



LA MISIÓN DE LA CIENCIA DEL SUELO EN UN MUNDO CAMBIANTE



Dr. D. Hillel

Goddard Institute for Space Studies, Columbia University, 2880
Broodway, New Cork, NY 10025 USA.



Maracay, Enero de 2013.

Artículo original publicado en Journal of Plant Nutrition and
Soil Science. Volume 172, issue 1. February 2009
Traducido al español con autorización del Dr. D. Hillel,
por: Profesor Stalin Torres P.
Centro de Información y Referencia de Suelos (CIRS),
Facultad de Agronomía,
Universidad Central de Venezuela

LA MISIÓN DE LA CIENCIA DEL SUELO EN UN MUNDO CAMBIANTE

Dr. Daniel Hillel

RESUMEN

El suelo es un medio vital, complejo e inestable. Para manejarlo efectiva y sosteniblemente, debemos esforzarnos para entender sus atributos, funciones e interacciones ambientales. Para alcanzar esta finalidad holística, necesitamos superar barreras disciplinarias e institucionales así como promover la cooperación interdisciplinaria entre equipos de científicos con diferentes especialidades pero mutuamente complementarias. De aquí que ofrezcamos, una revisión histórica y cultural evolutiva de las interrelaciones ambientales entre la humanidad y el suelo.

Palabras clave: Ciencia del suelo/mundo cambiante/ sociedad/ambiente

1. Una semblanza personal

En el año 1951, a la preciosa edad de 20 años, aprendiz con un grado de maestría en Ciencias de la Tierra de una respetable Universidad Norteamericana e imaginándome como un “científico completo” destinado a alcanzar grandes descubrimientos, me traslade al recién establecido Estado de Israel conjuntamente con un grupo de soñadores de gloria igualmente idealistas y poco realistas, para embarcarnos en la mayor aventura de nuestras vidas. Juntos, fundamos el primer pueblo moderno en las tierras altas infecundas del desierto de Negev, la

precipitación total anual raras veces excedía la concavidad ocupada por las manos de un hombre.

Inicialmente, sabíamos muy poco acerca de la tierra, agua, y recursos biológicos de la región, o acerca de sus potencialidades. Deseando aprender acerca de la vida y saberes de la región, me uní a una tribu de Beduinos, quienes soportaban una existencia extremadamente austera con pastoreo de cabras y camellos flacos en un amplio campo en el desierto. Pasé muchos días viajando a lo largo de valles con fuertes vientos y dando vueltas en largas caminatas con mucho esfuerzo sobre montañas rocosas y dunas arenosas con los pastores Beduinos, observando su forma tradicional de cría y escuchando sus viejas historias.

Un día me senté dentro de una tienda con los niños de la tribu a los pies de su viejo “mualen” –el instructor de la tribu- quien enseñaba a sus jóvenes *turuk el adab* “las maneras apropiadas del mundo”. El hombre carecía de escolaridad formal, solo la sabiduría heredada del pasado para impartirla a sus alumnos. Lo hizo así en la forma y momento para honrar a los sabios de la región, mediante preguntas y respuestas, usando metáforas, fábulas, y parábolas. ¿Cuánto es uno y uno?, preguntaba el venerable instructor. Los niños se mostraban sorprendidos por lo aparentemente simple de la pregunta y permanecían en silencio por algún momento. Entonces el mayor de los niños se aventuró a adelantar: uno y uno deben ser dos, por lo cual el viejo maestro tribal replicó: puede ser pero puede no ser.

Los niños se mostraron confundidos, así que él explicó. Si usted pone una cabra hembra en un corral con otra cabra hembra, por supuesto usted obtendrá dos, pero si usted pone un macho cabrío con otro macho cabrío, de seguro ellos se pelearán y uno puede matar al otro, así que uno y uno finalmente podría terminar siendo solo uno, o ambos podrían morir, así que uno más uno podría ser nada. Pero si usted pone una cabra hembra con un macho cabrío, usted puede eventualmente tener tres o cuatro o más. Así concluyó el sabio y viejo maestro. ¿Cuanto es uno más uno? Eso depende de las circunstancias y del designio de Alá. Y así es con los seres humanos y con todas las otras cosas, buenas o malas, y así puede el Misericordioso Alá proveer por el bien.

