tecnologías relacionadas para la información espacial, como Google Earth, son notables y han creado expectativas en información del suelo que están más allá de nuestra capacidad para transmitir. Nuestra barrera más grande es la falta de métodos eficientes para medir las propiedades funcionales del suelo a escalas pertinentes al manejo de los recursos naturales. La revolución en la captación y la medición ambiental es producida por sensores inalámbricos, más pequeños, más rápidos, más eficientes en el uso de energía, y diestramente programados. El Mars Rover es un ejemplo fino y está produciendo excelentes progresos en la agricultura de precisión. Sin embargo, se necesitan sistemas de medición para la secuencia completa

de capas de suelo a través de un rango de escalas y no simplemente del centro del suelo o el perfil. Una prioridad es caracterizar de la variación en las propiedades hidráulicas a escalas de longitud entre 10 y 1000 m.

Unos imperativos

Ahora, la cooperación y la comunicación efectiva con otras disciplinas son esenciales. Esto requiere el dominio de la propia disciplina, toma tiempo para adquirirlo y es fácil pasar por alto aspectos de la ciencia del suelo que, anteriores al advenimiento de las revistas electrónicas o confiados a las tradiciones escolásticas orales (ej. campos de estudio), han sido desbaratados. Por ejemplo, nuestro conocimiento de pedogénesis en partes de Australia ha ido en reversa, a pesar de nuestros más buenos esfuerzos por registrar lo que es conocido. La situación es más complicada porque las elecciones profesionales ahora son menos ciertas y pocos estudiantes asumen lo que será su vocación de vida. Es indispensable, para todos nosotros, trabajar duro para consolidar nuestro conocimiento existente y hacerlo accesible a nuestros estudiantes y colegas.

Apenas he hecho referencia a grandes partes de la ciencia del suelo. Estoy seguro de que vendrán avances excitantes en la ciencia del suelo de parte de la biología molecular, pero las especulaciones sobre qué temas, se los dejo a otros. Finalmente, no puede haber ninguna duda sobre la importancia fundamental de la ciencia del suelo. El crecimiento de la población humana y las aspiraciones por normas niveladas de vida occidental asegurarán que la producción de alimentos, suministro de agua, manejo de desechos y calidad ambiental serán los problemas preeminentes que confrontarán las naciones en las próximas décadas. Richter y Markewitz (2001) formulan nuestra tarea en los más claros términos: 'Bien manejado, el suelo circula elementos químicos, agua y energía para el gran beneficio humano. Pobremente manejado, es imposible imaginar un futuro optimista.' Debemos asegurar que los suelos sean bien manejados.

Agradecimientos

David Smiles y Richard Stirzaker ofrecieron comentarios útiles en un primer borrador.

Referencia

Richter, D.D. y D. Markewitz. 2001. Understanding soil change. Cambridge University Press. Cambridge.



El Futuro de la Ciencia del Suelo

Ahment Mermut

University of Saskatchewan, Department of Soil Science, Saskatoon. S7N 5A8, Canada. e-mail mermut@skymay.usask.ca

La ciencia de suelo ha hecho contribuciones significativas a la calidad de vida humana y ha ampliado nuestra comprensión del manejo del recurso suelo para hacer frente a nuestras necesidades de alimentos y fibras. La capacidad para alimentar a la población, actualmente alrededor de 6 mil millones de personas, ha suscitado preocupaciones sobre la seguridad de alimentos y la ciencia de suelo es una de las ciencias básicas que proporcionan progresos envidiables en seguridad de alimentos. Esta demanda cambiante de la sociedad ha estimulado nuevas áreas de investigación, como el ciclo global del carbono, la calidad del suelo con relación a la calidad del agua, la degradación de la tierra, reciclado de biogeoquímicos, etc.

Hay una discusión en curso sobre el papel de la ciencia de suelo en la sociedad y la responsabilidad social para sustentar la ciencia; tales discusiones están conduciendo a cambios de paradigma en instituciones responsables de la investigación y el desarrollo. Aunque la ciencia del suelo moderna vio su nacimiento después de la segunda guerra mundial, ha enfrentado nuevos desafíos en el inicio del nuevo milenio, que incluso cuestionan su importancia y necesidad para la sustentabilidad sobre la vida en la tierra. Parte de este dilema ha resultado del hecho de que la ciencia de suelo, hasta hace poco tiempo, no estableció su papel en estudios ambientales. Ahora está bien establecido que todos los estudios ambientales necesitan la comprensión fundamental del sistema suelo, desde niveles atómicos hasta globales. La comunidad de la ciencia de suelo ha hecho incursiones importantes en este campo de investigación.

Ahora, un nuevo grupo de clientes valora la información del suelo, la demanda de más y mejor información ha aumentado y se está exigiendo que la información se entregue de manera más oportuna. Desde la década de 1980, ha tenido lugar un cambio dramático en nuestro pensamiento acerca de la utilización de los recursos del suelo y la tierra. Ha habido un conocimiento creciente de la salud del ecosistema, el mantenimiento de la calidad ambiental y la velocidad de consumo de los recursos, incluso en países en vías de desarrollo. El concepto de desarrollo sustentable, iniciado por la Brundtland Commission (World Comisión on Environment and Development, 1987), junto con la Agenda 21 de la Conferencia de Naciones Unidas para el Ambiente y el Desarrollo (United Nations Conference on Environment and Development, 1992), han desempeñado un papel significativo en nuestras actividades dentro la investigación y el desarrollo.

La degradación de la tierra, especialmente aquella inducida por los seres humanos, se ha convertido en una preocupación seria que afecta la subsistencia de casi cada persona sobre la tierra. Desde un punto de vista agrícola, la utilización del suelo es la causa principal de la disminución de la calidad del suelo. Los estudios, particularmente de las últimas dos décadas, están señalando una variedad de impactos negativos en los ecosistemas globales, dando por resultado la declinación en calidad de

la tierra, el calentamiento global y la desaparición constante de especies de plantas y animales. La degradación de la tierra y el ambiente son los dominios de los científicos del suelo. Esto es un ejemplo excelente para integrar no sólo sub-disciplinas de la ciencia de suelo, sino también otras disciplinas, incluyendo consideraciones sociológicas, etnoculturales, políticas y económicas.

La necesidad de la información del suelo está llegando a ser más importante en términos del manejo sustentable de la tierra, salud del ecosistema y reciclado de biogeoquímicos. La evaluación del recurso del suelo y el monitoreo de los recursos del suelo están entrando a una nueva era, en términos de información de calidad, producida por nuevas tecnologías de información a través del uso de sistemas de información geográfica (SIG) y sensores remotos. La necesidad de información del suelo para apoyar la agricultura resultó en la enseñanza de suelos como parte integral del plan de estudios agrícola.

No obstante, la realidad es que muchos conceptos, metodologías e información se han tomado de otras ciencias de la tierra, como petrología sedimentaria, hidrología, geomorfología y mineralogía, para servir específicamente a la producción agrícola. Un factor importante que está forjando una mejor alianza es el ímpetu proporcionado por los estudios del cambio climático global que requieren de una mejor comprensión y cuantificación de los procesos superficiales de la Tierra y el cambio climático global. La captura de carbono del suelo se está convirtiendo en una estrategia para alcanzar la seguridad de alimentos, a través del mejoramiento de la calidad del suelo (Lal, 2004). Aunque la necesidad de asegurar la productividad del suelo no ha disminuido, las investigaciones adicionales para sustentar procesos biogeoquímicos globales tendrán ventajas de gran envergadura para la ciencia como un todo.

Nuevas tecnologías, como la geoquímica de isótopos estables (Landi *et al.*, 2004), la resonancia magnética nuclear (NRM), la microscopía electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM), la microscopía de la fuerza atómica (AFM), la espectrofotometría de masas por pirolisis y otras, han proporcionado enormes oportunidades de estudiar y ampliar nuestra comprensión de la materia orgánica. Weiss *et al.* (1993) han proporcionado un buen ejemplo de cómo la información sobre estratigrafía del suelo puede ayudar a reconstruir el paleoambiente de la civilización humana y los sistemas de uso de la tierra. Muchos trabajos recientes demuestran cómo los paleosuelos se pueden interpretar en el contexto del cambio ambiental (Arnold *et al.*, 1990). Esto apoya la visión de que necesitamos dar más atención a investigaciones interdisciplinarias para lograr nuestra tarea como científicos del suelo.

Como Yaalon (2000) expresó, muchas religiones antiguas reconocieron la importancia de los suelos y sus costumbres emitieron un mensaje espiritual de la Tierra como dadora de Vida. Pero desgraciadamente los eruditos antiguos y clásicos no trabajaron en la naturaleza del suelo.

Referencias

- Arnold, R. W., I. Szabolcs, and V.O. Targulian. 1990. Global soil change. Report on IIASA-ISSS-UNEP. Task force on the role of soil in global change. International Institute for Applied Systems Analyses, Laxenburg.

- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623-1627.
- Landi, A., A. R. Mermut, and D. W. Anderson. 2004. Carbon distribution in a hummocky landscape from Saskatchewan, Canada. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 174-184.
- United Nations Conference on Environment and Development (UNCED). 1992. United Nations Conference on Environment and Development (UNCED). Rio de Janeiro.
- Weiss, H., M.A. Courty, W. Wetterstrom, F. Guichard, L. Senior, R. Meadow, and A. Curnow. 1993. The genesis and collapse of the third millennium North Mesopotamian civilization. *Science* 261: 995-1004.
- World Commission on Environment and Development. 1987. *Our common future*. Oxford Univ. Press. Oxford.
- Yaalon, D. 2000. Down to earth. Why soil and soil science matters. *Nature* 407: 301.



El futuro de la ciencia del suelo: fomentar acoplamientos multidisciplinarios

P.S. Minhas

Central Soil Salinity Research Institute, Karnal-132 001, Haryana, India. e-mail psminhas@cssri.ernet.in

Los suelos, aunque han experimentando transformaciones continuas con el tiempo, proporcionan un hábitat a la vida biológica y una base para el desarrollo de las civilizaciones. Los estudios de suelos están llegando a ser, ahora, cada vez más importantes, especialmente en países subdesarrollados y en vías de desarrollo, como la India, donde la incontrolada presión demográfica está conduciendo a conflictos de intereses y competencia de aglomeraciones urbanas e industrias. Mucha de la preocupación está siendo generada por los investigadores, los planificadores, los ecologistas y los agricultores, de igual forma por la declinación de la productividad en la agricultura y la pérdida de biodiversidad debido a los desórdenes relacionados con el suelo, la contaminación de suelos por fuentes geogénicas y antropogénicas, la erosión, la inundación, la salinidad y otros problemas relacionados como la disminución en calidad del agua y el aire. La restauración de la productividad de tales suelos degradados no sólo es una necesidad ecológica, sino una necesidad socioeconómica imperativa para garantizar la supervivencia de los habitantes. Los científicos del suelo juegan un papel importante para dirigir la naturaleza compleja del ambiente, la biodiversidad y los desafíos respecto del uso de la tierra, encarados por la humanidad ahora y en el futuro.

Entre los procesos de degradación del suelo, la erosión hídrica, que afecta globalmente más de la mitad del área, se ha reconocido como la amenaza más grande para los paisajes y ecosistemas. El manejo de aguas residuales en el paisaje ahora necesita ir más allá de la definición y cuantificación del problema, para incluir el desarrollo, la prueba y la validación de estrategias de remediación. El agua es esencial para la producción de alimentos y toda la actividad económica. Con el aumento de demandas de los sectores doméstico y ambiental, el agua se está volviendo cada vez más en un artículo insuficiente para la irrigación. Así, el objetivo de asegurar bastante producción de alimento, frente a las escasez pronosticada, requeriría a los científicos del suelo trabajar con ingenieros en el mejoramiento del eficiente uso del agua y asegurar “más cosecha por gota”, a nivel de sistema/cuenca, y también mejorar la productividad de los ambientes limitados de agua, obteniendo cultivos en sistemas de producción de secano.

La urbanización, junto con la industrialización, también está induciendo a la enorme producción de desechos antropogénicos de composición compleja, conduciendo a problemas de disposición. El cambio en los estilos de vida está activando el mayor uso de detergentes y aerosoles, y la generación de basura que contiene metales pesados, polímeros, ingredientes farmacéuticos, etc. Los suelos son el último sumidero para todos estos agentes contaminantes, pero su capacidad para soportarlos es finita. Por un lado, está aumentando la desviación de buenas tierras

agrícolas a propósitos civiles y, por otro, reduciendo las tierras disponibles por dedicarlas a sumideros para estos desechos. Esto es, por lo tanto, una amenaza de doble filo. La escasez del agua y el uso adecuado de aguas de buena calidad están conduciendo a la creciente utilización de aguas de calidad marginal en la agricultura, junto con los problemas acompañantes de salud humana y animal, salud del suelo, y la pérdida en cantidad y calidad del producto de la cosecha. Dirigirse a todos estos problemas requiere de una sociedad de científicos del suelo más holística, multidisciplinaria e integrada con los ingenieros de salud pública, los hidrobiólogos y los profesionales médicos.

Aunque los fertilizantes y otros insumos han conducido frecuentemente al aumento de los rendimientos a corto plazo en muchas partes del mundo, las preocupaciones están creciendo cada vez más por la pérdida eventual de la productividad del suelo y la biodiversidad, debido a la explotación de los nutrientes causada por cultivos intensivos y el poco reciclado de materiales orgánicos. Para superar las múltiples deficiencias nutrimentales y reforzar el contenido de la materia orgánica de suelos tropicales, los científicos del suelo están trabajando en nuevos enfoques, como el manejo integrado de nutrientes, la agricultura de precisión, la agricultura de conservación, la agricultura orgánica, etc. Hay muchos otros problemas que atender, como el calentamiento global, la modelación multifactorial de los complejos procesos del suelo, los sensores remotos y las aplicaciones de tecnologías de la información para la planeación del uso de la tierra, desarrollando tecnologías para sistemas de cultivos genéticamente modificados, los cuales también requieren la ampliación del paradigma actual de los científicos del suelo.

Sin embargo, para ser más relevantes a la sociedad, los científicos del suelo deben mejorar el grado y el contenido de la interfase con los inversionistas, por ejemplo, los agricultores, los planificadores e, incluso, los políticos, para hacer los resultados más accesibles y atractivos a los usuarios. Además, deben ampliar sus horizontes a la industria, la medicina, la planeación urbana, el ambiente y la ecología, la salud animal, la biodiversidad, el manejo de desechos, etc. Todas éstas son, claro, las áreas que involucrarían muchas otras disciplinas, incluyendo la ciencia de suelo.

Es indispensable que los científicos del suelo trasciendan del enfoque reduccionista y aislado, que se tuvo tanto en el pasado como en el presente, de concentrarse, sobre todo en la agricultura y la silvicultura. Deben adelantarse en forjar vínculos para coordinar oportunidades interdisciplinarias en las áreas multiempresa mencionadas. Evidentemente, existe una miríada de oportunidades para que los científicos del suelo ayuden a mejorar el manejo de los recursos suelo y agua. Pero consideremos que el suelo es un recurso no renovable y así esforcémonos por ahorrar este recurso fundamental para el bienestar de las generaciones futuras.



El futuro de la ciencia de suelo

Rolf Nieder

Institute of Geoecology, Braunschweig Technical University, Langer Kamp 19c, 38106 Braunschweig, Germany. e-mail r.nieder@tu-bs.de

El suelo es un sustento de vida, biológicamente activo, un medio poroso y estructurado en la superficie de la Tierra, formado por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos. Consistiendo de varios horizontes, el suelo regula el suministro de agua y nutrientes para la flora y la microfauna y es, por lo tanto, uno de los compartimientos básicos de los ecosistemas. El suelo es de importancia fundamental para completar el ciclo del carbono, el nitrógeno y el azufre, y determina la distribución del agua infiltrada a los depósitos de mantos acuíferos o fluyendo a ríos y lagos. El suelo actúa como filtro viviente para numerosos desechos orgánicos e inorgánicos, inmoviliza o quita toxicidad a las toxinas y hace inofensivos a los patógenos. El suelo es un hábitat y reservorio del gen, sirve como plataforma para las actividades humanas, paisaje y herencia, y actúa como proveedor de materias primas. Para reforzar la capacidad del suelo, para realizar estas funciones, es importante entender los factores y los procesos que afectan la calidad del suelo bajo la expansión y competencia del uso de la tierra.

La ciencia del suelo se desarrolló de la geología, la biología y la química agrícola en los siglos XVIII y XIX. En el siglo XX evolucionó a una disciplina independiente, lo cual se manifestó por la fundación de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo, en Roma, en 1924. La ciencia de suelo originalmente se enfocó sobre procesos pedogenéticos, pero los científicos del suelo también estudian el agua y la dinámica de la materia en el sistema suelo-planta-agua-atmósfera y cuantifican la pérdida de partículas del suelo debidas a la erosión por el viento y el agua, pérdidas de solutos por drenaje de agua y pérdidas gaseosas. Es una ciencia multidisciplinaria que liga el conocimiento de la atmósfera, la biosfera, la litosfera y la hidrosfera (Sumner, 2000; Lal, 2002; Benbi y Nieder, 2003).

Desafíos para el siglo XXI

Los serios problemas que enfrenta la humanidad en el siglo XXI son una población mundial actual de 6.1 mil millones, que aumenta en 1.3% año⁻¹; inseguridad en alimentos y la desnutrición en la mayor parte de África y partes de Sudamérica y Asia; exceso de fertilización con nitrógeno y fósforo en muchas otras partes del mundo, lo que conduce a la contaminación del agua, la eutrofización y la acidificación de ecosistemas terrestres y costeros, disminuyendo la biodiversidad. La temperatura media anual aumentará entre 1 y 6 °C cerca del 2100, causando que el nivel del mar se eleve 90 cm y cambios en los patrones del clima (sequías, inundaciones, tormentas). El área global per cápita de las tierras arables de 0.23 ha disminuirá a 0.14 ha en el 2050, el suministro de agua dulce disminuirá al nivel de escasez en muchos países y las formas extremas de degradación afectarán más de 300 millones de hectáreas de la región agrícola, particularmente en países donde los agricultores no pueden invertir en la

restauración del suelo. Los desafíos, relacionados directamente con la ciencia de suelo, están dados enseguida, junto con algunas áreas de investigación prioritarias:

Erosión del suelo

- Análisis de la cadena de procesos entre las fuerzas impulsoras de la erosión y los efectos ecológicos y socioeconómicos;
- Influencia de la utilización de la tierra y cambio climático, manejo, desertificación, fuegos en sabanas y bosques, y derretimiento de la nieve;
- Aplicación de información del suelo y sensores remotos para evaluar el riesgo en escalas diversas;
- Desarrollo de nuevos métodos de conservación y remediación.

Materia orgánica del suelo (MOS) y biodiversidad

- Definición de MOS en relación con las funciones y el potencial del suelo para capturar C y N bajo ambientes contrastantes;
- Desarrollo de métodos estandarizados de caracterización de la biodiversidad del suelo;
- Efectos del cambio climático y su relación con el cambio de uso de la tierra y su manejo;
- Relación entre la biodiversidad y el funcionamiento del suelo;
- Uso de diversas escalas, desde organismos completos para la proteína y hasta el nivel funcional (del mRNA);
- Identificación de las prácticas combinadas de manejo para optimizar la MOS y la biodiversidad del suelo.

Exceso de fertilización

- Identificación de fuerzas impulsoras sobre el exceso de fertilización con N y P y cuantificación de sus efectos ecológicos y económicos;
- Definición de niveles ambientalmente amigables de densidades de ganado;
- Optimización de los métodos para adaptar la fertilización de N y P a la demanda nutrimental de cultivos;
- Combinación de fertilizantes minerales y orgánicos para conseguir condiciones óptimas de MOS.

Contaminación del suelo

- Identificación y cuantificación de las fuentes de contaminación (geogénica y antropogénica);
- Mejoramiento de los métodos de medición de contaminantes transportados por aire;
- Investigación de la ruta de entrada, el destino y el comportamiento a largo plazo y la identificación de sustancias potencialmente peligrosas y sustancias nuevas en el sistema suelo-planta-sedimento-agua;
- Biodisponibilidad de contaminantes para los seres humanos, animales, plantas y organismos del suelo;

- Evaluación de riesgo por salidas del suelo;
- Mejora de técnicas para la remediación del suelo contaminado.

Suelo sellado

- Efecto sobre el agua y el flujo de materiales en áreas urbanas, suburbanas y rurales;
- Impactos sobre el paisaje, a nivel local y global;
- Establecimiento de la nomenclatura que sea aplicada en regiones o países;
- Establecimiento de métodos para examinar el sellado, con respecto a calidad y cantidad del área.

Compactación de suelo

- Análisis de los efectos de la compactación sobre la calidad del suelo;
- Definición de las condiciones del suelo que son sensibles a la compactación;
- Estimación de tendencias en maquinaria agrícola que causan compactación profunda;
- Implementación de métodos para predecir la transmisión de resistencia y deformación del suelo;
- Desarrollo de herramientas de manejo para reducir la compactación de suelo.

Alcalinización del suelo

- Estimación bajo diversos climas, manejo del suelo y calidad del agua de irrigación;
- Investigación de los factores que hacen a un suelo sensible a la salinización/sodificación;
- La influencia de diferentes condiciones de flujo de agua (matriz y flujo preferencial) sobre la alcalinización;
- Investigación de la reversibilidad e irreversibilidad de los procesos de degradación del suelo causados por la alcalinización;
- Identificación de indicadores para la alcalinización y cambios de la estructura y la hidrología del suelo;
- Correlaciones entre la alcalización y la desertificación, y estrategias para extraer la sal.

Conclusiones

Los problemas se agravarán con el rápido aumento de la población mundial, a menos de que se tomen las medidas de control adecuadas. Por lo tanto, la cooperación multidisciplinaria de los científicos del suelo con las ciencias geológicas, biológicas, físicas, toxicológicas, hidrológicas, geográficas, geo-informáticas, ingeniería, sociales, económicas y políticas, es esencial. Los políticos están, finalmente, solicitando desarrollar políticas racionales de uso y manejo de la tierra que incluyan medidas contra la degradación. Existen varios documentos internacionales, con respecto a la protección del suelo, p. ej. World Soil Chart of the FAO (1981) y Agenda 21 (Capítulos 10 a 14) de la Conferencia de la ONU en Río de Janeiro (1992). EUE está desarrollando, actualmente, una Estrategia Temática sobre la Protección del Suelo

como parte del 6º Programa de Acción Ambiental que debe ser adoptado en la primavera de 2006 (European Commission, 2004). Sin embargo, mientras estos textos se restrinjan al carácter de recomendación, mostrarán éxito limitado.

Referencias

- Bendi, D.K. and R. Nieder (eds.). 2003. Handbook of processes and modelling in the soil-plant system. Haworth Press. New York. pp. 762.
- European Commission (eds. L. Van-Camp, B. Bujarrabal, A.R. Gentile, R.J.A. Jones, L. Monatanrella, C. Olazabal, and S.K. Selvaradjou). 2004. Reports of the technical working groups established under the thematic strategy for soil protection. Volumen I. Introduction and executive summary.
- Lal, R. (ed.). 2002. Encyclopedia of soil science. Marcel Dekker. New Cork, NY.
- Sumner, M.E. (ed.). 2000. Handbook of soil science. CRC Press. Boca Raton. FLA.



