

## LA CIENCIA DEL SUELO FRENTE A LOS NUEVOS PARADIGMAS CIENTIFICOS Y A LAS DEMANDAS DE LA SOCIEDAD

Hernán Burbano Orjuela <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo, M. Sc. Consultor Independiente e Investigador de la Universidad de Nariño, telefax 2-7231147, Pasto, Colombia. E-mail: [herbur2000@yahoo.com](mailto:herbur2000@yahoo.com) - [hbur-ct@col2.telecom.com.co](mailto:hbur-ct@col2.telecom.com.co)

### INTRODUCCION

Un eminente científico del siglo pasado decía “Uno no necesita conocer las doctrinas y escritos de los grandes maestros de la Antigüedad, de Platón y Aristóteles, no necesita haber oído nunca sus nombres, para estar, sin embargo, bajo el hechizo de su autoridad”. Quizás de esta manera quiso subrayar el legado de los griegos que iniciaron la empresa científica en el siglo vi a. de C.

A partir de esta época, la ciencia recorre un largo y exitoso camino, que le ha hecho aportes de gran magnitud a la sociedad, en virtud de unos criterios y unos procedimientos que progresivamente han venido desentrañando los secretos a la naturaleza y a la vida misma. Copérnico, Galileo, Descartes, Bacon, Newton, Lavoisier y Einstein establecieron verdaderos hitos en el desarrollo científico.

No obstante, en los últimos tiempos han surgido nuevos paradigmas en la ciencia que si bien no desconocen o rechazan los progresos científicos, sí se dirigen proponer un enriquecimiento conceptual y experimental que amplíe el conocimiento que, de todas maneras, siempre será inacabado o provisional.

Tomando en consideración estas ideas, en este escrito se hace un análisis esquemático acerca de los paradigmas en la ciencia y en la sociedad, una rápida reseña del surgir de la ciencia, y un examen de algunos de los nuevos paradigmas -pensamiento sistémico, estructuras disipativas, pensamiento complejo-.

Todo lo anterior, para tratar de ubicar a la ciencia del suelo dentro del contexto científico y de la socioeconomía del mundo de hoy, a fin de que los científicos del suelo contrasten sus criterios, experiencia y expectativas con aquella realidad y opten en función de sus propias inquietudes por las alternativas científicas que consideren pertinentes.

### LOS PARADIGMAS EN LA CIENCIA Y EN LA SOCIEDAD

Los cambios de pensamiento que ocurrieron en la física, discutidos por físicos y filósofos por más de cincuenta años, llevaron a Thomas Kuhn a la noción de *paradigma científico*, definido como “las realizaciones científicas universalmente reconocidas que, durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica”. Los distintos paradigmas, según Kuhn, se suceden tras rupturas discontinuas y revolucionarias llamadas “cambios de paradigma”.

A falta de un paradigma o candidato a paradigma, todos los hechos que pudieran ser pertinentes para el desarrollo de una ciencia dada tienen probabilidades de parecer igualmente importantes.

En el desarrollo de una ciencia natural, cuando un individuo o grupo produce, por primera vez, una síntesis capaz de atraer a la mayoría de los profesionales de la generación siguiente, las escuelas más antiguas desaparecen gradualmente. Su desaparición se debe, en parte, a la conversión de sus miembros al nuevo paradigma.

Los casos más claros de revoluciones científicas son los episodios famosos del desarrollo científico que, frecuentemente, antes han sido llamadas revoluciones, y que tienen que ver con los principales puntos de viraje del desarrollo científico, asociados a los nombre de Galileo, Copérnico, Newton, Lavosier y Einstein.

Un paradigma alcanza *status*, si tiene más éxito que sus competidores para resolver problemas críticos. El éxito de un paradigma es al principio, en gran parte, una promesa evidente en casos aislados y todavía incompletos. La ciencia busca realizar esa promesa, ampliando el conocimiento de los hechos que el paradigma muestra como reveladores, y aumentando la extensión del acoplamiento entre esos hechos y las predicciones del paradigma y por medio de la articulación posterior del propio paradigma.

El paradigma ahora en recesión ha dominado nuestra cultura occidental por varios siglos e influido en el resto del mundo. Arroja la visión del universo como un sistema mecánico compuesto de piezas, la del cuerpo humano como una máquina, la de la vida en sociedad como una lucha competitiva por la existencia, la creencia en el progreso material ilimitado a través del crecimiento tecno-económico y, la convicción de que una sociedad en la que la mujer está sometida al hombre, no hace sino seguir las leyes naturales. Lo anterior es cuestionado por los acontecimientos recientes, y por eso ocurre su reconsideración radical.