2. Un principio ecológico

En los años que siguieron, yo tuve muchas ocasiones para recordar y ponderar la sabiduría del viejo maestro Beduino. Sus lecciones encapsulaban una verdad ecológica con profundas implicaciones. En el axioma simplista de Euclides, “el total es exactamente igual a la suma de sus partes”: Uno más uno es igual a dos. Esto es así en un mundo hipotético donde las partes son inertes, no interactivas, estériles. No así en el mundo real, donde el total incluye no meramente la suma de las partes discretas sino también la gama de sus interrelaciones, tanto sinérgicas como antagónicas. En una comunidad viva (un ecosistema) de plantas y animales, cada entidad es definida no solo por sus características específicas, sino también por sus interrelaciones complejas con otras entidades

compartidas y que conforman juntas , el dominio común el cual se torna en interacciones complejas con otros dominios del ambiente circundante.

Por mucho tiempo la práctica de la ciencia fue guiada por el método clásico atribuido a Francis Bacon: Para estudiar como dos variables se relacionan, uno debe mantener todas las otras variables constantes. Así, cuando todo lo demás se cumple (en Latín: *ceteris paribus*), la presión de una masa de gas dada en un volumen fijo, se incrementa proporcionalmente a medida que la temperatura absoluta incrementa. Sin embargo, en la naturaleza abierta (diferente a un laboratorio controlado), cuando cualquier variable cambia, una cascada de cambios en las otras variables interactivas es lo que probablemente siga. La adhesión al fallo o sentencia Baconiano clásico, llevó a la división de ciencia o “las ciencias” en “disciplinas” artificialmente definidas y a la comunidad científica hacia grupos enfocados en diferentes partes del fenómeno, a escala de espacio y tiempo diferentes. Cada disciplina, era a su vez dividida en subdisciplinas, y así a la infinitésima. Consecuentemente, los especialistas se separaban en si mismo unos de otros, en departamentos y programas de estudios independientes, con publicaciones, y en muchos casos usando terminologías incompatibles. En reacción a esa tendencia, algunos esfuerzos valientes fueron hechos de tiempo en tiempo, por generalistas, que esperaban unificar las disciplinas artificialmente separadas.

La comunidad de científicos fue entonces dicotomizada entre especialistas y generalistas rivales. Como una broma pudiera definirse los especialistas como aquellos que estudian más y más acerca de menos y menos, hasta que finalmente ellos prácticamente podrían conocer todo acerca de nada; mientras que los generalistas son aquellos que estudian menos y menos acerca de más y más, hasta que ellos podrían llegar a conocer nada acerca de prácticamente todo.

Para evitar ambas trampas *ad absurdum*, mientras se logra un enfoque más comprensivo para fenómenos interrelacionados, el paradigma guía para los científicos debe por supuesto ser estudiar más y más acerca de más y más. En consecuencia, la práctica de la ciencia especialmente de la ciencia ambiental, debe convertirse en más holística y por lo tanto en más compleja. Ya no podemos confiar más en “eruditos” individuales para abarcar todos los factores y variables interactivas. En lugar de eso, necesitamos vencer barreras tradicionales y promover la cooperación interdisciplinaria entre equipos de científicos con diferentes especialidades, orientaciones, y de gran interés una tarea que es extremadamente difícil debido a las inclinaciones individuales y egos de muchos científicos, y debido a la estructura compartimentalizada de nuestra enseñanza e instituciones de investigación.

3. **Ecosistemas dinámicos interactivos**

Los ecosistemas dinámicos e interactivos típicamente envuelven complejidades que desafían el encapsulamiento en teorías puras y “formulaciones” concisas. Cada vez más, la tendencia es al uso de modelos basados en computación para retratar el comportamiento de esos sistemas a través de tiempo y espacio. Tales modelos son muy poderosos y cada vez lo son más, pero también representan un serio peligro. Como el mito del Rey Pigmalion que se enamora de su modelo artificial Galatea (creyéndola viva), los modeladores hoy día pueden estar cautivados por lo hermoso de sus propias creaciones como para cometer el error de considerarlas como una realidad. Realmente es mucho más fácil inventar y manipular modelos hipotéticos que validarlos (o refutarlos) realizando el número y rango necesario de mediciones.