El desafío de aprovechar los recursos suelo y agua

Andrew D. Noble

WMI-SEA, c/o WorldFish Centre, Jalan Batu Maung Bata Maung, 11960 Bayan Lepas, Penang, Malaysia. e-mail a.noble@cgiar.org

Sabemos más acerca del movimiento de cuerpos celestiales que acerca del suelo bajo los pies
Leonardo da Vinci

Las palabras de Leonardo da Vinci, aunque escritas en el siglo XV, siguen siendo relevantes hoy. La tierra y el agua son los elementos centrales en la supervivencia de toda la gente sobre la Tierra, si ellos habitan áreas rurales o megaciudades del siglo XXI. La humanidad depende de estos elementos para alimentos, ganado, ropa, procesos industriales y resguardo. Además, dependemos de estos elementos para efectos ambientales y servicios que son vitales para nuestra misma existencia.

Si aceptamos que nuestra existencia en este planeta está atada a la piel extremadamente delgada, llamada suelo, la cual cubre las formaciones subterráneas y las formas geológicas parcialmente erosionadas de la superficie de la Tierra, y que esta piel es, en efecto, de una apariencia frágil, entonces la importancia de manejar y conservar este recurso llega a ser vital para continuar nuestra existencia. Además, si aceptamos que suelo y agua están ligados inextricablemente y que, cuando se consideran al unísono, su impacto se suma, entonces el manejo efectivo y sustentable de estos recursos es de capital importancia. A pesar de esto, la conexión crítica entre estos componentes biofísicos es atributo social y económico de nuestra sociedad.

Ante los Millenium Development Goals (MDG), los cuales tienen como objetivo disminuir a la mitad la proporción de pobres y hambrientos para el 2015, será un desafío alimentar a más de 900 millones de nuevas personas y mejorar los componentes dietéticos de otros 400 millones. Esto tendrá que lograrse dentro del contexto del cambio climático y el abatimiento de la productividad de los sistemas de producción basados en la tierra.

La crisis inminente de escasez de agua, la declinación de la productividad de los recursos de la tierra y los cambios en los patrones demográficos globales, limitarán nuestra capacidad para aumentar la producción de granos en niveles proporcionales a la demanda, a menos de que se realicen innovación e inversiones en los recursos de la tierra y el agua. No podemos aumentar más la producción agrícola a través de la expansión lateral de la industria sin impactos negativos en ecosistemas ya estresados. Se ha argumentado que los aumentos de productividad requerirán dirigirse a los problemas de degradación asociados con actuales agroecosistemas y el mejoramiento de la productividad del agua, tanto agua 'azul' como 'verde'.

Los desafíos que encaramos como científicos del suelo en el siglo XXI no son diferentes de aquellos encarados con anterioridad, pero tendrán un enfoque algo diferente. Se ha argumentado que el científico agrícola tendrá que encarar la tarea de producir más alimentos, fibra y ganado con menos agua y la declinación del área total de tierra. La pregunta es ¿cómo se logrará esto?

Se ha puesto considerable énfasis en cultivos genéticamente modificados y su introducción en sistemas actuales de producción, como una tecnología habilitada que enfrentará las demandas de alimento y fibra del futuro. Esto está basado en los éxitos indisputables logrados a través de la ‘revolución verde’ y el paquete de las tecnologías que sostuvieron este desarrollo. Un elemento clave en el éxito de la ‘revolución verde’ fue la introducción de fertilizantes inorgánicos de alto rendimiento, en particular de la urea y el súper fosfato. Mejores análisis de fertilizantes constituyeron el elemento básico en el suministro de nutrimentos a variedades de cultivos genéticamente mejorados y continúan utilizándose ubicuamente por la industria agrícola, con muy poco o ningún cambio del mecanismo básico de suministro de nutrimentos. Hay un inconveniente para utilizar equipos móviles en la realización de mejores análisis de elementos químicos, generalmente se ve como degradación del suelo (perturbación de la estructural, acidez, etc.) y contaminación de canales y acuíferos.

Hay necesidad de reevaluar por completo el aspecto de la transferencia de nutrimentos a los cultivos. El concepto de aplicar fertilizantes en una forma que resista la lixiviación y la ‘fijación’, con la adición agregada de cambios que afecten a propiedades fundamentales del suelo, de tal modo que se aumente permanentemente la capacidad del suelo para retener nutrimentos agregados, se ha propuesto y demostrado (Gillman y Noble, 2005). Mientras, el suministro de nutrimentos en el plan de hidrotalcita y bentonita serán aplicaciones más costosas que los fertilizantes convencionales, la tecnología propuesta podría estar concentrada inicialmente en áreas de riesgo conocido, como suelos con texturas muy ligeras en estrecha cercanía de cuerpos de agua, donde la regulación podría no permitir el uso de fertilizantes solubles (Gillman y Noble, 2005). Además, el suministro de nutrimentos en una forma completamente intercambiable presenta la oportunidad de desarrollar diseños de fertilizante para cada requerimiento específico del agricultor y de condiciones ambientales. Hay necesidad de desarrollar plataformas innovadoras y económicas para transferir nutrimentos que reduzcan, si no eliminen, los impactos fuera de sitio, negativos y potenciales, especialmente para utilizarse en los países menos desarrollados, donde el nivel de la regulación o sofisticación tecnológica está todavía por alcanzarse.

Se ha argumentado que existen oportunidades significativas de aumentar la productividad de lo que podría ser llamado sistemas de producción ‘en ejecución’. En un estudio global de 286 proyectos, recientemente concluido, donde nuevas tecnologías o prácticas se han aplicado por agricultores individuales o comunidades en países en vías de desarrollo, hay evidencia clara de que pueden alcanzarse ganancias significativas en productividad, especialmente en el extremo más bajo del espectro del rendimiento (Figura 1). Es alentador que la nueva tecnología/conocimiento fue un controlador clave en el logro de estos aumentos de productividad. Implícito en estos aumentos de productividad ha estado un aumento en la productividad del agua. Hay

amplio acuerdo en que incrementos futuros en escasez del agua convertirán a este recurso en clave, o la clave, como factor limitante en la producción de alimento y la generación de sustento para la mayoría de la gente sobre la Tierra. Como la demanda de agua de otros sectores de economías nacionales, distinta al agrícola, se incrementa, habrá menos agua para la producción de alimentos, fibra y ganado; de ahí la necesidad de incrementar la productividad del agua. Es en este ruedo donde la ciencia del suelo puede y debería jugar un papel significativo.

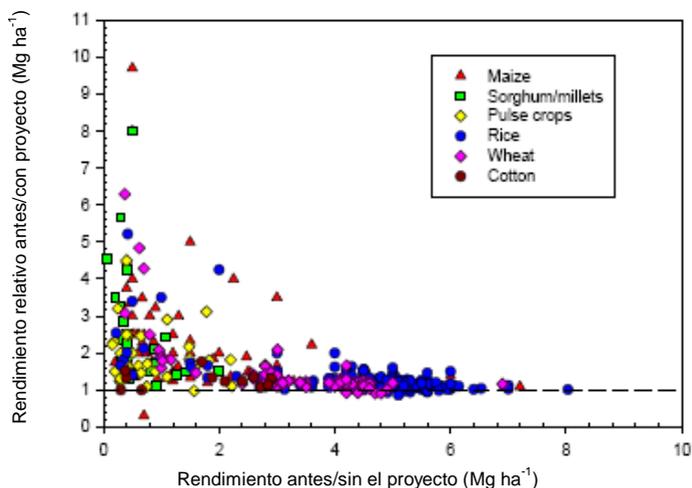


Fig. 1. Cambios en los rendimientos de cultivos agronómicos con la adopción de nuevas tecnologías y prácticas sobre una base global. El grupo de datos esta formado de 446 rendimientos de cultivo de 286 proyectos. La línea quebrada indica que no hay cambios en el rendimiento relativo (Noble *et al.*, 2006).

Mejorar el suministro de nutrimentos y la capacidad de retención de agua, acceder al agua almacenada en el suelo a través de las limitaciones físicas de éste, desarrollar métodos de conservación de nutrimentos y agua, y reutilizar desechos de la industria y megaciudades como acondicionadores del suelo, todos contribuirán al mejoramiento del uso eficiente del agua. Se ha argumentado que pueden lograrse los aumentos significativos de la productividad a través de la rehabilitación de los sistemas de producción de secano degradados y la rehabilitación de suelos irrigados afectados por salinidad y sodicidad.

El desafío para los científicos del suelo, conforme nos movemos hacia el logro de los MDG, será proporcionar soluciones innovadoras dirigidas hacia sistemas degradados de producción agrícolas. Los aumentos más grandes en la productividad se lograrán en aquellos sistemas que estén en ejecución predominantemente en países en vías de desarrollo.

Referencias

- Gillman. G.P. and A.D., Noble. 2005. Environmental manageable fertilizer: A new approach. *Environmental Quality Management* 15: 59-70.
- Noble, A.D., D. Bossio, F. W. T. Penning de Vries, J. Pretty, and T. M. Thiyagarajan. 2006. Intensifying agricultural sustainability – an analysis of impacts and drivers in the development of 'Bright Spots'. Research Report. Colombo, International Water Management Institute (in the press).



La ciencia del suelo en el siglo XXI

Stephen Nortcliff

Department of Soil Science, University of Reading, Reading, RG6 6DW United Kingdom. e-mail: iuss@reading.ac.uk

Cuando empecé mi carrera en la ciencia del suelo, en los inicios de 1970, mucha investigación de ésta ciencia se enfocaba sobre el uso agrícola de los suelos y cómo la producción podría llevarse al máximo mediante el manejo del suelo, enfocándose en la corrección de fertilizantes. Aunque el enfoque estuvo principalmente sobre el mantenimiento e incremento de la producción agrícola, había conocimiento que esto se lograba, en algunos casos, dañando el suelo. El Strutt Report, de 1970, intitulado 'Modern Farming and the Soil' (MAFF, 1970) fue una respuesta a una serie de dificultades de las cosechas del Reino Unido en los años 60s y una nivelación fuera de la curva de producción. Este informe destacó el daño estructural al suelo y las disminuciones asociadas a la productividad, si el cultivo fue evaluado pobremente y se realizó cuando el suelo estuvo mojado. También notó que los suelos fueron más susceptibles, especialmente en el este de Inglaterra, donde se había permitido que los niveles de materia orgánica del suelo disminuyeran.

Por muchos de los siguientes 10-15 años mi investigación dentro de Europa y los trópicos se enfocó a mejorar o mantener la producción agrícola; a menudo, en los trópicos se dio por dedicar a la producción agrícola tierras no utilizadas previamente. Durante este período se hizo, relativamente, poca mención respecto a la necesidad de considerar al suelo como parte del sistema ambiental y la preocupación sobre sustentabilidad fue mantener el rendimiento, no el sistema suelo. ¡Cuántas cosas han cambiado, cómo nos hemos movido en el siglo XXI! Mientras el sostenimiento de la producción agrícola todavía es importante, ahora el énfasis está en el uso sustentable del suelo y la limitación o remoción de los efectos negativos en otros componentes ambientales. Este cambio se ha ajustado con un mayor conocimiento, dentro de la esfera política, de la importancia del suelo en relación con otros sistemas ambientales; de hecho, se reconoce por muchos que el suelo tiene un papel clave que se sitúa en la interfase entre la atmósfera, la biosfera, la litosfera y la hidrosfera. El suelo puede ser de sólo unos pocos centímetros o a lo más de metros de espesor en la superficie terrestre, pero ahora se reconoce que tiene un papel esencial en cuanto a aspectos del funcionamiento del sistema ambiental global. Dentro de Europa esta importancia se reconoció en 2002, cuando la European Commission lanzó su documento 'Towards a Thematic Strategy for Soil Protection' (Commission of European Communities, 2002). Esta iniciativa ha sido igualada por muchas estrategias nacionales para la protección del suelo dentro de los European Members States. El documento European Commission y los programas siguientes para identificar las preocupaciones y acciones prioritarias para la protección del suelo han colocado el tema de la ciencia del suelo, para el futuro inmediato y posiblemente a más largo plazo, dentro de Europa. El documento acentuó que debe haber una consideración más amplia del papel del suelo en el ambiente; se identificaron cinco funciones amplias pero esenciales del suelo:

- Producción de alimento y otras biomasas
- Almacenaje, filtrado y transformaciones
- Hábitat y origen de genes
- Ambiente físico y cultural para la humanidad
- Fuente de materias primas

Aunque la producción de alimentos y biomasa están incluidos aquí, hay una cobertura mucho más amplia que previamente se había reconocido. A causa de esta gran variedad de funciones, si la sustentabilidad debe lograrse, es esencial mantener la condición del suelo. Además, se indicó que los suelos estaban bajo la amenaza de una gama de actividades humanas, las cuales socavaron la disponibilidad y viabilidad a largo plazo del suelo. Se listaron las amenazas más significativas como:

- Erosión
- Disminución de la materia orgánica
- Contaminación
- Suelos sellados
- Compactación
- Disminución de la biodiversidad
- Salinización
- Inundaciones y deslizamientos

Dentro de Europa occidental éstos se están volviendo los focos para los futuros progresos en la ciencia de suelo. Junto con el cambio de producción, orientada a una perspectiva ambiental mucho más amplia, estos son el siguiente camino para la ciencia de suelo. Globalmente, la población cada vez más urbanizada proporciona un punto de mayor atención para la ciencia de suelo. La expansión urbana sella con frecuencia el suelo y, en la mayoría de los casos, le elimina cualquier uso potencial futuro. Es esencial que los científicos del suelo estén involucrados en sostener el uso de los suelos dentro de estos procesos de urbanización. El uso sustentable implicará evitar sellar, dondequiera que sea posible, pero también intentar identificar aplicaciones locales de los suelos removidos durante los procesos de construcción. Relativamente pocos científicos del suelo han estado involucrados activamente en esta área, pero es un área donde es esencial nuestro conocimiento de la naturaleza del suelo y cómo se comporta bajo una gama de condiciones, si se trata de reducir el impacto ambiental, del proceso de urbanización, a corto y largo plazo.

En una escala global, los científicos del suelo deben implicarse más activamente en problemas ambientales. Por ejemplo, aunque la importancia de los depósitos de carbono del suelo, en el presupuesto global de carbono, se reconoce ahora ampliamente, los científicos del suelo deben continuar enfatizando en esta importancia y asegurarse que tengan estrategias basadas en la ciencia para prevenir declinaciones extensas en la magnitud de este depósito, en particular en el contexto de las condiciones ambientales cambiantes, y estrategias para promover aumentos en el depósito de carbono del suelo. Ligado a esto, está la preocupación acerca de posibles disminuciones en la biodiversidad del suelo. Aunque las preocupaciones son auténticas,

todavía no entendemos completamente muchos de los procesos biológicos del suelo ni entendemos las interacciones y la dinámica de la amplia gama de organismos encontrados en el suelo. Dada la importancia de la biodiversidad del suelo, tanto en términos de depósitos de carbono del suelo como en términos de acoplamientos con una biodiversidad ambiental más amplia, es esencial que alcancemos una comprensión más completa de los procesos y también identifiquemos qué organismos se pueden utilizar como indicadores robustos de los cambios en la biodiversidad del suelo que influenciarán otras partes del sistema suelo y más allá.

Por muchos años el suelo no era un problema político importante, pero esto cambió en el siglo XXI. La European Comisión, siguiendo su 'Thematic Strategy for Soil Protection', aparece moviéndose hacia una Directiva para guiar el manejo y la protección del suelo; dentro del Reino Unido se lanzó el 'Soil Action Plan for England, 2004-2006' (DEFRA, 2004). Los científicos del suelo han estado involucrados en el desarrollo de estas estructuras legislativas, pero deberíamos considerar el desarrollo de acercamientos internacionales más amplios. Hannam y Boer (2002, 2004) han producido una cierta guía preliminar sobre cómo podemos movernos hacia un 'International Protocol for Soil Protection' o posiblemente una 'International Convention for Soil Protection'. Aunque cualquiera de éstos involucrará a muchos más grupos que científicos del suelo, es esencial que nosotros, como científicos del suelo, estemos involucrados por completo en su desarrollo.

Ahora, el suelo se reconoce como un componente ambiental clave, el cual puede degradarse y perderse fácilmente. Se reconoce como recurso finito. Los científicos del suelo en el siglo XXI deben estar listos y dispuestos para proporcionar información a otros científicos y a aquéllos que fijan la agenda política sobre cómo evitar el maltrato del suelo y cómo optimizar el papel de los suelos en los contextos ambientales más amplios.

Referencias

- Commission of the European Communities. 2002. Communication 'Towards a thematic strategy for soil protection'. Brussels.
- DEFRA. 2004. Soil action plan for England- 2004-2006. London.
- Hannam, I. and B. Boer. 2002. Legal and institutional framework for sustainable soil use: A preliminary report. IUCN Env. Policy and Law paper No. 45. IUCN. Gland.
- Hannam, I. and B. Boer. 2002. Drafting legislation for sustainable soils: A guide. IUCN Environmental Policy and Law paper No 52. IUCN. Gland.
- MAFF. 1970. Modern farming and the soil. HMSO. London.



La ciencia de suelo: escalas múltiples y oportunidades múltiples

Gary W. Petersen

Department of Crop and Soil Sciences, The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802, U.S.A. e-mail gwp2@psu.edu

Durante el pasado, la ciencia del suelo ha prestado servicio a un fuerte enfoque de producción en la agricultura, con poca atención a los procesos del suelo que mantienen el funcionamiento de agro-ecosistemas. Mucha de la atención en pedología ha estado sobre el desarrollo de los sistemas taxonómicos del suelo. Como vemos, hacia el futuro están un número de interrogantes que los científicos del suelo necesitan formular. Algunas de estas interrogantes podrían ser:

- ¿Qué deberíamos hacer para mantener nuestra importancia dentro de la comunidad científica y dentro de la sociedad en general?
- ¿Cómo desarrollamos estrategias para manejar cambios espaciales y temporales del suelo?
- ¿Cómo hacemos ciencia integrativa a niveles del paisaje y las cuencas?
- ¿Qué podemos hacer para aumentar la visibilidad de la ciencia de suelo?

Los pedólogos tiene preocupaciones adicionales como: ¿cómo desarrollar aproximaciones para caracterizar, monitorear, predecir y manejar cambios en el suelo y qué herramientas se requieren para hacer predicciones convenientes sobre las condiciones del suelo, el paisaje y el uso sustentable de la tierra?

El futuro de la ciencia de suelo es excitante y desafiante. Nunca se han tenido tantos problemas para los científicos del suelo para dirigir o tantas oportunidades para investigar, como tenemos en la sociedad de hoy. También somos afortunados porque tenemos un amplio arsenal de nuevas tecnologías disponibles para la comunidad de la ciencia de suelo. Algunas de estas tecnologías incluyen sensores remotos y sistemas de información geoespacial. Por primera vez en la historia, tenemos tecnologías para la colección de datos globales en escalas múltiples. Combinar estas tecnologías, con bases de datos digitales, junto con su incorporación en modelos geoespaciales, debería producir muchas oportunidades para ayudarnos a entender los ecosistemas suelo y sus problemas asociados.

Hay muchos problemas que encara la sociedad de hoy, que están directa o indirectamente relacionados con la ciencia del suelo. Algunos de estos problemas atraviesan escalas diversas y niveles políticos; se han resumido en la figura de la página siguiente.

Escalas de problemas: Actividades e impactos

Nivel político		Global	Nacional	Estatad	Cuenca	Municipio	Ayuntamiento	Finca		
Escala	Actividad	10 ⁹	10 ⁸	10 ⁷	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁴	10 ³	10 ²	10
Global	10 ⁷	Seguridad en Alimentos								
	10 ⁶	Disminución del carbono y recursos								
Sinóptico	10 ⁵	Degradación de la tierra								
	10 ⁴				Calidad de agua		Manejo de planos aluviales	Manejo de pantanos	Limpio y Verde	
Meso	10 ³			Desarrollo urbano			Manejo de nutrientes	Preservar tierras cultivo		
	10 ²					Suelos urbanos		Dep. de basura en sitio	Suelos precisión	
Micro	10									

En el futuro necesitamos centrarnos sobre el papel crítico del suelo en el ecosistema y su función en el paisaje. Los desafíos serán:

- Abandonar nuestra reducida perspectiva actual e involucrarnos en el análisis al nivel de sistemas;
- Comenzar a integrar nuestras habilidades para generar soluciones paisaje-escala sobre escalas multitemporales y espaciales;
- Reenfocar nuestros esfuerzos para educar a la próxima generación de estudiantes.

Uno de nuestros retos más importantes será el de la educación del estudiante. Esto debe involucrar una reestructuración de los planes de estudios del estudiante, incluyendo cursos básicos del suelo, cursos integradores a nivel paisaje, información tecnológica y técnicas de análisis, cursos de negocios, cursos de conocimiento y experiencia social, y cursos y pasantías con aplicación en suelos. Los estudiantes deben formarse con una perspectiva global y debe ponerse énfasis en mejorar sus habilidades de comunicación.

Resumiendo, el futuro de la ciencia de suelo nunca ha sido más brillante o más emocionante de lo que es hoy. Sin embargo, una de las claves para el futuro será desarrollar la próxima generación de científicos del suelo. Esto será una tarea difícil y espero que todos estemos a la altura del desafío.



El futuro de la ciencia del suelo

Idefonso Pla Sentis

Department de Medi Ambient i Ciències del Sòl Universitat, de Lleida Av Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida. Spain. e-mail ipla@macs.udl.es

El suelo es fundamental para las necesidades de la vida del hombre, porque satisface la mayoría de nuestras necesidades básicas y juega un papel central en la determinación de la calidad de nuestro ambiente, pero esto no es suficientemente apreciado por la mayoría de la población. En el futuro, el papel del suelo y su cobertura se incrementará en algunos aspectos cruciales para la vida del hombre, como la producción de alimentos, el ciclo hidrológico y la composición del aire. Por lo tanto, se requerirá más información, de buena calidad, del suelo para tomar decisiones adecuadas acerca del uso y manejo de la tierra. El objetivo principal y final de la ciencia del suelo continuará siendo la evaluación y predicción del comportamiento del suelo en tiempo y espacio, bajo una amplia gama de usos de la tierra agrícola y no agrícola, en relación con la producción de cultivos, el suministro de agua y la calidad del ambiente. En el presente, la mayoría de las decisiones acerca de la agricultura y el ambiente y, en general, sobre el desarrollo mundial, normalmente se toman sin tener en cuenta el papel prominente de la ciencia del suelo.