Socialmente, hay otra clase de poder más apropiada para el nuevo paradigma: el poder como influencia sobre otros. La estructura ideal para el ejercicio de este poder no es la jerarquía, sino la red. El cambio de paradigma incluye el cambio de jerarquías a redes en la organización social.

Los valores no son externos a la ciencia y a la tecnología, son su base y motivación. La revolución científica del siglo xvii separó valores y hechos, por ello, creemos que los hechos científicos son independientes de lo que hacemos y de nuestros valores. El hecho científico surge de percepciones, valores y acciones humanas: de un paradigma del que no se puede aislar. Aunque gran parte de la investigación detallada puede no depender explícitamente del sistema de valores del científico que la efectúa, el paradigma más amplio en el que su investigación sucede nunca carecerá de un sistema de valores, y los científicos, son responsables de su trabajo intelectual y moralmente.

### **EL SURGIR DE LA CIENCIA: UNA SINOPSIS**

La curiosidad propia de la condición humana, llevaría con el decurso de la historia a que el hombre fuese conociendo los misterios de la naturaleza. A propósito, la mitología griega nos muestra como Prometeo enseñó a los mortales las artes de la vida, ese fuego que acerca al hombre a los dioses, y que por haberle robado el rayo a Zeus fue encadenado a una roca. Tal vez la observación de ciertos hechos recurrentes conduciría progresivamente a la ciencia.

En este camino nuestra civilización ha hecho una distinción cada vez mayor entre los aspectos biológicos y culturales de la naturaleza humana. Ello se refleja en la gran disparidad que hay entre el desarrollo del poder intelectual y del conocimiento científico por un lado y la sabiduría, la espiritualidad y la ética por el otro. La ciencia ha progresado enormemente desde que los griegos iniciaron la empresa científica en el siglo vi a. de C.; en lo social, sin embargo, hay una deuda.

Galileo separó la esencia del mundo -número, forma, tamaño, movimiento- de su apariencia; llamó a las cualidades de la esencia primarias, y a las de la apariencia secundarias. Aquellas están en el mundo, las otras hay que buscarlas en la lengua (pensamiento). La idea de excluir el elemento humano de la naturaleza, es común a gran parte de la ciencia actual y es paralela a la separación entre naturaleza y cultura. Los científicos de la naturaleza describen un mundo de hechos, mientras que los científicos sociales estudian valores a los cuales se apega el hombre.

Un gran aporte filosófico del Renacimiento (s. xv a xvi) fue la comprensión de que podía alcanzarse el conocimiento con el uso del método científico para conseguir la verdad sobre el mundo, postura filosófica incluida en los Principios de Galileo. El empleo de la razón en el desarrollo del conocimiento validado es uno de los elementos más importantes para crear la ciencia y mantener la libertad frente a las ideas dogmáticas y autoritarias.

Esta interpretación de la ciencia es uno de los supuestos de la filosofía positivista de Augusto Comte. Para el positivismo, la iniciativa científica consiste en identificar los casos objetivos que constituyen leyes científicas por las que se rige el mundo natural y social, leyes socialmente neutrales, ya que su existencia no depende ni del contexto socio-histórico ni de la acción humana. Esta visión, por su enfoque, ha sido rechazada por diversas corrientes de pensamiento.

La importancia del pensamiento racional en nuestra cultura está resumido en la famosa afirmación de Descartes *cogito ergo sum* “pienso luego existo”, por la cual, el hombre occidental comenzó a patentizar su identidad con la mente racional en vez de con todo su organismo.

Separando la mente de la materia se llegó a la idea del universo como sistema mecánico, formado de objetos aislados que, a su vez, estaban reducidos a componentes básicos cuyas propiedades e interacción determinaban los fenómenos naturales. Este concepto tan mecánico del mundo se aprecia en las ciencias y en la fragmentación de las disciplinas académicas.

En los siglos xvi y xvii los conceptos medievales sufrieron un gran cambio. El universo orgánico, vivo y espiritual fue reemplazado por un mundo similar a una máquina, como fruto de cambios revolucionarios en la física y en la astronomía que culminaron en las teorías de Copérnico, Galileo y Newton. La ciencia del siglo xvii se apoya en un nuevo método de investigación, defendido por Bacon, que incluía dos teorías: la descripción matemática de la naturaleza y el método analítico de razonamiento ideado por Descartes. Los historiadores llaman a este periodo la era de la *revolución científica*.

Mientras en Italia Galileo ideaba sus experimentos, en Inglaterra Francis Bacon fue el primero en formular una *teoría clara del procedimiento inductivo* que consiste en extraer una conclusión general a partir de un experimento y luego confirmarla con otros experimentos. Estos cambios, fueron iniciados y completados por dos grandes figuras del siglo xvii: René Descartes e Isaac Newton.