Un ejemplo es la forma como los científicos atmosféricos y oceanográficos usan los “modelos de circulación global” para predecir las manifestaciones del cambio climático y sus impactos potenciales en el dominio tierra. Una dificultad particular es lo inherente a la disgregación entre la escala espacial de los procesos que circundan los dominios de los fluidos atmosféricos y oceánicos por un lado, y la intensa variabilidad espacial y temporal de propiedades y procesos en el dominio tierra. En esta última, diferencias en latitud, topografía, aspecto, material parental, suelo, precipitación, escorrentía, vegetación, y los patrones de climas e intervención humana pasados y recientes, impiden generalizaciones

simplistas. La formulación de procesos dinámicos detallados en el dominio tierra es por lo tanto mucho más complejo que en los dominios atmosféricos u oceánicos. En consecuencia el modelado relevante del dominio tierra y sus enlaces apropiados con los dominios atmosféricos y oceánicos permanece como un gran reto en los esfuerzos de avance para alcanzar un entendimiento comprensivo real de la dinámica climática regional y global.

Algunos modeladores del sistema climático intentan sortear esta dificultad, inventando valores para caracterizar el así llamado componente de la “superficie de la tierra” los flujos de energía y materia regional o global. En muchos casos, ellos pretenden ignorar el hecho de que el dominio tierra no es meramente una “superficie” (aunque ella tiene una superficie, pero ciertamente no es plana); que tiene profundidad y propiedades y procesos variables lateralmente, y es intermedia entre la atmósfera, hidrosfera y litósfera. De aquí que un gran reto para los científicos de suelo, es jugar un papel más activo en los estudios del cambio climático global sus causas, manifestaciones temporo-espaciales e impactos y posible mitigaciones.

4. Funciones del suelo vivo

Un poeta romántico contemplando a través de su ventana el campo verde exterior podría verlo como un lugar de serenidad idílica. No así el científico de suelo ambientalista, quien no descansa en discernir con agitación incesante una fundición hirviente en la cual

materia y energía están en flujo continuo, aunque en diferentes tasas y direcciones. La energía radiante proveniente de los rayos solares entra en el campo, y como una cascada a través del continuum atmósfera-planta-suelo-subsuelo-material rocoso, genera una secuencia compleja de procesos: el calor es intercambiado; la precipitación es dividida en la superficie de la tierra entre escorrentía e infiltración; esta última fracción permea los intrincados poros del suelo; las raíces de las plantas extraen algo de esa agua (junto con nutrientes solubles) y lo transmiten a través de sus tallos a las hojas, las cuales transpiran y lo regresan como vapor a la atmósfera. Las hojas también absorben dióxido de carbono de la atmósfera y – potenciada por la radiación solar- lo sintetizan con el agua y los nutrientes derivados del suelo para formar los compuestos primarios de la vida. El oxígeno emitido por aquellas hojas hace el aire más respirable para los animales, los cuales se alimentan de las plantas y luego le retornan los residuos como fertilizantes. Los organismos en el suelo reciclan los residuos de ambos plantas y animales, liberando nutrientes para la renovación perpetua de la vida. El remanente del agua de lluvia infiltrada que no es absorbida por las plantas o evaporada directamente desde el suelo, drena hacia los acuíferos de aguas subterráneas, los cuales eventualmente la descargan en ríos, lagos, y en el mar.