Situación presente

El rápido aumento en la población, con mayores demandas de alimentos y agua, está causando más influencia humana sobre el suelo, a través de la expansión e intensificación de actividades agrícolas y el crecimiento del número y tamaño de áreas pobladas. Con frecuencia, esto lleva a la degradación extensa de la tierra y el suelo, y al incremento en la producción de desechos agrícolas, domésticos e industriales. Las consecuencias principales son una disminución en la reserva de las tierras arables, al incrementar los desarrollos agrícolas en nuevas tierras con condiciones de clima y relieve desventajosos. Hay una disminución en el agua de buena calidad disponible para la agricultura y las necesidades urbanas e industriales, así como en la diversidad biológica.

Estos problemas pueden conducir a consecuencias ambientales, sociales y económicas dramáticas, que en las regiones más pobres en vías de desarrollo se manifiestan a través de una menor productividad de cultivos y el incremento de pobreza y migración. También hay mayores riesgos y problemas de desertificación, inundaciones, derrumbes, sedimentación, etc. La disminución del recurso agua de buena calidad está limitando el desarrollo de la agricultura de riego y aumentando los riesgos de salinización y contaminación de suelos. También vale la pena mencionar la contribución de los cambios en la cobertura del suelo y la degradación del suelo por los cambios del clima global. El incremento de la degradación de los suelos, y sus consecuencias, puede atribuirse a la falta de conocimiento de la mayoría de la sociedad humana y las instituciones dónde se toman decisiones del uso de la tierra y la planeación de su manejo, acerca del importante papel y las funciones de los suelos para la vida del hombre.

Aunque las contribuciones de la ciencia del suelo han beneficiado a la humanidad por la mayor producción de alimentos agrícolas y el mejoramiento de la calidad ambiental, en la actualidad hay un peligroso retraso general en esas tendencias. Concurrentemente, ha habido una reducción en los recursos dedicados al campo, orientados al estudio de la ciencia del suelo, y mucha de la investigación presente en la ciencia del suelo se dedica a aspectos aislados y no atiende problemas integrales debido a las limitaciones de tiempo y fondos, las dificultades de cooperación interdisciplinaria y la compulsión de publicar artículos rápidamente. Al mismo tiempo, ha habido una mayor tendencia a confiar en datos cualitativos y conceptos, basados en juicios de especialistas, como índices de calidad del suelo, con una exactitud muy limitada, insuficiente para desarrollar las políticas adecuadas para el uso y manejo de la tierra. Más aún, con frecuencia la planeación del uso de la tierra se está basando en aproximaciones empíricas que vienen de profesionales con escasa formación en la ciencia del suelo.

La planeación en el uso y manejo de la tierra requiere conocer datos que sean específicos del sitio, pero en muchos casos el tipo de información requerida no está disponible. Una de las dificultades que se encuentra en la evaluación de las condiciones del suelo, relacionadas con la reacción del suelo bajo diferente uso y manejo de la tierra, y el cambio climático, basada en datos ya existentes, es que muchos de los levantamientos de suelo realizados, proporcionaron información estática, mientras que para las funciones del suelo se necesitan parámetros más dinámicos. La modelación se utiliza extensamente como una herramienta para integrar información y para evitar mediciones y experimentos de campo para cada suelo y condición. La modelación no es un sustituto de la experimentación y los modelos necesitan el ingreso de parámetros de buena calidad, no solamente obtenidos en pruebas de laboratorio, sino también bajo las condiciones controladas de campo. Estos estudios no son comunes porque consumen tiempo, son costosos y difíciles de realizar para terminar en una publicación que satisfaga los requisitos de una revista de ciencia del suelo. Por lo tanto, en muchos casos, éstos se sustituyen por aproximaciones empíricas o se usan datos que están ya disponibles o más fáciles de obtener, deducidos empíricamente por el uso de funciones de pedotransferencia, de propiedades y procesos requeridos para la modelación. Mucha de la metodología y los instrumentos aceptados y utilizados para evaluar variables del suelo en el laboratorio no proporcionaron datos que correspondan a la realidad o, incluso, se aproximen a valores bajo condiciones de campo. En general, el progreso en el desarrollo de modelos y procesamiento de sistemas de información ha sido mucho más rápido que el desarrollo y uso de metodologías y equipo para conseguir información adecuada de campo para alimentarlos.

Desafíos para el futuro

En general, los desarrollos futuros en la investigación de la ciencia del suelo deben dirigirse a un mejor entendimiento de los procesos y reacciones en suelos, relacionados con la producción de cultivos, el reciclaje de químicos y equilibrio del riego, sobre un rango de escalas espaciales y temporales. De importancia particular será la identificación y descripción de procesos dinámicos importantes en suelos, críticos para

el suministro de agua y nutrientes para el crecimiento de la planta y la degradación del suelo, afectados por factores temporales externos como el clima. Esto tiene que seguirse del desarrollo de modelos de simulación simplificada para encontrar la mejor combinación de prácticas de manejo, integrando variables críticas seleccionadas de los suelos, cultivos y clima, para un uso más eficaz y económico del suelo, agua y energía, dirigido a incrementar la producción de cultivos, superar el agotamiento y minimizar los riesgos del suelo, agua y degradación del ambiente, incluso los riesgos de desastres naturales, como inundaciones y derrumbes.

Para asegurar la prominencia que la ciencia del suelo debe tener en el futuro desarrollo mundial, será necesario mejorar la educación y el conocimiento de la población, en todos los niveles, acerca de las funciones relevantes del suelo para la vida de la humanidad. Se requiere, también, una mejora y una reorientación en el entrenamiento en ciencia del suelo, dirigida a científicos del suelo y otros profesionales involucrados en el diseño y planeación del uso y manejo de la tierra, con una aproximación más holística, reforzando los aspectos hidrológicos y una buena integración de teoría y trabajo de campo. Para garantizar una aproximación interdisciplinaria será necesaria una mayor cooperación entre científicos del suelo y científicos de disciplinas relacionadas, y entre instituciones involucradas en la investigación y aplicación del suelo y uso y manejo de la tierra.



El futuro de la ciencia del suelo: afrontar los grandes problemas

David S. Powlson

Agriculture and Environment Division, Rothamsted Research, Harpenden, Herts, AL5 2JQ, United Kingdom. e-mail david.powlson@bbsrc.ac.uk

A pesar de una tendencia general de anticiencia, al menos en Europa, hay una preocupación genuina sobre el ambiente entre muchos ciudadanos de todo el mundo. Es lógico y creo que es esencial para los científicos del suelo estar activos en la dirección de los problemas que alimentan esta preocupación. Esto es, aplicar de una manera honesta nuestras habilidades y diseñar una estrategia sensata para atraer fondos y estudiantes. Aunque habrá distintas prioridades en diferentes regiones del mundo, los “problemas grandes” incluirán, ciertamente:

- El cambio climático, sobre todo, su mitigación o exacerbación a través de los procesos del suelo;
- Las vías e impactos de contaminantes a escala local y global;
- La producción de alimentos suficiente, sobre todo ante la escasez de agua;
- El enriquecimiento de nutrimentos y otros impactos humanos sobre el funcionamiento de ecosistemas seminaturales.

Abordar estos asuntos requerirá la colaboración, inevitablemente mayor, con los colegas de otras disciplinas (ciencias naturales y sociales) –existen pocos problemas mayores que puedan entenderse (todavía menos resolverse) usando la pericia de un solo punto de vista. El compromiso significativo con quienes toman decisiones, hacen regulaciones y los compañeros ciudadanos serán un elemento cada vez más esencial de nuestros trabajos. Necesitamos escuchar sus perspectivas, explicaciones e interpretaciones del papel del suelo en las funciones del ecosistema, de importancia para los humanos, y demostrar que podemos ayudar eficazmente a su entendimiento, evitando y resolviendo los problemas. Ésta no siempre será una estrategia popular –a veces significará desafiar visiones simplistas, a menudo promulgadas por grupos de presión, o discrepar con intereses comerciales o políticas gubernamentales.

¿Suelos - ciencia pura o aplicada?

Admito que la ciencia del suelo es un tema predominantemente aplicado. Por esto quiero decir que la razón *principal* para estudiar suelos es funcional: los humanos quieren *usar* suelos o reconocer que éstos están *afectados por ellos*. El *uso* del suelo es obvio en la agricultura y en las industrias basadas en tierras, ya sea biológicamente (desarrollo de plantas) o en ingeniería (construcción, extracto mineral, suministro de agua); también está claro que para los usos recreativos de la tierra, ya sea campos deportivos o excursionismo. Pero, incluso, las preocupaciones ambientales son principalmente antropocéntricas –deseamos que el ambiente funcione bien para

proporcionarnos agua y aire limpio, un clima razonablemente predecible y hábitats naturales que apreciemos por razones estéticas o culturales. Posicionando centralmente nuestra disciplina en la arena de la ciencia aplicada, podemos competir por fondos de manera más eficaz que usando, principalmente, un argumento de ciencia “pura”. Esto no implica una aproximación empírica - para dirigir cuestiones aplicadas, normalmente es esencial un entendimiento fundamental de los procesos subyacentes. Se pueden justificar recursos para estudios fundamentales apropiados si el caso aplicado para estudiar el suelo ya se ha realizado y aceptado.

A pesar de la argumentación para un enfoque funcional, mi experiencia es que la investigación del suelo puede revelar provocadoras visiones fundamentales. ¡Por ejemplo, la fuerte estabilización de la materia orgánica en el suelo y la supervivencia asombrosa y la diversidad de microbios bajo condiciones adversas pueden verse bien a la luz sobre los orígenes de la vida –allí están unos cuantos problemas fundamentales. Así, algunos aspectos de la ciencia del suelo pueden, y deberían, justificarse completamente junto a cualquier ciencia “pura”, pero no pueden ser el *principal* camino para asegurar los fondos suficientes para la disciplina.

¿Un resurgimiento de ciencia del suelo para servir a la agricultura?

La sobreproducción de alimentos en EUA y América del Norte, y la percepción de los ciudadanos urbanos de la agricultura como una actividad contaminante, han precipitado los cortes en la investigación agrícola. Esta tendencia cambiará, conforme las necesidades de 8-10 mil millones de personas a finales de este siglo lleguen a hacerse claras en un mundo globalmente conectado. Esto se manejará por consideraciones políticas y comerciales, tanto como por preocupaciones humanitarias. Proporcionar comida, fibra, combustible y sustentos en la perspectiva de escasez de tierra, degradación del suelo, escasez de agua, etc., (probablemente empeorándose por el cambio climático) requerirá de aplicaciones innovadoras de conocimiento actual e investigación para desarrollar una amplia gama de nuevos enfoques. Serán necesarias nuevas tecnologías y el desarrollo de prácticas tradicionales. Los científicos del suelo deberían ser miembros fundamentales de los equipos que dirijan estos desafíos. Los temas incluirán:

- Evitar y remediar la salinidad;
- Uso limitado y eficaz de agua y nutrimentos;
- Control de la erosión del suelo;
- Minimización del daño ambiental, aunque logrando la producción deseada;
- Reciclaje eficiente de estiércoles y otros desechos para la producción de cultivos y energía.

El resurgimiento en la investigación agrícola global podría ser un esfuerzo bien coordinado para maximizar la producción en las regiones de mayor potencial y lograr por lo menos *alguna* producción sustentable en situaciones poco prometedoras, aunque tomando en cuenta interacciones ambientales completas. Desgraciadamente, las acciones actuales, incluyendo la tala del bosque en América del Sur, el incremento del derroche de químicos agrícolas que se usan en Asia y el uso

ineficiente del agua casi por todas partes, sugiere que se incluirán problemas de remediación causados por una pobremente planeada intensificación agrícola.

Métodos, modelos, cartografía y monitoreo

Gran cantidad de nuevos métodos están volviéndose disponibles —algunas herramientas potenciales para la investigación sobre los detalles del funcionamiento del suelo (p. ej. varias espectroscopías, biología molecular, imágenes) tienen el poder para iniciar áreas de investigación totalmente nuevas. Otros son aplicables para la colección y manipulación de datos del suelo en un rango de escalas de campo a global (p. ej. el análisis de proximidad, sensores remotos, modelación) y, en consecuencia, valiosos para el monitoreo, manejo y desarrollo de políticas. Es esencial que algunos científicos del suelo estén a la vanguardia de la exploración de nuevas metodologías, en colaboración con los especialistas apropiados. Pero es igualmente importante que ellos, u otros científicos del suelo, estén activamente probando nuevas aproximaciones bajo condiciones realistas y entonces puedan *aplicarlas* a cuestiones significativas, para que se vuelvan herramientas valiosas, en lugar de formas de arte minoritarias.

Enseñanza de la ciencia del suelo

Si hay que ser científicos del suelo en el futuro, es esencial comunicar la fascinación del suelo y su importancia para la humanidad a estudiantes en escuelas y, más estratégicamente, a maestros. En el nivel universitario, la caída en número de los departamentos que se concentran puramente sobre la ciencia del suelo no es necesariamente negativa. Insertar ciencia del suelo en departamentos con una base más amplia, puede llevar a estudiantes extra a recibir alguna enseñanza sobre suelos. Pero también hay una necesidad de especialistas en ciencia del suelo, con implicaciones de especialización para la “masa crítica”. La tendencia a liberar especialistas entrenados a nivel postgraduado puede ser benéfica, atrayendo a estudiantes con formaciones básicas variadas. Para todos los estudiantes, la enseñanza debería, obviamente, ser rigurosa y desafiante. Para la enseñanza a grupos más amplios, yo animaría a seguir un enfoque “funcional” más riguroso todavía, ayudando a los estudiantes a ver qué hacen los suelos en los ecosistemas manejados o naturales y equipándolos para tomar decisiones de manejo. ¡Muchas de estas ejecuciones son interesantes! Aunque la clasificación es importante, esas palabras difíciles pueden esperar hasta después.



Manteniendo el ecosistema suelo del futuro

D.L.N. Rao

Indian Institute of Soil Science, Bhopal-462 038, Madhya Pradesh, India, e-mail dlrao@iiss.ernet.in

*Estercolar sirve más que el arar: y cuando la tierra es desyerbada,
guardarla sirve más que irrigarla*

Tiruvalluvar, Tamil.

Antiguo filósofo y poeta de la India, 2000 años
A.P

Los ecosistemas suelo permanecen firmemente como cimiento de los sistemas que dan soporte a la vida humana. Están entre los menos entendidos de los ecosistemas naturales y cada vez más entre los más degradados. La erosión del suelo, la pérdida de materia orgánica y el abatimiento de nutrimentos en el suelo están entre los principales contribuyentes al daño de la salud del suelo, los reducidos rendimientos de los cultivos y la pobreza en el mundo en vías de desarrollo. El calentamiento global agravará más el problema. Por lo tanto, no sorprende que la salud del suelo encabece la lista de prioridades en los esfuerzos de la tarea contra el hambre del Millenium Goal Project, de la ONU. La Revolución Verde, basada en variedades de cultivos de alto rendimiento, fertilizantes y pesticidas químicos, dirigida al rendimiento y problemas de pobreza, sólo trajo nuevas preocupaciones en la sustentabilidad de la salud del suelo. Los efectos de degradación física y química de los suelos son bastante obvios, pero la degradación biológica del suelo, debida a la pérdida específica de fracciones de materia orgánica y de comunidades bióticas autóctonas dependientes en ellos, es insidiosa.

La sabiduría antigua y el conocimiento técnico indígena sobre los beneficios de estercolar, reducir la labranza, la agricultura de conservación y otras prácticas abandonadas en alguna parte del camino, necesitan ser reaprendidas para conservar esta diversidad. Ahora, existe evidencia científica de como las prácticas ecológicamente benignas promueven la diversidad de flora y fauna, optimizan el ciclo de nutrimentos, aumentan al máximo la eficacia del uso de insumos, crean depósitos para el CO₂ y otros gases de efecto invernadero, y dejan los mecanismos de control biológico intactos, mientras logran también rendimientos altos. Un incremento de una tonelada de carbono orgánico de reserva de suelos degradados de tierra cultivada puede aumentar el rendimiento del cultivo de 20-40 kg ha⁻¹ de trigo y de 10-20 kg ha⁻¹ para maíz (Lal, 2004). Los niveles de materia orgánica del suelo deben ser restaurados, ampliados y mejorados. La conexión entre captura de carbono del suelo, salud mejorada del suelo y rendimiento, seguridad mundial de alimentos y alivio de la pobreza es, en

estos términos, obvia y está en el corazón de la visión de los científicos del suelo cómo la ciencia que puede entregarse a los pobres del mundo.

El suelo es el biomaterial más complicado en el planeta. Ha emergido firmemente una nueva percepción de los suelos, desde un enfoque exclusivo como sustrato para la producción de alimentos, a su potencial ecológico y de biodiversidad. Los microbios son la base de la biósfera; un asombroso 5×10^{31} de células existen, pesando 50 cuatrillones de toneladas métricas, que constituyen, aproximadamente, 60% de la biomasa total. Es difícil exagerar su importancia; el complejo suelo-microbio es vital, debido a los servicios que provee a la agricultura, al manejo de desechos y agua industrial, y a los ambientes naturales y semi-naturales. Ellos descomponen la mayoría de los 45 000, o tantos así, compuestos químicos que los humanos utilizan en la vida diaria. Con técnicas moleculares, finalmente, se está desenmarañando la increíble diversidad de microorganismos del suelo. Más de 90% de la biodiversidad genética del planeta reside en los suelos, pero menos de 1% de los microorganismos se ha cultivado y estudiado. La diversidad genotípica en todos los grupos Protista es mucho mayor que la diversidad combinada de plantas, animales u hongos. Esta enorme reserva de genes en el suelo se explotará en la futura industria farmacéutica, con beneficios diversos de mucho más valor.

El entendimiento de la relación estructura-función de comunidades microbianas ha sido difícil. Se requerirá una mayor comprensión de los puentes funcionales entre la física y la biología de suelos. Los genómicos ambientales serán cruciales en la exploración de la diversidad microbiana y su importancia funcional. Las interacciones complejas entre plantas y consorcios de microbios se extenderían más allá de los patógenos resistentes y nutrimentos de desecho y ayudarían a mejorar la resistencia a sequías y tolerancia de las plantas a la salinidad, además de otras actividades promotoras del crecimiento. Las micorrizas ayudan a las plantas a tolerar estrés a través de las extensas redes de micelio, alguna vez extendiéndose a más de 20 000 km en un metro cúbico de suelo. Entendiendo y manejando la ecología microbiana del suelo se tendrán beneficios mayores para el estrés de los sistemas agrícolas y también ayudará a determinar los intercambios óptimos, mientras se usan fuertes dosis de fertilizantes y pesticidas, tal que los beneficios de uso sobrepasen las rupturas causadas. Este sería el mayor punto de atención sobre las actividades de la fauna del suelo, cuyo abandono ha sido materia de gran preocupación. Sistemas agrícolas integrados que utilizan legumbres BNF, compostas, abonos verdes, inoculantes microbianos (biofertilizantes), biopesticidas, etc., se usarían cada vez más, junto con el uso juicioso de agua para la irrigación en todos los sistemas de producción. La exploración de la magnitud de los impactos microbianos sobre el cambio climático y los efectos del cambio climático sobre los microbios serían un desafío científico mayor.

La ciencia del suelo y los científicos del suelo han prosperado debido a la cooperación interdisciplinaria y han demostrado cómo los suelos con frecuencia juegan papeles como fundamento principal de sistemas ambientales, tanto naturales como manejados, y contribuyen significativamente al manejo

ambiental local, regional y global. Los científicos del suelo tienen este raro atributo porque su especialización está basada en el laboratorio y en el campo. En el futuro, éstos jugarán un mayor papel dirigiéndose a la naturaleza compleja del uso de la tierra, los impactos del cambio climático sobre el suelo y la agricultura, el medio ambiente y los desafíos de biodiversidad mencionados previamente. Por lo tanto, reformar la educación de la ciencia del suelo mediante la mayor re-integración de las disciplinas básicas es un imperativo virtual. Los científicos del suelo deberían beneficiarse de lo mejor de ambas -ciencias básicas acopladas con habilidades prácticas- para crear un ejército de especialistas diversos, un mosaico, que quitaría el presente entrenamiento uniforme y redundante que éstos reciben (Rao, 2004). Como Stephen Nortcliff señaló (Comunicación personal, 2005) “La ciencia del suelo no debería ser defendida erigiendo barreras a otros, sino mostrando la fuerza y diversidad de nuestro conocimiento y las contribuciones sustanciales que somos capaces de hacer junto con científicos de otras disciplinas”. Los expertos en ecología, biosistemas, biología molecular, bioquímica, ciencia de imágenes, nanotecnología, etc., tienen que estar comprometidos con el nuevo esfuerzo. Hay oportunidades no comunes ahora para asegurar el cuidado eficaz de la tierra, un ambiente limpio y una vida mejor; deberíamos poner nuestro mejor esfuerzo en mantener este recurso vital, no renovable en un estado prístino para la seguridad ecológica futura. Sólo entonces, los científicos del suelo habrían llegado ‘bien’ y una sociedad cada vez más consciente en la ecología, miraría y apreciaría el valor de los científicos del suelo y el trabajo que nosotros hacemos. Enfrentemos el futuro con optimismo.

Referencias

- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623-1627.
- Rao, D.L.N. 2004. Paradigms in Soil Science. *Indian Society Soil Science Newsletter* 17: 1-2.



El futuro de la ciencia del suelo en los países menos desarrollados

Abdul Rashid

National Agricultural Research Center, Park Road, Islamabad-45500, Pakistan. e-mail abdul.rashid@comsats.net.pk

El suelo sostiene la vida –realizando varias funciones vitales en el ecosistema, en adición al apoyo de la producción agrícola. Sin embargo, históricamente, los suelos sólo se han apreciado y manejado, para la producción de alimentos y fibra, para sostener la vida sobre este planeta Tierra. Dentro de la arena de las ciencias agrícolas, la ciencia del suelo se refiere predominantemente al estudio (y manejo) del suelo, desde el punto de vista del crecimiento de la planta. Sin duda, la necesidad inmediata y el reto en países en vías de desarrollo permanece en la seguridad en alimentos; sin embargo, con la creciente necesidad y el conocimiento en los tiempos recientes, los problemas ambientales han venido a ocupar una posición central en la ciencia del suelo– como en cualquier otra parte alrededor del mundo. El papel del suelo en la protección del ambiente no puede sobreentendarse, cuando consideramos cómo controla geoquímicamente los contaminantes por la descomposición de desechos, la regulación del flujo de agua y filtrado de contaminantes.

Debido a la sobreexplotación e inapropiado uso de la tierra en los países menos desarrollados del mundo, para cubrir los mayores requerimientos de alimentos y fibra de sus poblaciones, de rápido crecimiento, varios procesos de degradación del suelo han deteriorado, y están continuamente deteriorando, el recurso base del suelo. El suelo no puede permanecer como un espectador mudo a todos los abusos acumulados en él, ni posee infinita elasticidad para resistir siempre la presión creciente puesta sobre él, debido a la mayor producción de biomasa y la mayor carga de contaminación. Como las condiciones climáticas limitan los procesos rehabilitadores físicos, químicos y biológicos, la degradación del suelo se refleja como una pérdida en la productividad del cultivo y, en muchas situaciones, una amenaza a los sistemas de producción agrícolas. Por consiguiente, incluso en áreas bien dotadas de irrigación de muchos países menos desarrollados, los sistemas de producción están mostrando señales de fatiga. En la cima de esto, la contaminación del suelo y cuerpos de agua superficial, por el uso indiscriminado de desechos municipales e industriales en los suburbios de las ciudades, y por pesticidas y movimiento de nutrientes por el perfil del suelo -en sistemas de cultivo con alto consumo - es un hecho de vida.