El método cartesiano cuya clave es la duda radical, es analítico. Divide los pensamientos y problemas en cuantas partes sea posible y luego los dispone según un orden lógico. El método de razonamiento analítico quizá sea la principal contribución de Descartes a la ciencia. El racionalismo se ha convertido en característica esencial del pensamiento científico moderno y ha demostrado su utilidad en el desarrollo de teorías científicas y de proyectos tecnológicos. Aunque ha propiciado la postura *reduccionista*.

El método cartesiano y su visión de la naturaleza han influido en todas las ramas de la ciencia moderna y pueden seguir utilizándose siempre que se admitan sus limitaciones. Aceptar la visión de Descartes como una verdad absoluta y su método como una manera válida de lograr el conocimiento, opina un sector de pensadores, ha sido una de las principales causas de nuestro desequilibrio cultural.

Isaac Newton (1642) completó la Revolución Científica, al desarrollar toda una matemática acerca del concepto mecanicista de la naturaleza. Con la física newtoniana, máximo logro de la ciencia del siglo xvii, fundó una teoría matemática que fue la base del pensamiento científico hasta mediados del siglo xx.

Las partículas de materia son los elementos del mundo newtoniano que se mueven dentro del espacio y el tiempo absolutos. La materia estaba formada por estos objetos pequeños, sólidos e indestructibles. Su teoría era corpuscular y se diferenciaba del atomismo actual en que los átomos, según Newton, estaban todos hechos de la misma materia. El movimiento de las partículas era dado por la fuerza de gravedad, cuyos efectos se describen en las ecuaciones newtonianas, base de la mecánica clásica.

Según Newton, el universo está regido por leyes inmutables. Este concepto mecanicista de la naturaleza tiene íntima relación con el determinismo riguroso, con la gigantesca máquina del cosmos que es causal y determinada. El mundo es un sistema mecánico que podía describirse objetivamente, sin tomar en cuenta al observador humano, descripción que se tornó en ideal de todas las ciencias. En los siglos xviii y xix la mecánica fue puesta en práctica y cosechó grandes éxitos.

Con el estudio sobre el comportamiento físico de los gases, Dalton formula su famosa hipótesis atómica, quizá, el paso más importante de la química en toda su historia. Con esta hipótesis, los químicos del siglo xix desarrollaron una teoría atómica de la química y abrieron el camino para la unificación conceptual de la física y la química, que ocurrió en el siglo xx.

La física moderna comienza con la proeza intelectual de Einstein, quien publica en 1905 dos artículos que dieron pie a dos tendencias revolucionarias en el pensamiento científico moderno. En el primero exponía la teoría general de la relatividad, y en el segundo, trataba una nueva manera de concebir la radiación electromagnética, con las principales características de la teoría cuántica o de los fenómenos atómicos. La cuántica la elaboraría veinte años después un equipo de físicos mientras que la teoría de la relatividad la formuló prácticamente en su totalidad el propio Einstein.

Este científico comenzó por dar una estructura común a dos teorías de la física clásica: la electrodinámica y la mecánica, estructura conocida como teoría especial de la relatividad. La teoría de Einstein unifica y completa el esquema de la física clásica y conlleva un cambio radical de los conceptos tradicionales de tiempo y espacio, que socava los cimientos de la visión newtoniana del mundo. Diez años después, Einstein propuso la teoría general de la relatividad, en la que el esquema de la anterior se extendía a las leyes de la gravitación. Para llegar a esta fórmula, modifica drásticamente los conceptos de tiempo y espacio.

Otro desarrollo significativo de la física del siglo xx fue resultado de la investigación experimental realizada en el campo atómico. A finales del siglo pasado, los físicos descubrieron varios fenómenos relacionados con la estructura de los átomos, entre ellos, los rayos X y la radiactividad, que no podían explicarse en términos de física clásica.

La investigación experimental atómica de inicios de siglo xx descubrió que los átomos no eran las partículas duras y sólidas de la teoría consagrada, sino que consistían en vastos espacios y un núcleo alrededor del cual se movían unas partículas muy pequeñas: los electrones. Después, la teoría cuántica demostró que incluso las partículas subatómicas -electrones, protones y neutrones situados en el núcleo- no tenían ninguna semejanza con los objetos sólidos de la física clásica. Estas unidades de materia subatómica son entidades duales muy

abstractas: según como se las vea, unas veces aparecen como partículas, y otras, como ondas. La naturaleza dual también está presente en la luz. Einstein fue el primero en llamar *cuantos* -de ahí el origen del término *teoría cuántica*- a las partículas de luz, hoy conocidas con el nombre de fotones.