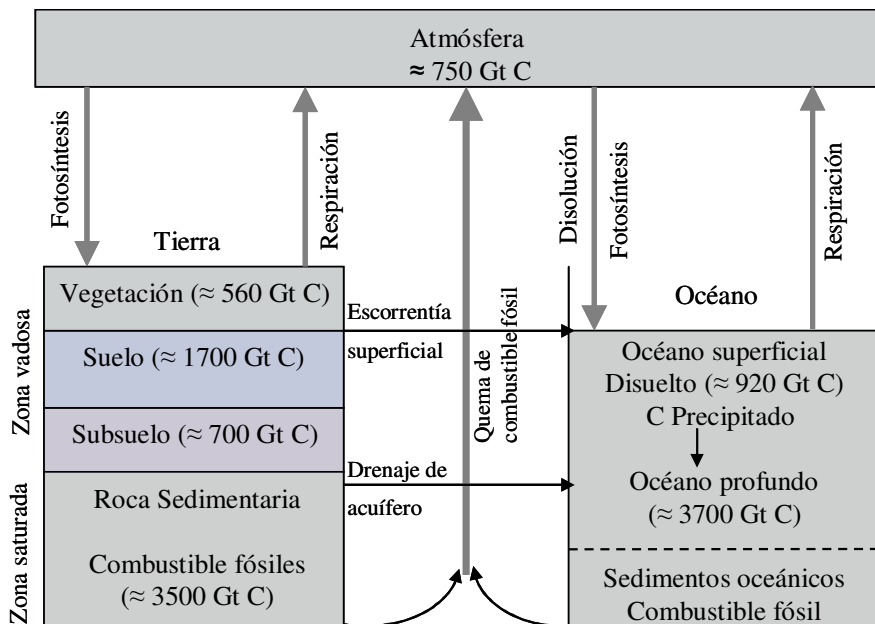


Figura 1. Intercambio de carbono en el contínuum Atmósfera – Océano – Suelo.

El crisol de esta fundición es el suelo, una rica mezcla de partículas minerales, materia orgánica, gases, y nutrientes los cuales, cuando se mezclan con agua, constituyen un sustrato fértil para la iniciación y mantenimiento de la vida terrestre macro y microorganismos. El sistema suelo es así una fabrica biológica que se autorregula utilizando su propia materia, agua precipitada y energía solar. El determina que cantidad de agua de lluvia o nieve que alcanza la superficie de la tierra fluirá como escorrentía, o infiltrará hacia abajo dentro de los estratos rocosos porosos. El suelo, con su capacidad para absorber,

almacenar, y transmitir agua y solutos, regula todos estos fenómenos, mientras sirve como un banco para satisfacer los requerimientos de humedad y nutrientes para las plantas en crecimiento y otros numerosos organismos. Sin el suelo como amortiguador, la precipitación caída sobre los continentes podría escurrir con mucha mayor rapidez, produciendo episodios de inundación violentos, en lugar de la recarga y flujo sostenido de acuíferos y ríos.

El suelo soporta millares de organismos terrestres. Aún los organismos que viven en medios acuáticos dependen de los nutrientes liberados desde el suelo hacia los ríos, lagos y mares. La mayor parte de nuestra suplencia de alimentos y fibra vienen del suelo, bien directamente a través de productos obtenidos de las plantas que crecen en él, o bien a partir de animales que consumen productos de tales plantas. El suelo también actúa como el dominio primario terrestre, limpiando y reciclando el medio, en efecto, como un “filtro vivo”, donde los patógenos y toxinas que podrían de otra manera contaminar nuestro ambiente y poner en peligro sus millares de formas de vida interdependientes son convertidos en formas inocuas y transmutados en nutrientes. Desde tiempos inmemoriales los humanos y otros animales que han muerto de cualquier manera o enfermedad son entonces enterrados en el suelo, sin embargo, el suelo actúa como un desinfectante. El término “antibiótico” fue en efecto acuñado por científicos de suelo que extraían productos terapéuticos a partir de organismos del suelo. El intercambio iónico, un proceso muy útil para purificar el agua, fue también descubierto por

científicos de suelo estudiando el pasaje de soluciones a través de capas de arcilla.

Considerando la altura de la atmósfera, el espesor del manto rocoso de la tierra, y la profundidad del océano, notamos que el suelo es un cuerpo asombrosamente delgado- típicamente no mucho mayor que un metro de espesor y a menudo menos que eso. Aún así, es el incubador de la vida terrestre, dentro del cual la productividad biológica es generada y sostenida. El actúa como una entidad viva compuesta. Otro atributo del suelo es su porosidad, parecida a una esponja y su enorme área superficial interna. Un puñado de suelo puede contener efectivamente varias hectáreas de superficie activa, en la cual procesos biológicos ocurren continuamente.