Como los recursos naturales, incluyendo el suelo, en la mayoría de los países menos desarrollados se han degradado durante las últimas décadas, el desafío crucial para los científicos del suelo es sostener el recurso base del suelo conteniendo, e incluso revirtiendo, los procesos de degradación del suelo. El desafío real, en los países menos desarrollados, es rejuvenecer el recurso suelo para hacer frente a las demandas siempre crecientes de alimento y fibra de las

poblaciones de rápido crecimiento, mientras se protege al ambiente. Para lograr la seguridad de alimentos, necesitamos esforzarnos por mejorar los rendimientos de los cultivos y alcanzar los rendimientos, nivel-cultivo, más cercanos al potencial genético. Esto es posible, pero sólo por la agricultura basada en la ciencia. En consecuencia, los científicos del suelo necesitan engranar la mano de obra altamente especializada, la investigación adecuada, las facilidades de desarrollo y los recursos correspondientes.

Mientras exista una posibilidad muy limitada de expansión lateral en el área cultivada – principalmente debido a la escasez de agua, tierras agrícolas de primera, en los suburbios de la ciudad, se están quedando bajo estructuras de concreto –es reflejo de nuestro descuido en la planificación del uso del suelo. Como el desarrollo del suelo toma periodos de tiempo geológicos, es un recurso natural no-renovable. Sabemos que la producción agrícola no puede sostenerse sin mantener el recurso natural base. Por lo tanto, dejamos como única opción la de conservar la base del precioso recurso suelo y mejorar su productividad – por la adopción de prácticas de manejo del suelo eco-amigables. Esto puede lograrse, pero sólo aplicando técnicas precisas basadas en la ciencia para entender los procesos del suelo. Así, los científicos del suelo debieran dirigirse a problemas de sustentabilidad relacionados con la productividad agrícola, así como también con el ambiente. Sin embargo, debido a la extrema complejidad y la enorme variabilidad dentro de los suelos, efectivamente, la tarea del manejo del recurso suelo de una manera sustentable es un gran desafío. El suelo se ha manejado dentro del esquema de la biósfera, de la cual el suelo es una parte integral. Por consiguiente, los futuros esfuerzos de manejo del suelo llaman a la integración de un organizador de disciplinas científicas relacionadas, directa o indirectamente involucradas, en el estudio de los recursos naturales.

Los problemas ambientales sólo pueden ser dirigidos para lograr un buen entendimiento de los procesos físicos, químicos y biológicos. En la actualidad, la especialización requerida o la infraestructura en muchos países menos desarrollados del mundo, me temo, es inadecuada. Estos esfuerzos requieren un llamado a empatar el desarrollo del recurso humano y fuertes inversiones en la creación de los medios de investigación requerida, quienes tienen poder de decisiones pertinentes deben fijar las prioridades apropiadas asignando los recursos adecuados para el propósito.

A pesar de una siempre creciente importancia de la ciencia del suelo para entender y resolver los problemas, cada vez más complejos, que pertenecen a la productividad de los cultivos y la protección del ambiente, la ciencia del suelo sigue siendo una ciencia relativamente menos desarrollada – como, a diferencia de las plantas, por ejemplo, el suelo carece de un sistema de clasificación universal verdadero y, por consiguiente, de nomenclatura. La ciencia del suelo es dinámica, y permanecerá así, debido a la extrema complejidad y variabilidad de los suelos, y nuestra limitada comprensión –la cual, sin duda, mejorará con esfuerzos persistentes. En tiempos recientes, las ciencias se han vuelto altamente especializadas, incluyendo la ciencia del suelo; y nosotros estamos dirigiéndonos hacia el aislamiento espléndido.

Mientras la especialización es un presagio positivo para el progreso de la ciencia del suelo, simultáneamente nos aislamos de las realidades de la tierra. Como cualquier otra ciencia, la ciencia del suelo debería esforzarse por servir a la humanidad. Sin embargo, para servir a la causa de la humanidad, la integración de conocimiento es decisiva. Por lo tanto, debemos impartir entrenamiento con una base amplia a los científicos del suelo, actuales y futuros. Mientras algunos profesores universitarios actuales – en países desarrollados del mundo – están inclinados a conceder el grado doctoral basados completamente en investigaciones de laboratorio/invernadero o computadora, yo sigo apreciando a los profesores que no conceden este grado universitario más alto sin ‘una aproximación del estudiante en campo’. Por consiguiente, enfatizaría fuertemente el impartir la adecuada realización de una agricultura con amplia base en las realidades de la tierra a los futuros científicos del suelo.

Ponderemos en cuanto a qué la ‘Ciencia del Suelo’ está esperando hacer en el contexto presente y futuro. Entiendo que en el futuro los científicos del suelo serán llamados a contestar preguntas más complejas y, también, de una manera precisa. Así, el camino delante está lleno de desafíos y oportunidades para los científicos del suelo. La pregunta crucial es “¿estamos preparados para enfrentar estos desafíos y aprovechar las oportunidades?”

Para abreviar, preveo un papel decisivo de la ciencia del suelo en la futura seguridad de alimentos y bienestar de la humanidad – particularmente, en los países menos desarrollados del mundo.



La investigación agrícola internacional: la ciencia del suelo en la encrucijada.

John Ryan

International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), P.O., Box 5466, Aleppo, Syria. e-mail j.ryan@cgiar.org

La capacidad del suelo para sostener vida y suministrar a la humanidad alimentos y fibras adecuados, históricamente, se ha relacionado con su fertilidad o reserva de nutrimentos esenciales para la planta, así también como de agua de lluvia o de irrigación. De hecho, las civilizaciones se han desarrollado y florecido en áreas de tierras bien regadas y suelos fértiles. La fertilidad de los suelos del mundo permitió a la población global crecer exponencialmente, hasta el siglo XIX, tiempo en el que la demanda de alimentos pareció dejar atrás la capacidad de la tierra para suministrar éstos, dando lugar a las predicciones horribles de Malthus. El desarrollo de la química y la industria de fertilizantes, y el difundido uso de nitrógeno, fósforos y potasio, permitieron al mundo realizar un salto sostenido en la producción de alimentos a lo largo del siglo XX, introduciendo un sentido renovado de complacencia donde la seguridad de tener el alimento era su preocupación. El desarrollo paralelo en las ciencias agrícolas, notablemente relacionado con los suelos y la nutrición de cultivos, jugó un papel importante en la eliminación de las deficiencias de nutrimentos como limitantes del crecimiento de los cultivos, así como también, mejorando la eficiencia en el uso de fertilizantes y la calidad de la cosecha.

La última parte del siglo XX vio emerger una disparidad flagrante, con la suficiencia en alimento – sobrante, de hecho – en el mundo desarrollado; y el hambre y la disputa civil asociada en varios populosos, y siempre - expansibles, países en vías de desarrollo. Con las posibilidades limitadas para expandir tierras y con la erosión y la degradación, se planteó una creciente amenaza al recurso suelo base; la única solución fue estimular la investigación aplicada suelo-cultivo y aplicar tecnologías modernas a las condiciones de déficit de alimentos en los países. De ahí la necesidad para, y el origen de, sistemas de investigación agrícolas internacionales.

El global Consultative Group on Agricultural Research o CGIAR se fundó en 1971 basado en la existencia de centros internacionales (centros CG) en Marruecos y Nigeria. Los centros se fueron expandiendo en número y se consolidaron; actualmente, hay 15 centros alrededor del mundo que tratan con productos específicos (p. ej. cereales, arroz, animales), agroecosistemas (suelos secos, agro-forestal, pesca, biodiversidad) y políticas, con algún mandato global y otro regional. Sus objetivos generales son aliviar la pobreza a través de la investigación aplicada, así como proteger el ambiente y conservar la biodiversidad. La única característica de tales centros fue su enfoque de colaboración con los sistemas de investigación agrícolas nacionales en sus regiones encargadas y con las instituciones mencionadas alrededor del mundo.

Los centros CG, en esencia, se construyeron en la “Revolución Verde” de los años setenta, los cuales incluyeron variedades mejoradas de cultivos y uso de fertilizantes químicos. De esta manera, el suministro y uso del nutrimento restringido estuvo presente en la agenda de la investigación aplicada de la mayoría de los centros. Se tuvieron logros notables en el uso de nitrógeno para la producción de arroz inundado, en el International Rice Research Institute (IRRI), en Filipinas; la identificación y mejora de los problemas nutrimentales (deficiencias, toxicidades), asociados con tierras tropicales ácidas, notablemente en términos de fósforo, el International Center for Tropical Agriculture (CIAT); la elucidación de la dinámica de N y P en sistemas de cultivo de secano, en el International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), incluso la captura de C carbono, micronutrientes en suelos calcáreos, nutrimentos en agua de desecho para la irrigación y uso eficiente de nutrimentos líquidos. De manera similar, la investigación relacionada con el suelo fue un componente mayor del trabajo del International Institute for Tropical Agriculture (IITA), en Nigeria, con fuerte énfasis en la erosión y la degradación del suelo, mientras el componente nutrimento del programa del International Center for Research in the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), en India, se integró con la eficiencia en el uso del agua. Aunque, básicamente se conoce por su programa para la producción de cultivos como el trigo y maíz, el Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT), en México, ha tratado con nutrimentos como P y micorrizas en sistemas cultivados. Independientemente de la cosecha o el medio ambiente, el tema común de todos los centros CG, en su investigación relacionada con el suelo, ha sido la eficiencia en la producción y la sustentabilidad de los recursos, todo ello con el objetivo final de ayudar a la gente.

Ahora, al comienzo del nuevo milenio, la marcha del cambio en el mundo se ha acelerado; la globalización, el comercio libre y la comunicación masiva son factores en el manejo de este cambio. Como todas las organizaciones, los centros CG no son inmunes a los desarrollos en el mundo más amplio. A pesar del éxito de la ciencia del suelo en la solución de la producción de alimentos en países en vías de desarrollo, los mismos obstáculos difíciles permanecen, especialmente en África donde la producción de alimento per cápita y uso de la tierra per cápita ha disminuido de manera notable. Los obstáculos en la transferencia de tecnologías relacionadas con el suelo, especialmente para el control de la erosión del suelo y el uso de fertilizante, tienen que verse en el contexto de restricciones más amplias, en términos de infraestructura y transporte, sistemas de crédito y mercados, educación y extensión.

Las mayores amenazas al futuro de los centros CG, los cuales están principalmente sostenidos por dinero público, vendrán de la desviación de fundaciones donadoras, ajenas a la agricultura, a áreas como la salud y la educación. Incluso cuando las fundaciones están relativamente seguras, ha habido un cambio en el énfasis de la esencia de la fundación para donar; – los fondos se dirigen a áreas más fascinantes de investigación como la biotecnología. Hasta ahora, hay pocos indicios de que la biotecnología sea una panacea para el mundo

desarrollado. La errónea percepción pública, extensamente sostenida, de que los fertilizantes químicos son dañinos al ambiente es un caballo de Troya que preocupa hasta a los países en vías de desarrollo. Los países industrializados mejor alimentados, con poblaciones estancadas o en disminución, pueden darse el lujo de tales nociones; sin embargo, esto puede ser válido para sus condiciones, pero como los rendimientos de los cultivos dependen, principalmente, de los fertilizantes químicos, los países desarrollados no pueden - y no deberían - ser arrullados en la creencia equivocada de que pueden sobrevivir sin el uso de fertilizantes. Mientras la agricultura orgánica tiene un nicho en el Oeste, no puede tener impacto real en los países en vías de desarrollo. La investigación de los nutrimentos del suelo ha cambiado en dirección de la nutrición humana, la corriente principal en la investigación del suelo tiene, por necesidad, que evolucionar con el cambio de prácticas, nuevas variedades de cultivo con necesidades nutrimentales más altas, intensificación de los cultivos y sistemas de irrigación. La ciencia del suelo debe trabajar con objetivos paralelos: producir alimentos y proteger el ambiente para asegurar la capacidad futura de producir alimentos y fibra.

La ciencia del suelo y la investigación relacionada con la nutrición de los cultivos han contribuido grandemente al mundo. Ahora, no deberíamos permitirle ser una víctima de sus propios éxitos. La capacidad para producir alimentos no puede tomarse por concedida. Los científicos del suelo, como un cuerpo, deben comunicarse mejor para permitirle a la sociedad, principalmente urbana, del mundo, conocer lo que se ha hecho y lo que se necesita hacer para asegurar que las generaciones del futuro estén bien alimentadas.

Los centros CG del futuro necesitarán atraer y motivar a científicos dedicados, altamente entrenados, con percepciones claras de qué pasos concretos se necesitan para llevar la ciencia a los pobres. Re-inventar la rueda, la filosofía espesa o lemas vacíos no evitarán a las personas acostarse hambrientas. Sin el realismo y la dedicación de científicos internacionales visionarios 'suelo-cultivo', como Norman Borlaug, Neil Brady, Pedro Sanchez y Rattan Lal, el futuro de la investigación suelo-cultivo en el sistema de CG no puede garantizarse.



El futuro de la ciencia del suelo

J.S. Samra

Indian Council of Agricultural Research, Krishi Anusandhan Bhawan-II, Pusa, New Delhi 110 012, India. e-mail jssamra2001@yahoo.com

En la mayoría de los países de Asia, el grueso de los productos agrícolas domésticos está entre 20 y 90% del total y constituyen una de las principales fuentes de sustento, ingreso, empleo y seguridad ambiental. Es probable que esta situación cambie debido al lento progreso en la industrialización, el crecimiento demográfico muy alto, la velocidad excesiva de urbanización y el cambio en el estilo de vida estándar. En la India, la disponibilidad de tierra per cápita disminuyó de 0.91 ha, en 1951, a 0.35 ha en 2000 y se espera que baje más allá de 0.19 ha en 2050. El manejo integrado de suelo, agua, biodiversidad y calidad de las entradas está volviéndose esencial para comprender los fito-, bio- y geo-estándares del comercio globalizado. Se proyecta que la disponibilidad neta de agua utilizable disminuirá de 2133 m³ por persona, en 1996, a 1289 m³ por persona, para el 2050, y las tendencias son similares en China, Pakistán y otros países de Asia. El reciclaje de efluentes domésticos e industriales y aguas geogénicas de pobre calidad se volverá el mayor desafío de contaminación de recursos, según lo sanitario y fitosanitario.

El calentamiento global funde excesivamente los glaciares en el Himalaya, eleva el nivel del mar y cambia de manera significativa la frecuencia de eventos extremos como inundaciones, sequías, ondas frías, ondas de calor, ciclones y tsunamis; esto se ha comprobado por datos analizados con precisión y varias evidencias colaterales. La excesiva erosión de regiones montañosas, el sumergimiento de algunas islas, la presencia de cinturones costeros altamente poblados y la reagrupación de asentamientos humanos a otras agroecologías son de una tremenda responsabilidad socio-económica en los impactos del calentamiento global sobre los recursos de la tierra. Puesto que los recursos naturales, como el suelo, el agua, la biodiversidad y el clima son el sostén de alimentos, sustento, nutrición y ambiente, su conservación, preservación y utilización serán un buque insignia R&D del futuro. Se espera que la cartera del manejo de las ciencias naturales sea una interacción intensiva de explosión de conocimiento, crecimiento demográfico y oportunidades bio- y nanotecnológicas del mundo en vías de desarrollo.

Es evidente, de los escenarios anteriores, que el suelo tiene que actuar como una fuente inelástica de sustento, riqueza genética (como los genes Bt) y sumidero ambiental para la asimilación de desechos sólidos antropogénicos, alcantarillado doméstico, efluentes industriales y otros contaminantes.

Puesto que la disponibilidad per cápita de los recursos del suelo tiende a disminuir en la región asiática, la única alternativa para sostener la velocidad excesiva del crecimiento demográfico será intensificar la productividad de recursos básicos y entradas por unidad de área y tiempo. El manejo del suelo tendrá entradas

importantes de capital e intensa energía, y estará basado en el conocimiento. El factor de productividad de las llanuras Indo-Gangéticas, con una productividad global de $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de arroz y trigo, ya está estancándose, las deficiencias de nutrimentos están multiplicándose y la competitividad de costos está disminuyendo. La otra posibilidad es aumentar la intensidad de los cultivos o relevar cultivos para maximizar el empleo, el ingreso, y las oportunidades de producción. Estas compulsiones son tan vitales que los agricultores, de las llanuras Indo-Gangéticas y China, están quemando los residuos de arroz y practicando la labranza cero a la siembra del próximo cultivo, puesto que ellos no pueden permitirse el lujo de unos pocos días para el cultivo e incorporación de los residuos. La quema incompleta de residuos de cosecha, con altos contenidos de humedad, genera partículas de carbono en el aire, crea problemas de salud y pérdida de valiosos nutrimentos. La lista de nutrimentos deficientes se ha alargado, del elemento simple de nitrógeno, a fósforo, potasio, zinc, azufre, boro y manganeso (alrededor de ocho) en un periodo corto de cuatro décadas.

Las investigaciones científicas están llamando la atención sobre cada elemento para saber la proporción precisa de su suministro, como una función del tiempo, así como para predecir cuándo, cuál y cuánto fertilizante adicional se requerirá. Con el número creciente de deficiencias, la proporción óptima de los nutrimentos llegará a ser la fuerza que conduzca a optimizar la productividad y la sustentabilidad.

Según las últimas estimaciones, globalmente, la energía y el agua se están volviendo las entradas más críticas y éstas están íntimamente correlacionadas con los recursos suelo. En adición al crecimiento demográfico, la velocidad de urbanización de 10-11% durante 1900 en Asia, es en la actualidad de 25-30% aproximadamente y, en el futuro, realizará una escalada a 50%, por 2050. Mucha de la producción y consumo de energía es degradativa ambientalmente. La alta urbanización quizás produzca grandes cantidades de desechos sólidos y efluentes domésticos e industriales que se reciclarán en la agricultura peri-urbana. La composición química de estos desechos biológicos e industriales está cambiando rápidamente, debido a la producción y consumo de una gran variedad de farmacéuticos, jabones, productos de limpieza, procesos industriales, etc.

La carencia de tecnologías apropiadas de tratamiento e inversiones públicas aumentará las posibilidades de contaminar tierras, vegetación, vegetales, pasto y alimentos y romperá la cadena del consumo natural recurso-animal-humano. Los procesos de tratamiento alternativo de basureros gigantes con super microbios y vegetación para limpiar los recursos de la tierra, con costos competitivos y métodos efectivos, deberían hacerse económicamente factibles.

El suelo está siendo observado, como el gran estanque inexplorado del gen, especialmente después del despliegue exitoso de genes Bt en varios cultivos y productos. Hasta ahora hubo un reducido interés e inversiones en la exploración de microbios del suelo, su caracterización, impresión digital de ADN, cuantificación y documentación estructural/funcional de genotipos. Esta nueva fase de intereses, por supuesto, se destinará a la propiedad intelectual

rápida y creciente y los derechos de indicadores geográficos. Sin embargo, existen pocos científicos entrenados adecuadamente que puedan hacer completa justicia a los potenciales que están surgiendo de la microbiología del suelo. La mayor prioridad será desarrollar recursos humanos apropiados para competir en el mercado del manejo de la agenda del R&D. Al mismo tiempo, la nanotecnología va desapareciendo los límites rígidos entre la física, la química y las ciencias biológicas. El chip de silicón de los procesadores de las computadoras más rápidas puede ser reemplazado por biochips con miles de millones de veces de mayor velocidad para conducir mensajes y servicios de telecomunicación, emparejando la velocidad de la imaginación humana, y los científicos del suelo pueden mirar sus posibilidades en la sociedad.

Los cambios climáticos y del tiempo se han aceptado ahora, incluso por los oponentes más fuertes, independientemente de las razones para su oposición. Si estas tendencias continúan va a haber redistribución del agua sobre la tierra, grandes cambios en los patrones de lluvia, los cultivos, los sistemas agrícolas y los usos de la tierra.

Esto también tendrá impacto significativo sobre la erosión del suelo, la degradación de la tierra, los microbios del suelo y los procesos de no-degradación, como un gran reto científico. En el esquema de estrategias de mitigación, el suelo, de nuevo, tiene que jugar un papel vital, como un sumidero y como fuente parcial del calentamiento global. Sin embargo, algunos científicos puritanos del suelo se perturban cuando proponemos cambios de nombre de instituciones de ciencia del suelo, como las organizaciones NRM. Por otra parte, en el horizonte se están vislumbrando las posibilidades de una fuerte interdisciplinariedad con las ciencias de la nanotecnología, biotecnología y genotipos funcionales y estructurales.

Hay un caso fuerte para reanalizar o volver a inspeccionar, el programa de estudios y los contenidos de enseñanza, investigación y educación en el campo de la ciencia del suelo, para responder a los potenciales y oportunidades emergentes de las sociedades demográficamente activas y con conocimiento enriquecido de Asia y otras regiones en vías de desarrollo.



La ciencia del suelo antropogénica manejada por las demandas sociales

Xuezheng Z. Shi

State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China. e-mail xzshi@issas.ac.cn

A través de la historia de la ciencia del suelo, en los pasados 100 años, dos factores alentaron el desarrollo de la ciencia y no deberían ser ignorados: las demandas sociales y el perfeccionamiento de teorías y tecnologías relacionadas con la ciencia del suelo. El primero es el factor esencial para afectar y orientar el desarrollo de la ciencia del suelo. Conforme los países en vías de desarrollo se muevan hacia la industrialización, los estudios de la ciencia del suelo deberán satisfacer demandas sociales dobles: mantener un incremento estable en la producción de cultivos, garantizando un adecuado abastecimiento de alimentos, y atender grandes problemas ambientales y de contaminación, por la rápida industrialización y el desarrollo agronómico. China está enfrentando ambas demandas. Por lo tanto, en China, los científicos del suelo deberían iniciar urgentemente los siguientes estudios.

Información del recurso suelo

La economía nacional China rápidamente se ha desarrollado en los pasados 20 años, debido a la implementación de políticas y reformas comerciales globales. Sin embargo, la entrada de químicos agrícolas, los cambios en el manejo de los sistemas agrícolas y la rápida industrialización y la urbanización, resultaron en una proliferación de pequeños fragmentos de tierra, sobre las cuales los terratenientes rurales manejaron varios cultivos, plantados en parcelas muy pequeñas. En China, la industrialización ha ocurrido por igual en pequeñas ciudades y en pueblos con áreas de tierras muy limitadas. Por ejemplo, casi 400 fábricas se han construido en un área pequeña (8 km²) suburbana del oeste de la ciudad de la provincia de Jiangsu. La degradación ambiental empeora cuando la localización de tales fábricas está intermezclada con tierras de labranza. Las propiedades del suelo y los niveles de contaminación pueden cambiar drásticamente en distancias muy cortas, debido a la concentrada industrialización y las actividades humanas. En consecuencia, los factores originales del desarrollo del suelo, formados bajo condiciones naturales de génesis de suelos, se han alterado en respuesta a esta actividad humana e industrializada. Por lo tanto, en un esfuerzo por mantener el inventario del recurso suelo, es imperativo que se generen nuevos factores de desarrollo del suelo (incluyendo el uso moderno del suelo, problemas de contaminación, etc.). El desarrollo de tales factores, puestos al día, conducirá a la creación de marcos teóricos y metodológicos firmes para la adquisición de información del recurso suelo. Para ser exitosos, esto requerirá de nuevos enfoques académicos y nuevas técnicas desarrolladas para afrontar las necesidades sociales.

Cambios del suelo

Siguiendo con los métodos contemporáneos de levantamientos de suelo, los pedólogos pueden dirigir agricultores en sus prácticas de cultivo, después que ellos han finalizado el levantamiento de campo y el muestreo, los análisis de laboratorio completos y cartografiando el área en estudio. Sin embargo, esto genera preguntas importantes: ¿es necesario muestrear un campo completo impactado por la industrialización y urbanización para determinar los impactos al recurso suelo?, ¿cómo debería determinarse la densidad de muestreo?, ¿en qué escala temporal debería completarse el muestreo? Mientras las respuestas a muchas de estas preguntas están disponibles en libros de textos de suelos, estos problemas se están volviendo cada vez más difíciles de predecir y resolver. Es bastante simple dirigir los problemas anteriormente mencionados; esto es, determinar sólo qué factores juegan un papel importante en la dirección de la evolución de la calidad del suelo. Sin embargo, debido a la carencia de una teoría establecida en este campo, se generaron numerosos problemas y se desperdició mucho dinero cuando los levantamientos de calidad ambiental del suelo se realizaron en China. Por ejemplo, cuando se condujo un levantamiento sobre un área grande, gran parte del presupuesto se utilizó para un muestreo en cuadrícula sobre un área completa. Los costos se integraron por los análisis de laboratorio de propiedades de suelo de rutina, contenidos de metales pesados, y varios residuos orgánicos. Las conclusiones derivadas de estos proyectos fueron, a menudo, “impactos de contaminación por metales pesados sólo en sitios aislados a través del área muestreada.” Todavía, se está utilizando mucho dinero para llegar a tales conclusiones. Si los mayores factores de control de las propiedades del suelo, contenido de metales pesados y varios residuos orgánicos se conocieran al mismo tiempo, una gran cantidad de gastos, esfuerzo humano y medios se hubieran ahorrando.

Clasificación de suelos

Este es un viejo dilema, sin resolver todavía. Una clasificación única de suelos sirve como fundamento para el uso racional del recurso suelo, su manejo científico y como un medio indispensable para el intercambio internacional de resultados de investigación del suelo. Es una gran pena que un sistema de clasificación del suelo, internacionalmente unificado no esté disponible a la fecha; aunque dos sistemas poderosos, Taxonomía de Suelo, de EUA, y la WRB constituyen gran parte de la actual clasificación de suelos en el ámbito mundial. En China, los sistemas de clasificación de suelo experimentaron grandes cambios, resultando en dos sistemas de clasificación paralelos actualmente en uso: The Genetic Soil Classification of China (GSCC) y Chinese Soil Taxonomy (CST). Varios logros en levantamientos de suelo a nivel nacional, provincial (municipal o regiones autónomas) e internacional, junto con una gran cantidad de datos físicos y químicos del suelo, en China, se reportan sobre la base de la GSCC. Los problemas de comunicación surgen cuando un científico Chino viaja al extranjero o un científico extranjero viene a China para intercambio internacional académico de suelo o investigación, porque no se dispone de un sistema de clasificación nacional unificado. De esta manera el establecimiento de un sistema de clasificación de suelos, internacionalmente unificado, es de principal importancia. Por lo menos, deberíamos hacer nuestro mejor esfuerzo para establecer un sistema de

referencia entre varios sistemas de clasificación para satisfacer las necesidades de desarrollo de la ciencia del suelo.

En resumen, los científicos del suelo no deberían enfocar sus estudios solamente en características del suelo, sino también deberían poner énfasis en estudios conducidos por demandas sociales. Bajo la poderosa influencia humana, los procesos de cambio del suelo, los cuales históricamente toman miles de años, ahora podrían ocurrir sólo en una fracción de ese tiempo. Así, ¿cómo podemos los científicos del suelo confiar en enfrentar las demandas sociales para el desarrollo de la ciencia del suelo, si ignoramos los estudios de suelos antropogénicos conducidos por demandas sociales en el inicio del siglo XXI?

Agradecimientos

Reconozco agradecidamente el apoyo de la NSFC, el proyecto Key Innovation Project of CAS y Knowledge Innovation Program of CAS, y agradezco al Dr. Y. C. Zhao por su ayuda en la preparación del manuscrito.



El futuro de la ciencia del suelo

Don Sparks

University of Delaware, Newark, DE 19177-1303, USA. e-mail dlsparke@udel.edu

Como presidente de la International Union of Soil Science he tenido la maravillosa oportunidad de viajar alrededor del mundo en los últimos cuatro años. Mis viajes me han llevado al norte y sur de América, Europa, Asia y Australia. Me he encontrado con muchos científicos del suelo, así como también con un buen número de científicos de otras disciplinas y también he interactuado con políticos. He estado contento de ver a muchos jóvenes científicos del suelo en las reuniones a las que he asistido. Esto es importante, porque ellos son el futuro de nuestra disciplina. En conjunto, debo decir que soy extremadamente optimista acerca del futuro de la ciencia del suelo. Mientras tengamos desafíos delante de nosotros, las oportunidades son ilimitadas.

Los desafíos y los problemas que las naciones alrededor del mundo enfrentan son similares. Éstos incluyen: la necesidad de incrementar la producción de alimentos, el incremento de la urbanización, la degradación de la tierra debido a la erosión y desertificación, los problemas de uso de la tierra, el cambio climático global, la calidad del aire y el agua, el suministro de agua, la seguridad en alimentos y el crecimiento de la población. Cada uno de estos temas está conectado a los suelos y los científicos del suelo deben estar dispuestos para ayudar a dirigirlos. Para atender acertadamente estas áreas debemos combinar los avances en tecnología con enfoques e interacciones multidisciplinarios, interdisciplinarios y multifacéticos. Aunque necesitamos mantener nuestra identidad como científicos de suelo y como disciplina, no podemos trabajar aislados, si queremos realizar de manera apropiada la compleja investigación que demandan las necesidades de la sociedad. Debemos colaborar con colegas en muchos campos, incluyendo matemáticas, física, química, geología, ingeniería, ciencias sociales, económicas, ética y política pública. También debemos llevar a cabo estudios sobre un amplio rango de escalas espaciales y temporales.

Aún tenemos oportunidades maravillosas, enfrentamos numerosos desafíos. Los dos aspectos en los que debo estar interesado son acerca de la disminución de la consolidación de la ciencia del suelo y, de hecho, de muchas de las ciencias y lo que percibo como un interés decreciente de los estudiantes graduados para seguir carreras académicas. Para mí, las dos están ligadas. Muchos estudiantes ven a sus consejeros gastando más y más de su tiempo “recaudando fondos” que, a menudo, no aprovechan. La creciente necesidad de conseguir dinero, en cualquier área, pasa a ser, una tendencia peligrosa. Los días cuando uno podía perseguir un área de investigación por muchos años y cavar en lo más profundo del tema y lograr grandes avances, están volviéndose casi cosa del pasado. Adicionalmente, la falta de disposición de recursos significa que no se están desestimando a algunas áreas críticas de investigación. La falta de énfasis en el financiamiento de las investigaciones, que muchos países están poniendo, es una tendencia que se debe revertir.

Entonces ¿qué debemos hacer como científicos de suelo? Desde mi punto de vista, debemos considerar varios pasos relevantes en los años por venir. Esto incluye volverse más proactivos y efectivos en la comunicación con los políticos y el público, acerca de problemas en los que somos expertos y ser más agresivos en buscar y abogar para que el financiamiento se dirija a problemas agrícolas y ambientales importantes, y para ampliar la economía global; mejorar nuestra “imagen” con científicos en campos afines con la publicación y presentación de documentos en forma de revista y sitios científicos; volvernos más activos en la diseminación de materiales educativos y proporcionar talleres de entrenamiento a maestros y estudiantes en K-12, para que más estudiantes puedan ser atraídos a, y entusiasmados sobre, la ciencia del suelo como una especialización académica y carrera; reforzar los esfuerzos de reclutamiento y entrenamiento de estudiantes a nivel de postgrado; y aumentar la diversidad de nuestras sociedades profesionales en términos de género, etnicidad y tipo de miembro (necesitamos captar más profesionales prácticos y asegurar proporcionarles servicios de membresía que satisfagan sus necesidades). Si se toman esos pasos, estoy seguro de que el futuro de la ciencia del suelo será brillante.



El futuro de la ciencia del suelo

Roger S. Swift

Faculty of Natural Resources, Agriculture and Veterinary Science, University of Queensland, Queensland, 4343, Australia. e-mail rsswift@uq.edu.au

Cuando los científicos del suelo se preguntan a sí mismos cuestiones como ¿cuál será el futuro de la ciencia del suelo? normalmente significa que el tema está enfrentando problemas en relación con la continuidad de su importancia, el número de científicos del suelo en organizaciones de investigación clave y la demanda futura por graduados y técnicos entrenados. En numerosos países, la ciencia del suelo está experimentando un periodo semejante de duda similar. He visto muchos artículos y cartas lamentando el inminente destino de la ciencia del suelo y la estupidez y la miopía de los gobiernos por permitir que esto pase. ¿La ciencia del suelo está en problemas? – bien, sí y no, dependiendo en dónde estés en el mundo. ¿La ciencia de suelo es relevante todavía en el mundo moderno? – sí, claro que lo es. Déjeme explicar porqué doy estas respuestas.

La ciencia suelo ha hecho contribuciones sólidas para mejorar la producción agrícola y guiar el uso de la tierra, así como entender y manejar los paisajes y los ecosistemas relacionados y los procesos ambientales. La mayoría de estas contribuciones se han realizado en un periodo de alrededor de 70 años, en el siglo XX. Lo que está en contra de este antecedente de gran actividad y contribuciones mayores, es que evaluamos la situación actual y necesitamos ser conscientes de esto al hacer un juicio.

La disminución de la demanda de científicos de suelo está presente en países desarrollados y, a decir verdad, tenemos que admitir que se debe a que muchos (muchos no significa todos) problemas se han resuelto y algunas actividades se han transferido a empresas privadas. En otras palabras, algunos de los cambios actuales resultaron de sucesos pasados de la ciencia de suelo. Nuestra preocupación es que la actual pérdida de científicos del suelo y el fracaso para entrenar otros nuevos, significa que estos países no tendrán el personal y los recursos para tratar con los problemas presentes y, más pretenciosamente, con los que están en camino.

Por otra parte, si miramos a las naciones con economías emergentes, en el sureste de Asia, sur de América, y partes de África, vemos muchos científicos jóvenes ansiosos por hacer contribuciones. Nuestra preocupación debería ser asegurar que estas personas jóvenes puedan acceder a los niveles de entrenamiento y recursos que necesitan para tener éxito. Los países Europeos, EUA y Australia han jugado un gran papel en el entrenamiento de científicos del suelo de los países en vías de desarrollo y quizás es tiempo para desarrollar más allá estas interacciones por el beneficio de ambos grupos y para asegurar que las preciosas habilidades y el conocimiento se transfieren adelante y no se pierdan. En este sentido, ambos grupos se beneficiarán.

Acerca del futuro - ¿Cuáles son los problemas claves que confronta la ciencia del suelo? De manera constante y correcta citamos a la producción de alimentos, combustible y fibra para una siempre creciente población mundial, como la

responsabilidad que nos impulsa pero, a pesar de muchas predicciones terribles en contra, los sistemas de producción todavía son aptos para cubrir, de algún modo, estas necesidades. Sin embargo, sabemos que el suelo y el agua son recursos finitos, que la fatiga se está apoderando del sistema y que, en alguna fase, uno o más de éstos demostrarán ser un factor limitante importante.

Por ejemplo, la cantidad de tierra arable de alta calidad es limitada y para superar esta limitación, grandes áreas de bosques nativos se están talando y quemando en América y sureste de Asia, para la producción de cultivos o animales. Estas actividades de aclareo tienen implicaciones importantes para el ciclo del carbono, la erosión de suelo y la contaminación del aire (particularmente en Asia). La acelerada demanda por bastante proteína animal más que vegetal, en lugares con economías emergentes presiona aún más sobre el área de tierra requerida para producir.

En adición a las demandas de producción de alimentos, los científicos del suelo tendrán que jugar un papel en los problemas ambientales mayores, resultado de la redirección de los procesos industriales, así como también del impacto de los nuevos desarrollos científicos sobre la producción de plantas y animales. Algunos de los más probables nuevos desarrollos, y sus implicaciones para la ciencia del suelo, se dan enseguida. Éstos incrementarán la competencia por el uso de la tierra y requerirán el establecimiento de principios científicos sólidos que guíen estas asignaciones.

Cambio climático

Abordar problemas que surgen de los cambios en temperatura, disponibilidad de agua y reagrupación de zonas agroecológicas hacia diferentes suelos y sistemas de tierras.

Captura de carbono

La explotación del potencial para capturar carbono en árboles y en la materia orgánica del suelo, para ayudar a reducir los niveles de bióxido de carbono en la atmósfera.

Biomasa para energía

Producción de grandes cantidades de biomasa para conversión a biocombustibles líquidos y reducir la dependencia del petróleo y su impacto sobre los niveles de materia orgánica del suelo.

Plantas genéticamente modificadas

El uso de plantas GM para producir bioquímicos específicos, y reemplazar petroquímicos, como base para la producción de farmacéuticos y biopolímeros, y la necesidad de identificar los suelos y los sistemas agronómicos para producir tales plantas.

Depósito de desechos y re-uso

Las grandes poblaciones humanas y altamente concentradas con un mayor conocimiento ambiental y regulaciones más estrictas han resultado en graves problemas, relacionados con la disposición y re-uso de sólidos y líquidos, materiales de desecho orgánicos e inorgánicos, depositados en el suelo como opción preferida.

Encontrar maneras para lograr esto, sin comprometer la salud y calidad del suelo a largo plazo, representa retos importantes para los científicos del suelo.

Análisis e instrumentación

Nuevas aproximaciones para el análisis de suelos se desarrollarán. Éstas incluirán la implementación de técnicas para el análisis de propiedades de suelo *in situ* por observación remota desde aviones o satélites o por el rápido análisis instrumental de muestras de suelo, sin necesidad de extracción o digestión. También el uso del posicionamiento global y la modelación digital del terreno serán algo común en la agricultura y el manejo de tierras.

¿Así, hay un futuro para la ciencia del suelo? – mi respuesta es, por supuesto, que sí. La incompleta lista anterior identifica varios de los mayores desafíos, suficientes para excitar a cualquier científico del suelo inexperto, sin hacer mención de la fertilidad, la acidez, la sodicidad, etc., todos los cuales requieren más atención. Allí se requiere de un cambio en la manera de trabajar, con mayor énfasis en equipos multidisciplinarios, los que serán requeridos para analizar, interpretar e integrar una gran cantidad de datos, y supervisen simultáneamente, en diferentes partes del ambiente o sistemas de producción. No faltarán los desafíos y oportunidades para los científicos de suelo, permítanos asegurar que hay bastantes científicos de suelo para aceptar los desafíos.



El ámbito de la pedología

Victor Targulian

Institute of Geography, RAS, Moscow. e-mail targul@centro.ru

Entre todas las ramas de la ciencia del suelo, la pedología (o ciencia de la genética del suelo en el sentido del término ruso) es el núcleo, la parte básica de la ciencia del suelo en la interfase de las ciencias de la Tierra y la vida. La pedología nos permite entender al suelo como un cuerpo natural específico, un sistema bio-abiótico abierto y la esfera de la Tierra (la pedósfera). Esto con base en el principal paradigma pedológico, el cual define a un suelo como una entidad natural formada *in situ*, de acuerdo con la fórmula: $S = f(c, o, r, p, t)$. La pedología estudia la formación y la evolución del suelo, el comportamiento del sistema suelo en el tiempo y su distribución en el espacio, y trata de clasificar la diversidad completa de los suelos del mundo. La pedología básica estudia la pedósfera actual existente por todas partes en la superficie de la Tierra. Desde un punto de vista ideal, este estudio debería vincularse íntimamente con ambientes naturales y antropo(tecno)genéticos. La aproximación más divulgada, aplica la famosa tríada Dokuchaev-Jenny-Gerasimov: factores → procesos → características. La principal dificultad en el uso empírico y teórico de la tríada proviene de interpretarla demasiado temporalmente, tomando en cuenta sólo los factores existentes recientes y los procesos de formación del suelo y dando menos atención a otros períodos de la pedogénesis. Nuestros conceptos pedogenéticos convencionales, por así llamarlos, suelo “zonal” son monogenéticos y, por el contrario, entendemos que la “historia” real de la mayoría de los suelos del mundo es poligenética.

El estudio de la pedósfera "actual", desde un punto de vista pedológico, debería estar planeado para la investigación orientada a los procesos para la comprensión de los procesos pedogenéticos específicos que formaron la diversidad existente de los suelos del mundo y pueden dirigir la evolución del suelo (desarrollo, o degradación) en el futuro. Usualmente, este tipo de investigación inicia con la investigación detallada de un grupo de rasgos y características estables del suelo, morfológicas y analíticas, o todos los niveles jerárquicos de organización del cuerpo suelo. Una comprensión pedológica de estas características incluye su división en relictos irreproducibles, heredados del material parental o de los estados pasados de evolución del suelo, y reproducibles contemporáneos, lo cuales son producto de factores y procesos pedogenéticos actuales.

Sobre estas bases, las hipótesis pedogenéticas de trabajo se elaboran para reconstruir y explicar la formación, desarrollo y evolución en el tiempo del suelo. Estas hipótesis se construyen desde nuestro conocimiento empírico y teórico acerca de procesos pedogenéticos específicos (PPE) y nos permiten crear, para cada suelo estudiado, sus “retratos” orientados a procesos. La combinación de tales retratos con el conocimiento paleogeográfico existente, nos permite describir una génesis del suelo, incluyendo el grupo de PPE y su distribución en el tiempo. Los principales objetivos de investigación, en tales estudios, son el reconocimiento de la esencia biogeoquímica y mineralógica de los PPE, sus proporciones y los tiempos característicos, tendencias y

secuencias a través del tiempo de pedogénesis y sus entradas individuales dentro del conjunto de resultados pedogenéticos existentes – cuerpos suelo y la cobertura suelo.

En la pedósfera del Holoceno, necesitamos entender, paso por paso, el papel, las entradas y las relaciones entre los procesos pedogenéticos reproducibles actuales y los rasgos y las características heredadas, las cuales fueron creadas por procesos pedogenéticos que han terminado o se volvieron extintos y, por consiguiente, son irreproducibles.

Una comprensión de los procesos evolutivos actuales y anteriores, combinados, de la tríada factores→procesos→características es muy significativa para un sabio manejo y conservación del suelo. También tenemos la posibilidad de construir pronósticos de los procesos-orientados y escenarios del comportamiento de los sistemas suelo en el futuro, bajo los diferentes tipos de influencia natural o antropogénica.

El principal papel de la pedología, como una ciencia básica, históricamente ha sido construir el conocimiento de la génesis, evolución, geografía y clasificación de los suelos naturales actuales, expuestos sobre la superficie de la Tierra. Esta parte de la pedología podría ser referida como una pedología natural actual. Durante las últimas décadas, muchas otras áreas de la pedología se han desarrollado en respuesta a los retos de las ciencias naturales y la sociedad. Una de las más exitosas es la paleopedología, la cual demanda, algunas veces, ser una ciencia independiente de la tierra. El principal éxito de la paleopedología es estar conectada con el estudio de paleosuelos naturales del Pleistoceno y el Holoceno, enterrados y expuestos en la superficie de la Tierra. La paleopedología, ahora, también está estudiando las condiciones pedológicas de épocas mucho más antiguas: los paleosuelos del Meso-Paleozoico. La descripción y comprensión de tales paleosuelos ha confiado en un enfoque realista. Pero las Eras del Mesozoico, y especialmente Paleozoico, tenían ambientes bióticos y climáticos bastantes específicos, muchos de los cuales llegaron a extinguirse y no se han repetido en la biósfera y pedósfera recientes. En consecuencia, hay más incertidumbre para reconstruir la génesis y evolución de los suelos extintos y los procesos pedogenéticos, los cuales se asociaron con tipos extintos de biota y clima.

Combinando los ricos resultados de la paleopedología del Holoceno y el Pleistoceno con los primeros resultados de la paleopedología del Cenozoico y Meso-Paleozoico, es posible considerar la paleopedología evolutiva y estudiar y describir los paleosuelos, paleopedósferas y procesos pedogenéticos de las principales etapas de la historia geológica de la Tierra.

En estrecha relación con la paleopedología natural y la pedología actual, la pedoarqueología o arqueopedología se ha estado desarrollando muy activamente durante las últimas décadas. El estudio de sitios arqueológicos del Paleolítico, Neolítico y periodos más recientes, incluyendo algunos asentamientos medievales, involucra muchos descubrimientos y cuestiones concernientes a suelos paleoantropogénicos, pedosedimentos y pedocomplejos. El ámbito de esta rama de la pedología es muy grande, debido a la rápida expansión de las áreas y la diversidad de las investigaciones arqueológicas. Una expansión similar está teniendo lugar en el estudio de los suelos antrop-tecno-genéticos y pedosedimentos (antrosoles, tecnosoles, chemozems, urbanozems, etc.). En todos estos casos, la interpretación del paradigma pedogenético

orientado a los procesos (factores→procesos→características) nos da la posibilidad de explicar la existencia de un grupo de rasgos y predecir probabilísticamente el comportamiento futuro de estos cuerpos en el tiempo (tecnopedología).

Otra rama exploratoria de la pedología general es la pedología de las regolitas y saprolitas de la Tierra, las cuales están firmemente conectadas con la ecología, geología, hidrología e hidrogeología, de la también llamada zona crítica del paisaje. De nuevo, la aproximación genética orientada a los procesos de la pedología facilita predicciones del comportamiento de esta zona bajo diversos impactos.

Quizás la rama más joven de la pedología es el estudio de la regolita extraterrestre de los planetas (Luna, Marte, Venus). El primer documento acerca de los “suelos lunares” ya se ha publicado. Tales investigaciones pueden ayudar a explicar cómo diferentes regolitas planetarias están transformándose *in situ* bajo los severos ambientes de esos planetas. Aunque la formación del suelo es formalmente imposible sin la biota y el agua, la formación *in situ* de una secuencia verticalmente-anisotrópica de horizontes (o sobre-sitio cuerpo parecido-suelo, o ‘sito’), recordando los severos ambientes de esos planetas – realmente podría ser posible. Creo que el árbol de la pedología general incluye las ramas de arriba y que nuestra teoría común puede aplicarse a la diversidad de la pedogénesis y lo que abarque.