Sin embargo único en forma y función, el suelo no es un cuerpo aislado. El es, un poco el enlace central en la larga cadena de dominios interconectados que comprende la biosfera (Hillel, 2008). El suelo interactúa con la atmósfera suprayacente, así como también con los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Especialmente importante es la interrelación entre el suelo y el clima (figura 1). En adición a su función de regular el ciclo del agua, también regula el intercambio de energía y la temperatura superficial. A través del secuestro de carbono en el suelo como materia orgánica, o - por el contrario- la liberación de carbono desde el suelo en las formas de metano y dióxido de carbono (así como también la posible liberación de óxido nitroso), el suelo afecta la composición de la atmósfera y su

trasmisión o absorción de radiación a varias longitudes de onda. Dependiendo de la tasa neta y la dirección de intercambio de masa y energía, el suelo juega también un papel en la mitigación o en el enriquecimiento del así llamado “efecto invernadero atmosférico” la causa del calentamiento global.

5. La necesidad por un compromiso renovado

Intuitivamente percibimos la dependencia total de la humanidad del suelo, pueblos antiguos quienes vivieron en una mayor intimidad con la naturaleza que muchos de nosotros hoy, efectivamente veneraban el suelo. El fue no solo su fuente de subsistencia, sino también el material que ellos usaban para construir sus casas y que ellos aprendieron a darle forma, calentarlo y fundirlo en ladrillos, vasijas para almacenar y tableros para escribir (cerámica hecha de suelos arcillosos, siendo el primer material sintético en la historia de la tecnología).

En la Biblia Hebrea, el nombre asignado al primer humano fue Adán, derivado de “adama”, que significa suelo. El nombre simbólico dado a la primera hembra habitante de la tierra fue Hava (transformado como Eva), que significa “vida” o “madre de la vida”. Juntos por lo tanto, Adán y Eva significan muy literalmente “Suelo y Vida”. La misma poderosa metáfora es imitada en el nombre Latino para la especie humana-Homo, derivado de humus, el material del suelo. De aquí que el adjetivo “humano” también sugiere “de el suelo”. Otras culturas antiguas igualmente evocaron asociaciones poderosas. Para los griegos, la tierra era una manifestación de Gaea, la diosa maternal quien,

fecundada por el dios del cielo Uranus, dio nacimiento a todos los dioses del panteón Griego (figura 2).

Nuestra civilización depende ahora del suelo más crucialmente que nunca, debido a que nuestro número ha crecido y nuestra tasa de consumo se ha incrementado mientras que los recursos naturales disponibles (Incluyendo agua, nutrientes y energía fósil) se han disminuido y deteriorado. Alrededor del mundo hemos perdido más y más nuestros suelos productivos por el desarrollo abusivo de ciudades, industrias, y autopistas; y estamos degradando los suelos remanentes debido a erosión, compactación, lavado de nutrientes, pérdida de materia orgánica, acidificación, salinización, agotamiento de la suplencia de agua, y polución. Miles de años son requeridos por la naturaleza para dar vida al suelo a partir del manto rocoso estéril. En solo unas pocas décadas, el desconocimiento o descuido humano puede destruir ese maravilloso trabajo de la naturaleza. Los suelos mal manejados tienden a erodarse y sus sedimentos transportados obstruyen o dañan cauces de ríos, lagos, y aguas costeras. La escorrentía y el lavado de tales suelos, pueden causar inundación y empeorar la aireación de tierras bajas, eutrofización de cuerpos de agua, y –en ciertos lugares- acumulación de sales. Tales procesos de degradación de suelos, los cuales en regiones semiáridas son a veces llamados “desertificación”, afectan ya grandes áreas de tierra en otros tiempos productivas.



Figura 2. El Dios antiguo del cielo Canaanite (izquierda) y la diosa de la tierra (derecha).

El suelo óptimo es profundo y permeable, y contiene un balance entre material mineral y orgánico, entre partículas finas y gruesas, y entre material sólido y poros de varios tamaños que contienen y conducen agua y aire. Un suelo óptimo también contiene una mezcla balanceada de nutrientes y esta libre de agentes tóxicos. Pero el suelo es, fundamentalmente, un cuerpo finito, lábil, y muy vulnerable. Cuando se rompe su estado natural, es decir cuando es eliminada la vegetación protectora que lo cubre y entonces

sometido a manipulación mecánica (por ejemplo pulverización, compactación, y erosión), así como también a alteración bioquímica, el equilibrio frágil del suelo es destruido y sufre degradación. El manejo apropiado del suelo implica usar los suelos a su completa productividad potencial, de una manera sostenible así como conservarlos -y hasta donde sea posible mejorar- su productividad por largo tiempo mientras se evita la contaminación del ambiente (aire, agua, y suelos adyacentes). Donde los suelos han sido degradados en el pasado, lo prudente es alcanzar medios eficientes y económicos para remediarlos.