Finalmente me gustaría enfatizar que la aplicación apropiada de los principales paradigmas, principios y metodologías de la pedología nos permite contestar qué y cómo se crean los fenómenos relacionados con el suelo y cómo ellos se comportarán en el tiempo y el espacio bajo diferentes impactos.



El futuro de la ciencia del suelo

Lamourdia Thiombiano

Food and Agricultural Organization (FAO), Regional Office for Africa Accra, Ghana. e-mail Lamourdia.Thiombiano@fao.org

El pueblo *Bororo* de Etiopía, en el este de África, en su saludo diario, primero dice “*deseo que tu suelo sea fértil*”. Esta imagen muestra claramente la sagrada consideración que ellos tienen de los suelos, los cuales son, desde su perspectiva, el requerimiento básico para la vida y el equilibrio entre las sociedades humanas y el ambiente circundante. Un suelo fértil es un suelo viviente, en escalas temporales y espaciales, un proveedor de comida y otros beneficios espirituales, culturales y ambientales para los seres humanos.

Los suelos y las tierras siempre se han considerado, por todas las sociedades rurales en el mundo, como un cuerpo sagrado, parte del ciclo de la vida. Cuando un suelo es invadido por malezas o está “agonizante” debido a la erosión severa, los agricultores texanos, así como también los agricultores rusos o europeos, se sienten mal. En la misma vena, para los agricultores, en el mundo en vías de desarrollo, esta situación es una muestra de pereza y ausencia de cuidado por este cuerpo viviente. Para proteger los suelos contra esta característica, los agricultores polinesios usan una cubierta total y permanente del suelo, una práctica de centurias en la región, para producir cocoyam en los valles. Estos ejemplos muestran cómo los suelos siempre han sido sujetos de preocupación e interés para la gente rural en todas partes; y para las poblaciones urbanas y periurbanas, sólo tenemos que citar “ninguna sociedad, incluso aquellas que son más marítimas, podría escapar de estar arraigada a los suelos; los suelos son, por esencia, el soporte de la vida”. Como todos sabemos, las edificaciones, los caminos, los aeropuertos y mucha otra infraestructura esencial para la vida urbana, sin mencionar la comida y el ambiente circundante, están enraizadas en los suelos.

A pesar de este papel esencial de los suelos y las tierras, no hay ninguna inversión sustantiva y política poderosa que pudieran notarse a nivel global, para apoyar el cuidado de los suelos y la planeación apropiada del uso de la tierra, particularmente en las regiones en vías de desarrollo. Los suelos y tierras se toman por concedidos y se ven como minas, las cuales sólo se tienen para extraer o usar los productos o funciones necesarias para el consumo y bienestar humano.

Una de las consecuencias más alarmantes de tales percepciones, y la falta de acciones apropiadas, es la tendencia actual de degradación y desertificación de la tierra; contaminación de suelos y agua; decrecimiento de la biodiversidad; incremento de los desastres naturales, como inundaciones y sequías; incremento de procesos de sedimentación en ríos y disminución de los volúmenes de aguas subterráneas; decrecimiento de la productividad del suelo e incremento de la pobreza rural en los países en vías de desarrollo, etc.

En este contexto, ¿cómo podría ser el futuro de los suelos y la ciencia del suelo? El futuro de los suelos está en la consolidación de la percepción general de que ellos son productos finitos, los cuales revelan, a través de su estatus y tendencias,

nuestra cultura y valores, así como también el nivel de consideración y cuidado que podríamos tener por la Tierra. En la búsqueda de un mejor futuro para los suelos, los científicos del suelo, como los inversionistas más iluminados, deberían demostrar la necesidad de regresar a los valores originales de la agricultura y las prácticas de manejo amistosas de los recursos naturales, como el uso de herramientas apropiadas, las cuales minimizan la perturbación de los suelos y podrían proteger su cubierta; todo esto, junto, hace a los suelos más aptos para producir nuestros bienes y mantener nuestro ambiente.

El futuro de la ciencia del suelo está en su presencia en la IUSS, pasando a través de un fuerte cabildeo en foros globales e importantes de las Naciones Unidas y grupos regionales, cuando las convenciones y políticas sobre el manejo de los recursos naturales se discuten, así como también en el ámbito nacional, durante la formulación e implementación de políticas agrícolas y ambientales. Los problemas de los suelos y la tierra deberían ponerse en la agenda y abordarse con mayor claridad en diversas convenciones y en los Millenium Development Goals, yendo desde la UNDC, que trata con desertificación, hasta el cambio climático, la protección de aguas internacionales y la mitigación de la pobreza. La ciencia del suelo debería vincular la mejor comprensión del funcionamiento y servicios del suelo con el desarrollo de políticas y regulaciones sobre el logro en seguridad de alimentos y el manejo sustentable de los recursos naturales.

La investigación en el cuidado de suelos y tierras es un requisito importante para la producción de alimentos para todos y un balance ecológico, asegurando los beneficios de los servicios ambientales. El futuro de los suelos está en los crecientes mercados de crédito de carbono, los cuales podrían proveer medios adicionales para desarrollar y mantener la vitalidad de los suelos. La ciencia del suelo debería estar lista para desarrollar herramientas para el consejo político, planes de estudio para comunidades rurales y el entrenamiento de políticos locales, así como también planes de estudio para establecer capacidades de los especialistas en los problemas de captura de carbono del suelo.

El futuro de la ciencia del suelo está en evitar ser marginada en esta era de la tecnología de la informática y la biotecnología y el desarrollo de “alta velocidad”. Las herramientas apropiadas para investigar y capitalizar la información del suelo, evaluando, monitoreando y anticipando cambios en el ambiente y el uso de la tierra, deberían ser parte del campo de la ciencia del suelo. Es necesaria una aproximación más flexible, oportuna y efectiva en beneficio costo, construida sobre conocimiento endógeno, que genere nuevos conocimientos, herramientas, prácticas y avisos, los cuales son posibles componentes para la resolución de problemas. Nuevas áreas, como el estatus y funcionamiento de las tierras implantadas con tierras de minas en países subordinados, el impacto del comercio global sobre la calidad del suelo, el ecosistema y la proximidad a lechos de ríos, la biodiversidad del suelo en conexión con el uso de organismos genéticamente modificados, el diseño de paisajes, etc., deberían incluirse en el dominio de la ciencia del suelo.

El futuro de la ciencia del suelo está en su capacidad para moverse de una aproximación clásica y sin respuestas, basada en agrupamientos temáticos, hacia una más coherente e integrada, basada en una buena habilidad de comunicación dentro de

temas interdisciplinarios, tratando con problemas ambientales, seguridad en alimentos, buenas prácticas agrícolas, previsión de riesgos de desastres, evaluación y manejo, modelación del cambio climático, etc.

Particularmente, en África, donde casi 80 a 90% de las instituciones del suelo de las universidades para la investigación y desarrollo agrícola nacionales y los sistemas de desarrollo no son muy activos, es imperativo un cambio total de mentalidad, para adaptarse a las necesidades del contexto actual, en términos de nuevas fronteras para información del suelo, consejos políticos y opciones y herramientas para el manejo de la tierra. Para dar mayor ímpetu a la ciencia del suelo es necesario desarrollar una estrategia apropiada, la cual podría basarse en los tres principios siguientes:

1. Responder a las demandas del manejo de información, herramientas y prácticas, y prever intervenciones en áreas de prioridad;
2. Desarrollar habilidades multidisciplinarias y una fuerte conexión de redes con la IUSS y sistemas de cabildeo;
3. Fortalecer productos y servicios (incluyendo consejos políticos) orientados a la aproximación.

¡El futuro de la ciencia del suelo es brillante; los políticos y usuarios de la tierra estarán pidiendo en sus saludos la fertilidad y salud del suelo, como tradicionalmente la gente *Bororo* lo hace!



El inventario del suelo en transición: ¿de tan pocos a demasiados geodatos?

Marc van Meirvenne

Department of Soil Management and Soil Care, Ghent University, Belgium. e-mail marc.vanmeirvenne@ugent.be

Nosotros, como científicos del suelo compartimos el problema que nuestro medio de interés es difícil de observar continuamente, en dos o tres dimensiones. Tradicionalmente, excavamos un pozo o barrenamos para muestrearlo y complementamos estas observaciones con información indirecta, obtenida de relaciones con rasgos visibles del paisaje o utilizamos otros inventarios, como los mapas topográficos. El resultado es que nuestros inventarios son inciertos, como una gran cantidad de mapas de muchos otros fenómenos naturales. Para reducir el volumen de datos, teníamos que clasificar las propiedades observadas, resultando en leyendas complejas, difíciles de interpretar por científicos que no son científicos del suelo. La consecuencia es que, respecto a los esfuerzos que pusimos en nuestros mapas, sentimos que éstos a menudo son subutilizados. Mejorar esta situación ha sido un desafío, por algún tiempo, para levantadores del suelo y pedométricos.

En el pasado, los levantamientos de suelos confiaron fuertemente en las fuentes indirectas de información cualitativa, como vegetación nativa, topografía, material parental, etc., lo cual resultó en el paradigma Cl,O,R,P,T (Jenny, 1941). Los levantadores de suelos investigaron el suelo en una forma multivariada, considerando muchas propiedades integradas y describiendo su cambio en la profundidad como horizontes del suelo. Así, típicamente, la leyenda de un mapa de suelos fue cualitativa, multivariada y tridimensional. Pero el soporte firme de los datos de estos mapas fue, por lo general, muy limitado, a menudo restringido a un número selecto de perfiles de suelos, los cuales se muestrearon en detalle. Aunque esta aproximación fue suficiente para proveer información cualitativa, pronto se volvió insuficiente como fuente detallada de datos cuantitativos, requeridos para sustentar decisiones de manejo del suelo y el ambiente.

En las décadas 1980 y 1990, la disponibilidad de computadoras y el desarrollo de los modelos de simulación de los procesos generaron la necesidad de datos cuantitativos, lo que estimuló la realización de estudios sobre la variabilidad espacial de las propiedades del suelo. Esto resultó en intensas y detalladas campañas de muestreos de suelos, complementadas con procedimientos avanzados de interpolación, proporcionados por el desarrollo en la geoestadística y los SIG. Todavía, a pesar del mayor poder de procesamiento, la mayoría de estos estudios siguen siendo univariados y 2-D. Solamente algunas excepciones exploraron las interpolaciones multivariadas (e incluso entonces, la mayoría permanecieron bivariadas) o incorporaron la tercera dimensión. En el futuro cercano, espero que esta evolución continúe hacia inventarios de suelos cuantitativos, multivariados en 3-D.

Nuevas y excitantes posibilidades ofrece la disponibilidad creciente de fuentes de datos auxiliares, a menudo con una completa cobertura, principalmente debido a la evolución en la georreferenciación basada en GPS y la tecnología de percepción. Las imágenes obtenidas a través de percepción remota están incrementando la disponibilidad en resoluciones espaciales más pequeñas y temporales. Ya no estamos lejanos de la situación donde vehículos aéreos civiles sin tripulación puedan dirigirse para examinar una área con una resolución del tamaño de una planta individual (como una remolacha o una patata). Estos se volverán un recurso poderoso de información para monitorear el desarrollo de los cultivos y la fertilidad del suelo. Además, la supervisión de cosechas, cada vez más frecuentes, proporciona mapas del rendimiento que representan el desempeño de los cultivos. En el presente, algunos agricultores tienen datos georreferenciados de cosecha de múltiples años de registro, lo que permite la validación de modelos dinámicos respuesta-cultivo. Los precisos modelos de elevación digital permiten obtener información detallada sobre la complejidad topográfica y son muy útiles para cuantificar las relaciones del paisaje y el suelo. Prometedores son los desarrollos en los sensores del suelo debido a que éstos pueden proporcionar información detallada acerca de numerosas propiedades del suelo, como salinidad, textura, pH, compactación, contenido de humedad, contenido de materia orgánica, etc. Puesto que algunos de estos sensores son no-invasivos, son flexibles para usarse y pueden proporcionar un mayor número de observaciones, más allá de la capacidad de los procedimientos tradicionales de levantamientos de suelos. En especial, medir las propiedades eléctricas del suelo parece ser prometedor para variadas aplicaciones. Sin duda, en un futuro cercano diversos tipos de sensores del suelo estarán disponibles y ofrecerán nuevas oportunidades.

Una fase importante de protección de datos y geo-procesamiento normalmente se necesita a priori para obtener información del suelo de estas fuentes auxiliares. Por ejemplo, Ping y Doberman (2005) documentaron a detalle los pasos de un diagrama de flujo para post-procesar datos de rendimiento en mapas útiles: protección, estandarización, interpolación, clasificación, filtrado e interpretación de datos. A veces, el número de éstos, del sensor disponible, podría ser aplastante, siendo mucho más grandes que la resolución requerida. Recientemente obtuvimos > 50 000 CE_a medidas dentro de un área de 50 por 60 m, donde nuestro mapa final necesitó una resolución de 0.5 por 0.5 m, lo cual resultó en cuatro veces menos celdas. Así, junto a técnicas de interpolación y estimación, también necesitamos métodos de filtración, procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones, para seleccionar los recursos más apropiados e integrarlos en un 3-D. Por lo tanto, se necesitarán técnicas matemáticas y estadísticas para manipular grandes cantidades de geo-datos, que permitan la reducción de éstos, así como de la modelación de corregeonizaciones múltiples, usando distintos números de observaciones y clasificaciones numéricas, para desarrollarse más allá y llegar a ajustarse al complejo sistema suelo.

En la actualidad, estamos en una transición, nos movemos de problemas relacionados con estrategias de muestreo e interpolación en condiciones de datos pobres, a la selección y filtrado de recursos múltiples de información cuantitativa auxiliar, complementada por un número limitado de observaciones directas del suelo. En resumen, creo que evolucionaremos de un pasado con tan pocos geo-datos a un

futuro con demasiados geo-datos. Como científicos del suelo deberíamos prepararnos para enfrentar este cambio y asegurar que tengamos el conocimiento y los métodos disponibles para tomar ventaja completa de esta nueva evolución y entender y manejar mejor nuestros suelos.

Referencias

Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. McGraw-Hill. New York. NY.

Ping, J.L. and A. Doberman. 2005. Processing of yield map data. Precision Agriculture 6: 193-212.



Ideas sobre el futuro de la ciencia del suelo

György Várallyay

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry (RISSAC) of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary. e-mail g.varallyay@rissac.hu

Los criterios más importantes para la calidad de vida son: alimentos saludables y de buena calidad, seguridad en alimentos, agua limpia y un agradable ambiente. Éstos están estrechamente relacionados con el uso racional de la tierra y el manejo sustentable de los recursos del suelo. El conocimiento de la sociedad sobre la calidad del suelo no está de acuerdo con el significativo papel multifuncional de los recursos del suelo.

El suelo es un recurso natural condicionalmente renovable; reactor, transformador e integrador de las influencias combinadas de otros recursos naturales (radiación solar, atmósfera, aguas superficiales y subterráneas, recursos biológicos), lugar de “interacciones-esfera”; medio para la producción de biomasa, alimentos, forrajes, materias primas industriales y energía alternativa; almacén de calor, agua, nutrimentos para plantas y, en algunos casos, desechos de varias fuentes; medio de alta capacidad amortiguadora, el cual puede prevenir o moderar las desfavorables consecuencias de variadas presiones ambientales o inducidas por el humano; filtro natural y sistema de desintoxicación, el cual puede prevenir de varios contaminantes superficiales a formaciones geológicas más profundas y aguas subterráneas; significativo reservorio de genes, un elemento importante de la biodiversidad; y conservador y portador de la herencia de la historia natural y humana.

En mi opinión, el futuro de la ciencia del suelo depende principalmente del conocimiento de la sociedad y la aceptación de estos hechos, como elementos necesarios para la calidad de vida. El conocimiento de la sociedad presionará los diferentes niveles de toma de decisiones para prestar atención particular y dar prioridad a los problemas económicos, ecológicos y sociales relacionados con el suelo. Expandir el concepto sustentabilidad a el uso de la tierra y el manejo del suelo es nuestra misión número uno. La multifuncionalidad del suelo está determinada por la influencia combinada de las propiedades del suelo, las cuales son resultado de los procesos del suelo. Todas las actividades humanas relacionadas con el suelo influyen en estos procesos, en consecuencia el principal reto de la ciencia del suelo contemporánea es el control de éstos y el manejo del suelo.

El control de los procesos del suelo puede ser: consolidar y ayudar a procesos favorables, como la acumulación de la materia orgánica, el desarrollo o mejoramiento de la estructura del suelo y las propiedades hidrofísicas; prevenir de procesos indeseables al suelo, como la degradación, la erosión por agua o viento, la salinización/sodificación, la degradación física (destrucción de la estructura, compactación), la degradación biológica, los regímenes extremos de humedad, el riesgo simultáneo de anegación o sobre humedecimiento y sensibilidad a las sequías, disminución de nutrimentos, la deficiencia o acumulación y toxicidad de uno o más elementos en el ciclo biogeoquímico, la contaminación ambiental: la acumulación o

movilización de varios elementos (o compuestos) potencialmente dañinos (o incluso tóxicos) en aire, agua, suelo o en la biomasa de varios organismos dentro de la cadena alimenticia suelo-agua-plantas-animales-seres humanos, con base en la alta probabilidad de pronósticos y predicciones; moderar procesos indeseables del suelo, reduciendo sus daños ecológicos e impactos ambientales al menos a un nivel tolerable; corregir de las consecuencias desfavorables de procesos indeseables (recuperación, remediación, mejoramiento).

Estos procesos son controlables sobre las base de bases de datos actuales, dando oportunidad de ampliar la información del suelo en forma puntual y al momento, y con mayor información precisa y exacta sobre los procesos del suelo, sobre la influencia de sus factores y sus mecanismos e interrelaciones. En mi opinión, en el futuro, algunas de las principales tareas de la ciencia del suelo son, como sigue: ampliar la información puntual (perfil-horizonte-muestra) de ciertos territorios (unidades cartográficas, campos agrícolas, regiones fisiográficas, aguas residuales), con la aplicación de los desarrollos modernos en geoestadística y sensores remotos (imágenes de satélite multiespectrales, etc.); ampliar la información al momento (muestreo, análisis de laboratorio, mediciones *in situ*) por un periodo más largo de tiempo (horas, días, semanas, meses, temporadas, años) aplicando la modelación; monitorear "*in situ*" o "en vivo" los procesos del suelo, tomando medidas de las características del suelo con sensores (CE, medidas de la humedad del suelo, electrodos ión-selectivos, etc.) para obtener una película del flujo de la solución del suelo en tercera dimensión y su variabilidad espacial y temporal; obtener más información sobre los mecanismos de las interacciones de fase para el entendimiento de los procesos de transformación y transporte físicos, fisicoquímicos y químicos en el continuo atmósfera-hidrosfera-pedósfera; obtener mayor información física, química y biológica sobre los microambientes de raíces de plantas (rizoplaneo) para la comprensión y cuantificación de los mecanismos de captación de agua y nutrientes, así como también, de las interacciones suelo-biota-planta; desarrollar bases de datos dinámicos actuales y sistemas de monitoreo; desarrollar, mejorar y verificar sistemas de avisos tempranos de probabilidad y pronóstico, para la predicción de procesos del suelo; crear posibilidades alternas y métodos para el control de los procesos del suelo con atención especial a la prevención de cambios indeseables, mediante la aplicación de nuevas tecnologías en producción de biomasa y protección ambiental.

Sinceramente, considero que la unión de nuestros esfuerzos para el desarrollo futuro de una ciencia del suelo multifuncional sustentable creará un conocimiento social de nuestro limitado recurso suelo y que obtendremos la oportunidad para realizar muchos de nuestros sueños y tareas establecidas convincentemente.



El futuro de la ciencia del suelo como una de las geociencias

Jerzy Weber

Agricultural University of Wrocław, Institute of Soil Science and Agricultural Environment Protection, Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław, Poland. e-mail: weber@ozj.ar.wroc.pl or jerzyweber@up.p.l

Desde tiempos ancestrales, la humanidad ha considerado al suelo como un sistema de soporte de vida, crucial para la producción de alimentos. Aunque la importancia del suelo fue bien reconocida, naturalistas y científicos de la tierra ignoraron al suelo, hasta la segunda mitad del siglo XIX, cuando V.V. Dokuchaev, en Rusia, y E.W. Hilgard, en EUA, desarrollaron nuevas ideas sobre la naturaleza y origen de los suelos. Desde ese tiempo, nuevos hallazgos contribuyeron significativamente al conocimiento global del suelo y su manejo. En especial, las investigaciones de suelos en las últimas décadas resultaron en espectaculares logros, ayudando a la alimentación de la población en rápido crecimiento. Sin embargo, la ciencia del suelo es una disciplina joven y hay lugar para nuevas aplicaciones de las leyes básicas de la física y la química. Por otra parte, también la ciencia del suelo puede mejorar el conocimiento básico.

El objetivo de la ciencia del suelo no es sólo responder preguntas cómo las plantas crecen en el suelo, cómo éstas obtienen sus nutrientes o por qué los suelos son muy diferentes. Los efectos interactivos del manejo del suelo sobre el ambiente deberían también definirse bien, debido a la eutricación del agua subterránea o la contaminación con xenobióticos. Los suelos son un transformador, regulador, amortiguador y filtro de agua, nutrientes y otros compuestos disueltos y dispersos. La dinámica biogeoquímica del carbono y los aspectos del ciclo del agua continúan siendo los puntos focales. El ciclo del carbono en el suelo es el vínculo más importante entre los procesos biogeoquímicos de la tierra y la atmósfera. Todas estas circunstancias indican que el suelo tiene que considerarse como una parte integral del ambiente y los científicos del suelo tienen que enfocarse en el origen y la distribución de los suelos, en relación con la historia de los sistemas terrestres. Esto es fundamentalmente importante para entender y predecir los efectos de la actividad humana en el ambiente, incluyendo la pedodiversidad y la biodiversidad, y para integrar nuestro conocimiento dentro de una visión holística de las transformaciones dinámicas y biogeoquímicas de la Tierra. Además, los suelos se están volviendo más y más importantes para la reconstrucción de paleoambientes, p. ej. en la arqueología y el cambio global. Los suelos antiguos y enterrados son uno de los mejores apoyos para reconstruir climas pasados y el desarrollo del paisaje. Finalmente, los científicos del suelo pueden ser útiles para proporcionar explicaciones sobre datos de regolita y materiales obtenidos en la exploración espacial.

Los científicos del suelo tienen que cooperar con otros especialistas, especialmente geocientíficos. Muchos de los 50 000 científicos del suelo trabajan en instituciones agronómicas, estudiando la composición y la dinámica de los suelos y su posibilidad para incrementar su productividad. Alrededor del mundo, a menudo, la

ciencia del suelo se conecta con la agricultura. Esto es desventajoso para la ciencia del suelo y las geociencias. La ciencia del suelo está experimentando una reorientación, de aspectos principalmente agrícolas y de productividad del suelo, a problemas ambientales. Al mismo tiempo, los departamentos de ciencia del suelo en algunas universidades transformaron sus nombres en ciencias ambientales o protección ambiental de los recursos naturales. Esta es una tendencia natural, conectada con modificaciones del objetivo principal de la pedología, apuntada para explicar la naturaleza y génesis de los suelos como un recurso natural y parte del sistema Tierra. La ciencia del suelo no se percibió entre las geociencias y estuvo en una especie de aislamiento por años.

Sucede a veces que los suelos son objeto de estudio de investigadores que no están plenamente preparados para elucidar los fenómenos y procesos del suelo. Esta situación ha cambiado desde que la European Geosciences Union (EGU) se fundó, en 2002. Esta nueva sociedad interdisciplinaria se estableció por fusión de la European Geophysical Society (EGS) y la European Union of Geosciences (EUG).

La EUG es una organización dinámica, innovadora y no lucrativa que reúne, principalmente, geólogos, mineralogistas, geofísicos, hidrólogos, climatólogos y otros científicos involucrados en diferentes campos de las ciencias de la tierra y planetaria, incluyendo el espacio. Una de las unidades de la EUG está dividida en Soil System Sciences (SSS), la cual reúne científicos del suelo a través del globo en el seguimiento, estudio y entendimiento de la distribución, el comportamiento y manejo del suelo (www.copernicus.org/EGU/EGU.html). La Soil System Sciences Division no se propone ser una organización científica europea que coordine sociedades nacionales de la ciencia del suelo, sino que es una unidad de representación de la ciencia del suelo entre otras geociencias, organizadas en la estructura de la European Geosciences Union. Diversas sociedades nacionales (Polish Soil Science Society, Soil Science Society of America, Italian Soil Science Society) expresaron un interés para crear una estrecha cooperación con la SSS. La actividad científica de la SSS es organizar una estructura con los siguientes comités:

- Intemperismo, mineralogía y micromorfología del suelo;
- Materia orgánica del suelo e interacciones órgano-minerales;
- Morfología y génesis del suelo, y regolita;
- Física de suelos;
- Conservación de suelos;
- Ciclos químicos y biogeoquímicos del suelo;
- Biología, microbiología y biodiversidad del suelo;
- Contaminación, degradación y remediación del suelo;
- Suelo, interacciones ambiente y ecosistema;
- Suelo como un registro del pasado.

Desde 2004, cada año, la SSS está organizando sesiones que tratan diversos aspectos de pedología. En abril de 2006, en la EGU reunida en Viena, se presentaron más de 400 documentos, incluyendo sesiones preparadas conjuntamente con las Ciencias Hidrológicas y las Biogeociencias. La división de la Soil System Sciences de la EGU instituyó una medalla en reconocimiento de los avances científicos de Philippe

Duchaufour, asignado por la European Geosciences Union para distinguir las contribuciones a la ciencia del suelo, definido en su más amplio sentido. La Medalla Philippe Duchaufour se otorgó en 2005 a U. Schwermann, de Munich, Alemania, y en 2006 a E.A. FitzPatrick, de Aberdeen, Escocia.

La estrecha cooperación de la ciencia del suelo con otras geociencias es fundamental para su futuro. Por un lado, enriquecerá un intercambio de ideas, consideradas a veces desde diferentes puntos de vista. Por el otro, los científicos del suelo pueden contribuir significativamente a estudios ambientales. Esta cooperación promovería nuevos progresos en el conocimiento de los sistemas de la Tierra, para futuros beneficios de la comunidad de las geociencias.



Algunas reflexiones sobre el futuro de la ciencia del suelo

Gerd Wessolek

Technical University Berlin, Institute of Ecology, Dep. of Soil Protection, Salzuffer 12, D-10587 Berlin, Germany. e-mail gerd.wessolek@tu-berlin.de

Muchos problemas relacionados con el suelo se conocen bien dentro de los círculos académicos, y la actitud general hacia el suelo, como un bien común, está cambiando gradualmente. Los problemas actuales que enfrenta la comunidad de la ciencia del suelo se discuten durante las reuniones científicas nacionales e internacionales, y ‘preguntas abiertas’ son puntos de inicio para nuevas propuestas de investigación del suelo.

Para resumir los retos futuros de la ciencia del suelo, iniciaría con un simple buscador Google, usando las palabras clave “futuro, ciencia del suelo y problemas científicos”. Aunque mi búsqueda obtendrá cientos de miles de ligas por todo el mundo, una cosa es cierta – donde quiera que los recursos naturales sean de interés, algunos autores serán temerosos y otros complacientes. Los problemas son complejos porque la sociedad misma es compleja y el alcance y los efectos de las demandas humanas sobre los recursos naturales son extraordinariamente grandes.

Hace veinte años fui invitado al International Dahelm Workshop on Resources and World Development, en Berlín, Alemania. El objetivo del taller fue evaluar la energía, los minerales, el agua y otros recursos naturales, y examinar las influencias (ambiental, tecnológica, económica, política y demográfica) que afectarían su disponibilidad y uso en los próximos cincuenta años. Mirando atrás, en el taller y hojeando a través de las 940 páginas de su largo informe, fue claro para mí que todos los temas de la conferencia de Dahelm todavía son pertinentes hoy. El calentamiento global, por ejemplo, se ha vuelto un problema prevaleciente de interés público y discusión política. La pregunta de si los indicadores significantes del calentamiento global existen o no ya no se discute hoy. De hecho, los científicos del suelo están trabajando activamente en consecuencias regionales del calentamiento global, mientras compañías de seguro e incluso productores de películas están descubriendo nuevas posibilidades para obtener provecho del cambio climático.

En comparación con los problemas discutidos hace veinte años, tengo la impresión de que dos problemas, en particular, se han vuelto más severos. El primero es la valoración de los recursos energéticos renovables y no renovables. Nuestra civilización fósil-combustibilizada y el calentamiento global antropogénico indujeron a la pregunta crítica: ¿hasta qué punto deberíamos preocuparnos? En este contexto, estoy seguro de que el uso del suelo para producir energía (y no alimentos!) se volverá un importante tema de discusión. Sin embargo, los requerimientos paralelos de combustible y producción de alimentos, a partir de plantas, llevarán a la nueva escasez de tierra disponible y recursos del suelo en muchos países.

El segundo problema conduce a una dirección similar – los cambios en el ambiente surgen del uso de los recursos. Por ejemplo, podemos observar una demanda

mundial creciente de tierra para vivienda, asentamientos e infraestructura, como resultado del crecimiento urbano. Sin embargo, no hay instrumentos políticos, económicos o de planeación para mejorar el consumo del suelo. Hasta ahora, los científicos todavía son incapaces de proveer un camino concreto para rescatar las funciones importantes del suelo o para dar una respuesta clara de cuánto suelo abierto (no sellado) se necesita para cubrir los importantes procesos ecológicos. Además, los problemas incluyen: el problema de dióxido de carbono, el consumo de nitrógeno y fósforo para la producción de alimentos, el incremento de desechos, la distribución de los recursos agua y la pérdida permanente de recursos naturales y fauna.

¿Podemos realmente resolver estos problemas con instrumentos legislativos? Aunque en Alemania durante una década, hemos tenido leyes para la protección del suelo, muchos problemas acerca de éste y el ambiente permanecen más o menos sin resolver.

Por último, me gustaría reflejar algunas ideas acerca de la imagen del suelo que tienen científicos del no-suelo. Para algunas personas el suelo es sólo otra expresión de sucio. Más que nadie, los científicos del suelo reconocemos que éste cubre múltiples funciones ecológicas y es esencial para nuestra civilización, herencia cultural y religiones (Bechmann, 2001). Esta inmensa importancia es confrontada con un muy pobre sentido de protección y una falta de interés en cuestiones ecológicas que incumben al público en general. Consecuentemente, sugiero introducir el conocimiento del suelo en los programas de educación nacionales. Para este propósito, es esencial capacitar a los científicos del suelo en la didáctica de éste e integrar dicho conocimiento dentro de libros escolares. Esta es la mejor posibilidad para darle al campo de la ciencia del suelo una mejor perspectiva.

Otro aspecto que concierne a nuestra disciplina es la necesidad de dar al suelo una nueva, más actual imagen en adición a su incuestionable importancia ecológica. Un camino conveniente sería la simbiosis del suelo, la estética y el arte. Diferentes aproximaciones para tratar estéticamente con el suelo se han desarrollado a escala mundial. Para empezar, muchos proyectos suelo-arte de los años sesenta y setenta fueron muy exitosos, pero no se unieron directamente con el suelo. Un mejor ejemplo es el *Museonder*, en Holanda. Desarrollado para propósitos didácticos, este museo se construyó dentro del suelo y está integrado dentro del parque nacional “De Hoge Valuwe”. Además de los aspectos científicos de la exhibición, se establecieron conexiones entre el suelo y el mundo exterior. Utilizando a la tierra como un lugar natural de materiales para anclar construcciones, la arquitectura es el mejor ejemplo del uso estético del suelo. En Berlín, el arquitecto Martín Rauch modernizó los métodos tradicionales de construcción con arcilla.

El uso de medios audiovisuales ha abierto un campo inagotable de representación del suelo. Un ejemplo es la película documental “*Memory of the Soil*” del productor japonés Shiozaki Toshiko. Su propuesta es visualizar la belleza del suelo y fascinar a los espectadores con la gran memoria del mismo, sus indicios de vida y cultura, y el infinito número de colores y estructuras. El Internet también es un nuevo medio versátil para la representación del suelo. Por ejemplo, el Chicago Field Museum da un recorrido virtual de su interesante exhibición del suelo. Uno puede visitar

estaciones individuales en línea y evocar películas cortas e información explicativa acerca de aspectos especiales de la ciencia del suelo, como microorganismos, etc.

Muchas aproximaciones de combinaciones de suelo, arte y didáctica son posibles. Mi visión es “colectar” tantas ideas como sea posible para estimular un mayor entendimiento y la aceptación del suelo en una comunidad más amplia. De esta manera, el suelo también sería un tema para el arte del paisaje y la arquitectura.

Referencias

- Bachmann, G. 2001. Terra preciosa: Böden und ihre Wahrnehmung in Kunst und Kultur. <http://www.bodenwelten.de/bodenframe.html>. (in German).
- McLaren, D. J. and B. J. Skinner (eds.). 1987. Resources and World Development. Dahlem workshop report No. 6. A Wiley Interscience.
- The Field Museum in Chicago. 2003. Underground Adventure.
- Wessolek, G. 2002. Art and soil. Newsletter of the Committee on the History, Philosophy, and Sociology of the SSSA 10: 14-16.



*símbolo alquimista
para la tierra*

El futuro de la ciencia del suelo

Markku Yli-Halla

Department of Applied Chemistry and Microbiology, University of Helsinki, Finland. e-mail markku.yli-halla@helsinki.fi

La ciencia del suelo es una ciencia madura. Como ninguna revolución científica probablemente ocurrirá en el futuro previsible, la ciencia del suelo continúa con sus paradigmas presentes. Los adelantos científicos son enmendaduras a las teorías actuales y ayudan a entender la función del suelo con mayor comprensión. Con frecuencia, las enmendaduras emergen donde las teorías presentes se aplican a nuevos ambientes y tipos de problemas y de la interacción entre la ciencia del suelo y otras ciencias. A falta de nuevas teorías principales, la educación de la ciencia del suelo incluirá la transferencia de conocimiento tradicional a las nuevas generaciones.

La ciencia del suelo tiene diferentes tareas en aumento en los países en vías de desarrollo y en el rico mundo industrial. En los países en vías de desarrollo, la ciencia del suelo continuará enfocada en la agricultura, el mantenimiento y el mejoramiento de la fertilidad del suelo y la producción de alimentos. Por lo tanto, en esa parte del mundo, la ciencia del suelo continuará estando en estrecha colaboración con las ciencias de producción de plantas. Debido a la escasez ocasional o crónica de alimentos, allí la justificación de la ciencia del suelo no se cuestionará. Sin embargo, a menudo, los trabajos científicos serán severamente limitados por la carencia de infraestructura y recursos materiales.

Por lo general, el mundo industrial es abundante en alimentos. En estos países, la fertilidad del suelo está usualmente incrementada y los nutrientes del suelo, en particular nitrógeno y fósforo, con frecuencia se consideran como causantes de problemas ambientales, como la eutricación del agua. Esta actitud y los consecuentes cambios en las prioridades de los fondos de investigación continúan forzando a la ciencia del suelo a ampliar su visión y reconsiderar sus objetivos de trabajo. Mientras se cuida la condición del suelo de las restantes tierras agrícolas, como una valiosa tarea entre científicos del suelo también en los países industriales, la ciencia del suelo cambiará a investigar otros usos de suelo y se transformará en una ciencia ambiental más general. En esta área, otras ciencias de la tierra, como geología del suelo, ecología e ingeniería ambiental, las cuales son más conocidas para habitantes de la ciudad, competirán con la ciencia del suelo por tener el privilegio de resolver los nuevos problemas relacionados con el suelo. Las múltiples funciones del suelo y las relaciones entre el suelo y la sociedad se han publicado dentro de la ciencia del suelo, como lo indican los títulos de muchas conferencias y abundantes libros de texto llamados ciencia de suelo *ambiental*. Sin embargo, este cambio todavía no está siendo reconocido o admitido fuera de nuestra propia comunidad científica. Mientras en la actualidad más científicos del suelo tienen antecedentes e identidad agrícola, nuestros futuros colegas tienen que ser más urbanos para adaptarse al contexto cambiante de nuestra ciencia. Ésta se diferencia mucho de otras ciencias naturales, como la biología, la química y la física que son parte regular de la educación en las escuelas. En consecuencia, la gente

tiene buenos conocimientos en otras ciencias naturales pero sabe muy poco acerca de los suelos. Aunque, probablemente, la ciencia del suelo nunca conseguirá el mismo estatus que las otras ciencias mencionadas, ésta debería incorporarse en los cursos de ciencias naturales de las escuelas, más que en la actualidad. Si se tiene éxito, este intento ayudará a atraer graduados calificados de la preparatoria para ganar oportunidades de trabajo dentro de la ciencia del suelo e inscribirse a programas de estudio sobre la misma.

En las universidades e institutos de investigación, los pocos departamentos en ciencias del suelo que todavía existen continúan fusionándose con otros departamentos, como ciencias ambientales o recursos naturales. Por consiguiente, la ciencia del suelo pierde visibilidad en el mapa organizacional. Dentro de las organizaciones multidisciplinarias, la ocupación de cada puesto que llegue a estar vacante tiene que justificarse, no por la importancia general de la ciencia como tal, sino por la productividad esperada del campo. Con frecuencia, ésta es juzgada simplemente por los factores de impacto de las revistas donde se publican sus artículos, un criterio desventajoso para ciencias pequeñas. Los sucesos futuros de la ciencia del suelo dependen en gran escala de cómo podemos cooperar en organizaciones de investigación multidisciplinarias, incorporar nuestras ideas en sus programas de investigación y darnos a conocer como expertos con calificación única para manejar problemas relacionados con suelos de todos los ambientes. La ciencia del suelo florecerá si hacemos mención de temas que también sean de importancia fundamental fuera de nuestra pequeña comunidad científica. Después de todo, la fusión de los departamentos de ciencias del suelo con aquéllos de otras ciencias puede ayudar a cruzar las brechas entre las ciencias.

Necesitamos incrementar la comunicación con políticos, administradores, expertos de diferentes campos científicos y el público en general, acerca de las funciones del suelo en un sentido entendible, sin jerga, y hacer la información del suelo disponible para aquellos que la necesiten. Está surgiendo un mayor interés hacia el suelo y sus múltiples funciones; por ejemplo, para la EU Directive of Soil Protection, hacer uso de bases de datos, sistemas de información geográficos y reglas de pedotransferencia, y la generación de mapas temáticos de suelos es esencial para responder a las nuevas demandas.

La ciencia del suelo está bien equipada para abordar retos como la crisis mundial de alimentos, el cambio global y cualquier problema relacionado con el suelo que pueda surgir en el futuro. Estamos viviendo con la atención de la economía y está en nosotros mismos hacer que otros conozcan que la ciencia del suelo hace diferencia para todos y es capaz de resolver problemas de la sociedad moderna. La World Soils Agenda, una resolución del 17th World Congress of Soil Sciences, en Bangkok, en 2002, da guías útiles.



Procesos biológicos en la rizosfera: una frontera en el futuro de la ciencia del suelo

Fusuo Zhang

Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Key Laboratory of Plant-Soil Interactions, Beijing 100094, P.R. China. e-mail zhangfs@cau.edu.cn

El suelo es una parte esencial de la biósfera y la base para los plantíos de la tierra los cuales son el enlace entre los elementos orgánicos y las plantas a través del flujo de nutrimentos en la cadena alimenticia. El sistema suelo-planta es uno de los componentes más importantes de los ecosistemas naturales y agrícolas. La dinámica de los nutrimentos en el sistema suelo-planta no sólo refleja el patrón del flujo de nutrimentos, sino también la influencia en la producción de alimentos y la calidad y el camino de los contaminantes en los ecosistemas naturales y agrícolas.

En los sistemas suelo-planta, la rizosfera no es sólo una interfase entre las raíces y los suelos de una planta individual, sino también es el centro de interacción entre plantas, suelos y microorganismos; y regulación de las comunidades de plantas, procesos de adaptación y su ambiente de desarrollo (Marschener, 1995; Zhang y Shen, 1999a, b; Zhang *et al.*, 2002). Por lo tanto, los procesos de la rizosfera deberían considerarse como importantes procesos ecológicos en los ecosistemas suelo-planta (Rovira, 1991). Sin embargo, la planta, el suelo y los componentes microbianos del ecosistema suelo-planta, comúnmente se han considerado en forma aislada uno de otro, como las relaciones entre las partes de encima y dentro de la tierra.

En la ciencia del suelo, los científicos se han interesado por el desarrollo y funciones de los suelos por las cuales grandes cantidades de sustancias orgánicas son producidas, y de esto se han hecho muchos progresos en física, química y biología de suelos. No obstante, es limitada la información disponible sobre interacciones biológicas en relación con la utilización eficiente de nutrimentos y el ciclo de los nutrimentos, incluyendo la interacción entre tallos y raíces de plantas, raíces de plantas y organismos del suelo, y también entre varios grupos de microorganismos. El ecosistema rizosfera puede definirse como un ecosistema de transferencia de energía, ciclo de materiales y transmisión de información generada por interacciones entre plantas, suelos, microorganismos y sus ambientes (Zhang y Sheng, 1999a). De acuerdo a este punto de vista, el ecosistema rizosfera se caracteriza por componentes multi-nivel ordenados desde niveles moleculares, individuales hasta comunidades. Las plantas juegan un papel importante en la interacción entre plantas, suelo, microorganismos y su ambiente, debido a las entradas, como carbono, de masa y energía al sistema, como lo propusieron Whipps y Lynch (1986) y Marschener (1995).

En el ecosistema rizosfera, las plantas (productoras) proveen el carbono orgánico requerido para el funcionamiento de los microorganismos de la rizosfera (descomponedores) y los recursos para los organismos asociados a la raíz, como herbívoros, patógenos y mutualista simbióticos. Las plantas, vía raíz, exudan y liberan compuestos específicos que afectan la composición y estructura de la comunidad de la rizosfera (Marschner, 1995). Los microorganismos en turno descomponen materiales

de las plantas, como los exudados de la raíz y los residuos de raíz y paja, e indirectamente modifican el desarrollo de las plantas y la composición de su comunidad, determinando el suministro de nutrientes disponibles en el suelo. Los organismos asociados a la raíz influyen en la dirección y calidad de energía y el flujo de nutrientes entre plantas y descomponedores. La exploración de los procesos de la interfase raíz-suelo a niveles individuales, de población y ecosistema, es un área desafiante que atrae mucha atención y requiere mayor consideración de las interacciones biológicas en la rizosfera y también entre los componentes de la parte de arriba del suelo y debajo del suelo, así como sus relaciones.

En el sistema suelo-planta, los procesos de la rizosfera son el enlace entre los procesos de la planta y del suelo y, en cierta forma, determinan el intercambio de materia y energía entre ellos, y así afectan la productividad de los cultivos o la estabilización del ecosistema (Zhang et, al., 2002). Ahora, hay un reconocimiento creciente de la influencia de estos componentes entre sí y el papel fundamental jugado por la regeneración por encima y debajo de la tierra, el diálogo cruzado de plantas a plantas, raíces a microorganismos, microorganismos a microorganismos en los suelos, en la regulación de los procesos y propiedades de los ecosistemas.

Por lo tanto, es muy importante, para optimizar la producción de plantas o la estabilidad del ecosistema, entender las interacciones de la rizosfera, particularmente los mecanismos del flujo de nutrientes relacionados con los procesos biológicos de la rizosfera en los sistemas suelo-planta. Por estas razones, el manejo de los ecosistemas de la rizosfera y sus procesos hacia el desarrollo sustentable del sistema suelo-planta puede ser una de las oportunidades más importantes para ampliar la eficiencia del uso de los nutrientes y la productividad de los cultivos en varios sistemas, y también para mantener la biodiversidad y la estabilización de ecosistemas naturales (Zhang y Shen, 1999a).

Uno de los mayores objetivos de la ciencia del suelo debería estar enfocado al estudio de los efectos de varios procesos biológicos en la rizosfera. Debería ponerse mayor énfasis en los siguientes aspectos para resolver preguntas complejas, concernientes a interacciones biológicas en los suelos, particularmente en la rizosfera, en asociación con el eficiente uso de nutrientes y el flujo de energía:

- Procesos biológicos inducidos en la rizosfera de plantas e interacciones entre varios organismos en ésta, en asociación con el uso eficiente de nutrientes, la productividad de planta y estabilización del ecosistema;
- Mecanismos de las interacciones entre la parte superficial del suelo y la regeneración de la parte debajo de la tierra, en relación con la biodiversidad y el flujo de nutrientes;
- Mecanismos interactivos de relaciones bióticas relacionados con factores abióticos para conducir estructuras de comunidades y la función y prioridades del ecosistema.

Referencias

- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition in Higher Plants. Academic Press. London.
- Rovira, A.D. 1991. Rhizosphere research-85 years of progress and frustration. pp. 3-13. *In*: D.L. Keister and P.B. Cregan (eds.). The rhizosphere and plant growth. Kluwer Academic Publishers.
- Whipps, J.M. and J.M. Lynch. 1986. The influence of the rhizosphere on crop productivity. *Advances in Microbial Ecology* 9: 187-244.
- Zhang, F. and J. Shen. 1999a. Progress in plant protection and plant research. pp. 458-469. *In*: Research progress in plant protection and plant nutrition. China Agriculture Press. Beijing, China.
- Zhang, F. and J. Shen. 1999b. The preliminary development of the theoretical concept of rhizosphere ecosystem and its research emphasis, *J. China Agri. Sci. Technol* 4: 15-20.
- Zhang, F., J. Shen, and Y. Zhu. 2002. Nutrient interaction in soil-plant systems. pp. 885-887. *In*: R. Lal (ed.). Encyclopedia of soil science. Marcel Dekker. New York, NY, USA.