A través de la historia, las diversas maneras en que las sociedades usaron o abusaron de sus recursos suelo influenciaron su destino final. Este hecho fundamental no es menos cierto hoy que en el pasado. Paradójicamente, aún cuando la dependencia de la humanidad sobre el suelo se ha incrementado, la mayoría de la gente se ha desprendido física y emocionalmente de él. Muchos niños que crecen en el ambiente artificial de una ciudad, aislados de la exposición directa a la naturaleza, pueden ahora asumir como una cosa natural que los alimentos se originan en los supermercados.

El desprendimiento ha traído ignorancia, y además de la ignorancia ha provocado desilusión, por lo que nuestra civilización se ha colocado de alguna manera, por encima de la naturaleza, sintiéndose libre de culpa. Agricultura y seguridad alimentaria, erosión y salinización, degradación de ecosistemas naturales, agotamiento y polución de aguas superficiales y

acuíferos, cambios en la composición atmosférica y en el balance de energía de la tierra, así como también deforestación y disminución de la biodiversidad todos estos procesos, los cuales envuelven al suelo directa o indirectamente se han convertido en abstracciones para mucha gente. El mismo lenguaje que nosotros usamos deja ver desprecio para ese material común bajo nuestros pies, muy a menudo referido como “sucio”.

Algunos padres fastidiosos prohíben a sus hijos jugar con el barro y lo apuran para que laven sus manos “ensuciadas” o sucias sin embargo los niños no obedecen como un instinto innato para hacerlo. Así el suelo es devaluado y tratado como algo sucio a pesar de que realmente es el principal medio terrestre para la purificación, donde los desechos son descompuestos y regenerada la productividad de la naturaleza.

No podemos manejar efectiva y sosteniblemente un medio tan vital, complejo y vulnerable como el suelo a menos que entendamos sus atributos, funciones, e interacciones ambientales. Este es el porque, la tarea de desarrollar y diseminar un conocimiento firme del suelo y de sus procesos ha tomado urgencia e importancia. La crisis ambiental global ha creado una necesidad apremiante por educar la nueva generación de aspirantes a científicos ambientales y activistas -y a través de ellos al público en general- respecto del suelo y todas sus manifestaciones, en la naturaleza y en relación con la vida de los humanos. Recordándonos varias veces que el nombre Latino para los humanos fue derivado de humus, el elemento fundamental del suelo, a partir del cual nosotros también derivamos las

palabras “humilde”y “humildad”, parece algo irónico que nosotros hayamos asignado a nuestra especie tan arrogante un nombre como Homo sapiens sapiens (Sabio Hombre Sabio). A medida que nosotros estudiamos nuestro pasado, presente, y futuro en relación con el suelo, nosotros deberíamos considerar cambiar nuestro nombre colectivo al más modesto Homo sapiens curans, con el adjetivo “curans” denotando “cura” o “cuidados”, así como en el título “curador.” Por supuesto, nosotros debemos esforzarnos para merecer el nuevo nombre, aunque no siempre merecimos el viejo.



Figura 3. Actividades agrícolas en el antiguo Egipto: arado, siembra y cultivo.

El suelo siempre nos ha alimentado. (Ver figura 3), a pesar de nuestro abuso de él. Ahora la escala e intensidad completa del abuso esta amenazando nuestro futuro y el de la comunidad biótica terrestre. Este es el momento de nosotros, como Homo sapiens

curans, para proteger y nutrir el suelo -y en sentido amplio el ecosistema entero que lo soporta- en recompensa. Permítanos, entonces, dedicar nuestros esfuerzos para asegurar la coexistencia sostenible de Adán y Eva.

REFERENCIA

Hillel, D (2008): Soil in the Environment: Crucible of Terrestrial Life. Elsevier/Academic Press, Amsterdam

Publicado en: J. Plant. Nutr. 2009, 172, 5-9