El futuro de la ciencia del suelo

Jianmin Zhou

Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. e-mail jmzhou@issas.ac.cn

Los suelos son el recurso más fundamental y no renovable que se considera por la comunidad política internacional, con creciente importancia, en los problemas del mundo desarrollado, como seguridad en alimentos, protección del ambiente, alivio de la pobreza, restauración de tierras deterioradas y mantenimiento de la estabilidad del ecosistema (Word *et al.*, 2000). Sin embargo, la ciencia del suelo no tiene la prominencia y visibilidad en el mundo desarrollado como las disciplinas económicas y otras. La manera como los científicos del suelo comunican su conocimiento fracasa al dirigirse a muchas de las necesidades de la comunidad política internacional, donde se toman las mayores decisiones sobre la agricultura y el ambiente (Sánchez, 2002). Con el desarrollo de la sociedad, la ciencia del suelo jugará un papel más y más importante, y enfrentará una demanda creciente del ser humano. En ritmo con el adelanto de otras disciplinas de la ciencia y la aplicación de las nuevas tecnologías, la ciencia del suelo obtendrá la fuerza motriz para su desarrollo. Las investigaciones del suelo se ampliarán, de la producción en agronomía y la pedología básica, a un carácter más multifuncional que abarque producción, bienestar del humano y funciones del ecosistema (Bridges y Catizzone, 1996). Por consiguiente, los científicos del suelo enfrentarán retos más severos, hacer que la ciencia del suelo se convierta en el principal jugador en el futuro desarrollo mundial (Sánchez, 2002).

Pedósfera y otras esferas

El suelo no sólo es el producto de la interacción entre la litosfera, hidrosfera, atmósfera y biosfera, sino también el pivote del reciclado de materiales e intercambio de energía entre estas esferas. El suelo juega un papel muy importante en el mantenimiento de la vida y la salud de todos los ecosistemas sobre la tierra. La pedósfera queda en la interfase de la litosfera, hidrosfera, atmósfera y biosfera. Por lo tanto, la ciencia del suelo futura debería poner más atención en el estudio sobre reciclado de materiales y el intercambio de energía entre la pedósfera y las otras esferas. Las investigaciones se enfocarán principalmente en i) la influencia del uso intensivo de la tierra en el flujo de los gases invernadero y de la atmósfera, ii) el intercambio de elementos nutritivos en el sistema suelo-planta y su efecto en el desarrollo de las plantas y calidad de los productos, iii) el ciclo del agua y el movimiento de solutos entre la pedósfera y la hidrosfera y su efecto en la calidad del agua terrestre, y iv) los cambios dinámicos de la calidad del suelo y su efecto en la biodiversidad y el balance ecológico de éste.

La agricultura y el ambiente

Hoy, la gente todavía está enfrentando la amenaza de la seguridad en alimentos, puesto que la población se incrementa, especialmente en los países en vías de desarrollo. Con la rápida urbanización e industrialización, el área de las tierras de cultivo está

disminuyendo. La producción de cereal depende del incremento de los rendimientos por unidad de tierra para garantizar la seguridad en alimentos. Como resultado, las tierras cultivadas en los países en vías de desarrollo deben mantenerse en uso intensivo, y son inevitables grandes entradas de agroquímicos para mantener altos rendimientos. Este uso intensivo de la tierra afectará el ambiente. Aunque nuevas técnicas se desarrollen y apliquen para incrementar la eficiencia en el uso de los fertilizantes y otros químicos, como pesticidas, es imposible evitar el efecto negativo de éstos en el ambiente. Cómo mantener el balance óptimo entre la agricultura, el desarrollo económico y la protección ambiental es una pregunta clave. La ciencia del suelo debería proporcionar la teoría, la tecnología y las mediciones para resolver éstos problemas a diferentes escalas.

Biodiversidad y genómicos

El suelo es el más grande hábitat de organismos y puede ser el mayor refugio de la biodiversidad no descubierta de nuestro planeta. Por lo tanto, el suelo es la más importante reserva de genes, con más biota en diversidad y cantidad de especies que toda la biomasa encima de la tierra del globo (Blum, 2002). Las características de biodiversidad del suelo, los procesos de evolución en diferentes regiones y las prácticas de manejo nos ayudarán a investigar los factores que controlan la distribución y abundancia de los miembros de la comunidad microbiana del suelo y entender cómo estas comunidades cambian con el tiempo, en respuesta a su ambiente. De acuerdo con el rápido progreso en biología y biotecnología, la biología del suelo tiene perspectivas. El aprovechamiento y la aplicación de los recursos de los organismos del suelo y sus funciones tienen gran potencial en el futuro. Los genómicos del suelo y los metagenómicos se volverán un área muy activa en la ciencia del suelo. Los microorganismos funcionales y nuevos genes se aplicarán a diferentes aspectos en la producción agrícola, la salud humana y la protección ecológica.

Calidad del suelo

Una característica sobresaliente del cambio en la calidad del suelo es la perturbación de actividades humanas. El mantenimiento y protección de la calidad del suelo bajo un uso intensivo de la tierra y las condiciones de un rápido desarrollo económico se vuelven más y más desafiantes. Para enfrentar el cambio en la calidad del suelo, la investigación regular y la detección sucesiva de esta calidad, es necesario evaluar la degradación de la tierra y sus tendencias. Los datos de calidad del suelo no sólo contienen datos de fertilidad del suelo, sino también índices que reflejan la salud ambiental y humana. La selección de índices apropiados para describir la calidad del suelo necesita estudios más extensos. Debería ponerse atención a los diferentes procesos de degradación y medidas de remediación correspondientes, incluyendo los desequilibrios nutrimentales del suelo y la fertilización racional, la contaminación del suelo y la biorremediación, la erosión del suelo y la conservación, y la aleopatía del suelo y los mecanismos para evitarla. La descripción cuantitativa y digital de los procesos cambiantes de la calidad del suelo posiblemente se realizarán por medio de modernas tecnologías de información y bancos de datos y redes a nivel mundial (Mermut y Eswaran, 2001).

La ciencia del suelo a la escala micro

El estudio de los suelos de carga variable y sus efectos en la transformación y transportación de diferentes elementos son muy importantes puesto que estos suelos están distribuidos extensamente en los trópicos y subtropicos. Las teorías básicas de suelos se originaron de los estudios en suelos de carga constante, por lo tanto no todos los fenómenos en suelos con carga variable pueden explicarse por las teorías tradicionales. La energía ligada a diferentes partículas probablemente determina la estabilidad de los sistemas suelo. Las interacciones entre los constituyentes del suelo, como los minerales, la materia orgánica, los microorganismos y varios elementos y sus efectos en la fertilidad del suelo y el ambiente, necesitan entenderse con mayor profundidad. El comportamiento de los nutrimentos y los contaminantes en la rizosfera es diferente respecto del suelo grueso, mientras que la mayoría de las transformaciones de los nutrimentos en los fertilizantes usualmente toma lugar en la interfase entre las partículas de fertilizante y el suelo. Por lo tanto, la investigación sobre la transformación y el movimiento de las sustancias del suelo en la rizosfera y las interfases entre fertilizantes y el suelo es importante.

Referencias

- Blum, W. E. H. 2002. The role of soils in sustaining and the environment: realities and challenges for 21st century. pp. 67-86. *In*: 17th WCSS. Bangkok.
- Bridges, E. M. and M. Catizzone. 1996. Soil science in a holistic framework: discussion of an improved integrated approach. *Geoderma* 71: 275-287.
- Mermut, A. R. and H. Eswaran. 2001. Some major development in soil science the mid-1960. *Geoderma* 100: 403-428.
- Sanchez, P. A., 2002. Soil science as a major player in world development. pp. 55-64. *In*: 17th WCSS, Bangkok.
- Wood, S., K. Sebastian, and S. J. Scherr. 2002. Pilot analysis of global ecosystem: Agroecosystems. International Food Policy Research Institute and World Resources Institute. Washington, DC.



Epílogo

Alfred Hartemink

ISRIC – World Soil Information, PO Box 353, 6700 AJ, Wageningen, The Netherlands. e-mail alfred.hartemink@wur.nl

Este libro expresa la visión de 55 científicos del suelo de 28 países – de Finlandia a Sud-África, de Canadá a Ghana, Malasia y China, sobre el futuro de la ciencia del suelo. Este documento trata tanto sobre el futuro de la ciencia del suelo, como del pensamiento actual acerca de ese futuro. Aquí está algún pensamiento posterior, desequilibrado y torcido quizás, pero en cualquier libro se necesita una síntesis, en la que la duplicación de ideas no puede evitarse al editarlo.

Ciertamente, las visiones difieren – en enfoque y contenido. Algunas son listas de compras muy detalladas de oportunidades y actividades; otras son miradas atrás y extrapolaciones hacia el futuro cercano. Algunas son globales, otras apenas piensan fuera de su laboratorio, universidad, país de origen o la propia subdisciplina. Algunas son técnicas y se enfocan sobre la rizosfera o elegantes tecnologías; otras son generales y pueden aplicarse a muchas ciencias naturales. Son reflexivas, introspectivas, defensivas, responden a un cambio; unas cuantas padecen un poco de indulgencia de sí mismas o de cultos ancestrales. En resumen, las visiones sobre el futuro de ciencia del suelo no son homogéneas (agradezco la bondad), pero no puede negarse que algunas se aíslan de la chispa más ligera del pensamiento original. Permitámonos dar una mirada a algunas de las diferencias y similitudes.

Algunas similitudes y diferencias

Hay temas o asuntos comunes. El primero, planteado en la gran mayoría de las visiones, es que la ciencia del suelo no puede trabajar en aislamiento, necesita ser parte de equipos multidisciplinarios o interdisciplinarios y debería extender la mano a otras disciplinas. Esto ya está pasando en muchas instituciones y países, lo que trae consigo algunas preocupaciones sobre la identidad de la ciencia del suelo y cómo debería salvaguardarse. El problema de identidad normalmente se une al segundo punto que la mayoría de las visiones sostuvieron: la ciencia del suelo ha sido deficiente para comunicar sus éxitos y varios autores creen que necesita aumentarse la interacción con los políticos y el público en general.

Mucha gente piensa temáticamente; es decir, que la ciencia del suelo puede contribuir en problemas globales mayores como, por ejemplo, la producción de alimentos y los estudios del cambio climático o impacto ambiental. Hay alguna relación entre las visiones de una persona particular y su ubicación. Las contribuciones del oeste de Europa o los EUA presionan por una necesidad de integración de la ciencia del suelo dentro, por ejemplo, de estudios ambientales y que la ciencia del suelo necesita ir más allá de la agricultura, como Baveye y muchos otros puntualizan. Alrededor de una docena de las 55 contribuciones es de científicos del suelo que trabajan en países en vías de desarrollo y la mayoría de ellos enfatizan la importancia de la ciencia del suelo en la creciente producción de alimentos y su vínculo con la

agricultura. Aquéllos que antes estuvieron trabajando en países en vías de desarrollo (ej. Eswaran y Lal) también hacen énfasis en estos aspectos. La capacidad de la ciencia del suelo en países en vías de desarrollo es limitada, como Bekunda y Gachene han mencionado (capacidad de la ciencia del suelo limitada y disminuida) y quienes insisten en incrementar los vínculos con las disciplinas de la ciencias no-suelo. La atención al ambiente también se menciona como un área de investigación que se vuelve importante, cada vez más, en regiones tropicales, donde mucho del crecimiento de la población tiene lugar. Claramente, la ciencia del suelo tiene distintas tareas en diferentes partes del mundo. Esto no se quedará como las visiones de Powlson, esto puede cambiar cuando nos aproximemos a los ocho mil millones de personas y la agricultura pueda volverse importante de nuevo.

¿La misma vieja canción?

La comunicación y la interacción no son temas completamente nuevos en la ciencia del suelo. Hace algunos 15 años, el Prof. Dennis Greenland escribió el artículo “The contributions of soil science to society – Past, present and future” (Greenland, 1991):

“...los científicos del suelo también se han frustrado, al ser su consejo aparentemente desatendido. Esto se puede deber a que el consejo se da en términos más fácilmente entendibles para otros científicos del suelo que para políticos y economistas que controlan la disposición de la tierra. Si la ciencia del suelo está para servir totalmente a la sociedad, es esencial que sus argumentos se presenten en términos entendibles para todos y con el rigor científico y económico para que no se refuten con facilidad.”

A pesar de 15 años de progreso, este sentimiento está resonando en muchas de las contribuciones en este libro. Greenland también mencionó algunas pocas ideas sobre clasificación y degradación de suelos:

“Se ha esperado que los nombres del orden de la tierra también se vuelvan conocidos como los de los planetas y los órdenes de los reinos de plantas y animales.”
“La ciencia del suelo tiene una contribución mayor por hacer a la sociedad, estableciendo los hechos de la degradación del suelo con una base científica rigurosa, así como clarificando la cuantía del costo económico que se necesitará para rectificar el daño donde sea posible hacerlo.”

De nuevo, algunos autores en este libro hicieron comentarios bastante similares sobre clasificación (ej. Powlson, Shi) y degradación del suelo (ej. Pla Sentis). Así, dado el hecho que Greenland hizo estos comentarios hace 15 años y algunas de sus ideas todavía se sostienen en la actualidad, ¿deberíamos ser pesimistas? No, yo pienso que no. Ha habido progreso en muchas partes del mundo, trayendo el suelo a la agenda política, por ejemplo en los EUA (vea Dumanski, Rey, Nieder, Nortcliff) y en varias convenciones. Eso no existía en 1991.

Varios autores no son tan optimistas. Por ejemplo, en la relación entre el trabajo aplicado y la ciencia del suelo fundamental. Muchos notan una tendencia hacia

la ciencia del suelo más aplicada (ej. McKenzie), la cual, a largo plazo, será problemática. Varios autores también cuestionaron el problema de especialización versus generalización (ej. Burghardt, Bouma). Kalra llamó a la especialización la fragmentación de nuestra ciencia. El incremento en la especialización afecta la visibilidad de la ciencia del suelo, pero esto sucede en muchas otras ciencias (ej. Baveye, 2000; Seitz, 2000) y no debería ser una preocupación *per se*. Por otra parte, vemos que muchos estudiantes, que toman clases de ciencia del suelo, vienen de diferentes escuelas (ej. ecología, biología, toxicología) y tienen la necesidad de alguna educación general en ciencia del suelo. Así, quizás nuestra ciencia está en vías de la especialización, pero nuestra educación es generalizada.

Varias personas han enfatizado la importancia de la educación (ej. Makeschin, Rashid, Sparks). McBratney insiste: nuestros números necesitan aumentar rápidamente; Swift señala: “No habrá escasez de desafíos y oportunidades para los científicos del suelo, permítanos asegurar que existen bastantes científicos del suelo para enfrentar el desafío.” Esto es una tarea difícil. Los estudiantes no pueden ser extremadamente entusiastas, con oportunidades de trabajo limitadas y fondos difíciles.

Hubo sólo dos contribuciones de mujeres, y Mary Beth Kirkham realizó el problema del género. Con un número creciente de mujeres estudiantes en la ciencia del suelo en muchas universidades, la comunidad global de la ciencia del suelo puede mirar diferente en el futuro. Este libro provee amplias ideas para ellas. Aparte de las prioridades en temas estándar como, por ejemplo, contaminación del suelo o erosión del suelo, hay atención para la salud de suelos y humanos (ej. Baveye, Frossard), los suelos en áreas urbanas (ej. Brugharth, Ibáñez), la biodiversidad, la calidad del suelo, los suelos extraterrestres (Targulian) y el conocimiento indígena del suelo (Fowler); mientras que Thiombiano y Wessolek puntualizan el valor cultural de los suelos. El cambio climático, los problemas ambientales y la producción de alimentos se mencionan por muchos autores. El agua se señala, en muchas contribuciones (ej. Minas, Samara), como un área de mayor investigación para la ciencia del suelo. Algunos son optimistas acerca de la revolución digital (ej. Dobos), otros son más cuidadosos (ej. McKenzie, van Meirvenne). Unos son optimistas (Kirk); algunos son menos optimistas (Kirkham).

El nombrar o renombrar nuestras actividades es discutido por Lin, quien argumenta por el uso de la hidropedología y la zona crítica. Samra visualizó esto como sigue: “algunos de los científicos del suelo puritanos se trastornan cuando proponemos renombrar las instituciones de la ciencia del suelo.” Estas tendencias son verdaderamente objetadas por Baveye, pero no por todos los autores. Parece que, aparte de la discusión infructuosa sobre pedología vs ciencia del suelo, no muchos parecen molestarse acerca de renombrar - quizás como ya se ha realizado.

Algunos otros artículos son notables. Está claro que Hans Jenny continúa siendo influyente y es citado en 10% de las contribuciones. Cuando se le preguntó, en los pasados años ochentas, lo que podría causar su influencia, él contestó: “Yo simplemente sobreviví a mis enemigos”. Alex McBratney propuso la pregunta “¿No es tiempo de que Jenny fuera reemplazado?” Muchos han argumentado que la ciencia del suelo sigue la trayectoria del paradigma de Kuhn (ej. Addiscott y Mirza, 1998; Amundson, 1994; Bouma *et al.*, 1999; de Orellana y Pilatti, 1999; Ekins, 1998; Govers

et al., 1999; Herrick *et al.*, 2002; McCown, 2001, Sanchez, 1994; Welch y Graham, 1999). Si esto fuera verdad, entonces la pregunta de McBratney es válida e indudablemente derrumba un desafío. La cuestión es si podremos buscar respuestas ahora, tanto como engranarlas hacia las aplicaciones de nuestra ciencia.

Fue interesante notar que la “Encyclopedia of Soil Science” (Lal, 2002) ha sido citada por varios autores. También el “Handbook of Soil Science” (Sumner, 2000) se ha citado, pero la “Encyclopedia of Soil Science in the Environment” (Hillel *et al.*, 2005) todavía no. Estos libros resumen el vasto conocimiento científico del suelo, marcan el fin de una generación que está, o pronto estará, jubilada. Quizás marcan el fin de una era y el principio de otra nueva. Ninguna de las referencias citadas en el prólogo de este libro fue citada. Los artículos vistos adelante tienen una corta vida de anaquel, más pronto o más tarde, ellos llegarán a ser el presente y cuando lo noten, estarán en el pasado.

Y bien...

Este libro abrió con una preventiva cita de Friedrich Nietzsche, la cual nosotros, como científicos del suelo, ciertamente apreciamos. Pero Nietzsche dijo algunas cosas más sabias: “El futuro influye al presente tanto como el pasado”. Esperemos que los deseos futuros e intenciones expresadas por varios autores en este libro afecten nuestro futuro. La pregunta es si nosotros, como comunidad científica del suelo, podemos determinar parte de nuestro propio futuro. ¿Podemos inclinar el futuro en una dirección deseable? Varios autores creen que podemos; yo pienso que están en lo correcto. La ciencia del suelo en el futuro será diferente de lo que hemos hecho hasta ahora, es diferente de lo que hacemos en el momento, pero se hará. Petersen resumió el futuro de la ciencia del suelo muy adecuadamente: “El futuro de la ciencia del suelo es excitante y desafiante. Nunca hemos tenido tantos problemas para ser dirigidos por científicos del suelo o tantas oportunidades para ellos de investigar como tenemos en la sociedad de hoy. También somos afortunados porque tenemos una amplia gama de nuevas tecnologías disponibles para la comunidad de la ciencia del suelo.”

Referencias

- Addiscott, T.M. and N.A. Mirza. 1998. New paradigms for modelling mass transfers in soils. *Soil and Tillage Research*, 47: 105-109.
- Amundson, R. 1994. Towards the quantitative modeling of pedogenesis – a Review - Comment - Functional vs mechanistic theories - the Paradox of Paradigms. *Geoderma* 63: 299-302.
- Baveye, P. 2000. To create generalists, teach students how to learn by themselves. *Nature* 404: 329.
- Bouma, J., J. Stoorvogel, B.J. van Alphen, and H.W.G., Booltink. 1999. Pedology, precision agriculture, and the changing paradigm of agricultural research. *Soil Science Society of America Journal* 63: 1763-1768.
- de Orellana, J.A. and M.A. Pilatti. 1999. The ideal soil: I. An edaphic paradigm for sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* 15: 47-59.
- Ekins, P. 1998. A new paradigm of development for the next century. *International Journal of Environment and Pollution* 9: 267-286.

- Govers, G., D.A. Lobb, and T.A. Quine. 1999. Preface - Tillage erosion and translocation: emergence of a new paradigm in soil erosion research. *Soil & Tillage Research* 51: 167-174.
- Greenland, D.J. 1991. The contributions of soil science to society - past, present, and future. *Soil Science* 151: 19-23.
- Herrick, J.E., J.R. Brown, A.J. Tugel, P.L. Shaver, and K.M. Havstad. 2002. Application of soil quality to monitoring and management: Paradigms from rangeland ecology. *Agronomy Journal* 94: 3-11.
- Hillel, D. *et al.* (eds.). 2005. *Encyclopedia of soils in the environment* (4 vols.). Elsevier. Amsterdam.
- Lal, R. (ed.). 2002. *Encyclopedia of soil science*. Marcel Dekker, New York, NY.
- McCown, R.L. 2001. Learning to bridge the gap between science-based decision support and the practice of farming: Evolution in paradigms of model-based research and intervention from design to dialogue. *Australian Journal of Agricultural Research* 52: 549-571.
- Sanchez, P.A. 1994. Tropical soil fertility research: towards the second paradigm. pp. 65-88. *In: Transactions 15th World Congress of Soil Science*. ISSS. Acapulco.
- Seitz, F. 2000. Decline of the generalist - The vigour of every discipline depends on people of broad vision. *Nature* 403: 483.
- Sumner, M.E. (ed.). 2000. *Handbook of soil science*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Welch, R.M. and R.D. Graham. 1999. A new paradigm for World agriculture: meeting human needs - Productive, sustainable, nutritious. *Field Crops Research* 60: 1-10.



Este libro se terminó de imprimir el día 20 de agosto del 2010,
en los talleres de Impresos Selectos ARAC
El tiraje fue de 1000 ejemplares

El Futuro de la Ciencia del Suelo

Editado por Alfred E. Hartemink
IUSS International Union of Soil Science

La ciencia del suelo ha cambiado considerablemente en las últimas décadas. Los cambios no se han detenido; más están en camino. Ignorar estos cambios podría ser imprudente. Este libro contiene los puntos de vista de 55 científicos, de 28 países, acerca del futuro de la ciencia del suelo – desde Finlandia hasta Sudáfrica, desde Canadá hasta Ghana, Malasia y China. El libro es una plataforma de opiniones y puntos de vista que reflejan gran diversidad pero también varios elementos comunes. Provee detalles referentes a temas que pueden ser estudiados, sobre la interacción de la ciencia del suelo y la agricultura, política y otras ciencias. Este libro es una lectura obligatoria para aquellas personas interesadas en la ciencia del suelo y su orientación futura.

Traducción de:

Miguel A. Segura Castruita, Griselda Armendáriz Borunda y Manuel Fortis Hernández

Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo

ISBN 978-607-00-3412-1