La teoría cuántica ha demostrado que las partículas subatómicas no son corpúsculos aislados de materia, sino modelos de probabilidades, conexiones de una red cósmica indivisible que incluye al observador humano y su conciencia. La teoría de la relatividad ha dado vida a la red cósmica, al revelar su naturaleza intrínsecamente dinámica y al demostrar que su actividad es la esencia misma de su existencia. La física moderna ha reemplazado la imagen mecánica del universo por la de una unidad individual y dinámica cuyas partes constitutivas están vinculadas en su esencia y que puede concebirse sólo como modelo de un proceso cósmico.

La nueva concepción del universo surgida de la física moderna no significa que la física newtoniana esté equivocada o que la teoría de la relatividad y la cuántica sean correctas. Para la ciencia moderna las teorías científicas son aproximaciones a la verdadera naturaleza de la realidad. Los científicos construyen teorías limitadas y aproximativas, *modelos*, cada vez más exactas, pero incapaces de dar una descripción completa y definitiva de los fenómenos naturales.

En biología el enfoque reduccionista ha cosechado grandes éxitos, culminando con el descubrimiento de la naturaleza química de los genes y de las unidades básicas de la herencia y desentrañando el código genético, aunque también ha tenido grandes limitaciones. Esto resulta muy difícil de admitir para la mayoría de biólogos contemporáneos. Entusiasmados por los triunfos del método reduccionista, especialmente los avances recientes en el campo de la ingeniería genética, los biólogos tienden a creer que es el único enfoque válido y han organizado sus investigaciones de acuerdo con él.

No es fácil determinar las limitaciones exactas del enfoque cartesiano en el estudio de los organismos vivos. Los problemas que los biólogos actuales no pueden resolver, aparentemente debido a su enfoque parcial y fragmentario, parecen estar relacionados con el funcionamiento de los sistemas vivos como unidades y con las interacciones que éstos tienen con el entorno.

Un elemento de gran importancia para descifrar el código genético fue el hecho de que varios físicos de aquella época comenzaron a interesarse por la biología. Max Delbrück, Francis Crick y Maurice Wilkins, entre otros, habían realizado estudios de física antes de unirse a los bioquímicos y los genetistas para estudiar las leyes de la herencia. Estos científicos trajeron consigo un nuevo rigor, una nueva perspectiva y nuevos métodos que transformaron completamente la investigación.

Para resolver estos problemas se necesita un nuevo paradigma, una nueva dimensión conceptual que vaya más allá del enfoque cartesiano. Es probable que la visión de sistemas se convierta en la base conceptual de la nueva biología.

### OTROS PARADIGMAS EN LA CIENCIA: ALGUNOS CASOS

La ciencia avanza rauda con nuevos paradigmas que alumbran su camino. Podría afirmarse que el “paradigma clásico no sólo ha cambiado, sino que se ha invertido. Lo naturalmente *natural* era antes lo determinista y lo reversible; lo artificialmente *excepcional* era lo aleatorio o irreversible. Hoy se acepta la idea exactamente opuesta”. Y se pide una “*conversión* para renovar la ciencia, seleccionando paso a paso configuraciones nuevas de los infinitos estímulos que nos vienen del exterior, distintas de las que han estado de moda estos últimos años”.

Sólo con el ánimo de otear y muy fugazmente el interesante y complejo panorama de la ciencia, de inmediato se hace una presentación de tres casos que podrían ayudarnos a saber acerca de los “tendencias” en la ciencia.

### El pensamiento sistémico

Durante el siglo pasado surgió la tensión entre las partes y el todo. El énfasis en las partes es mecanicista, reduccionista, y el énfasis sobre el todo es holístico. La perspectiva holística se llama sistémica y conlleva el pensamiento sistémico, que fue encabezado por biólogos, quienes pusieron de relieve la visión de los organismos vivos como totalidades integradas.

Según la visión sistémica, las propiedades esenciales de un organismo o sistema viviente, son propiedades del todo que ninguna de las partes posee. Emergen de las interacciones y relaciones entre las partes. Estas propiedades se destruyen cuando el sistema se disecciona, física o teóricamente, en elementos aislados. Aunque podemos discernir partes individuales en todo sistema, estas partes no están aisladas y la naturaleza del conjunto es siempre distinta de la mera suma de sus partes.

La ciencia del siglo xx constató que los sistemas no pueden ser comprendidos por medio del análisis. Las propiedades de las partes no son propiedades intrínsecas, sino que sólo pueden ser comprendidas en el contexto de un conjunto mayor. El pensamiento sistémico no se concentra en los componentes básicos, sino en los principios esenciales de organización, es “contextual”, en contrapartida al analítico.

La ecología enriqueció el pensamiento sistémico con dos nuevos conceptos: comunidad y red. Los ecólogos facilitaron el cambio de atención de los organismos hacia las comunidades y, empezaron a aplicar los modelos de redes a todos los niveles sistémicos.

La visión de los sistemas vivos como redes da una nueva perspectiva a las llamadas jerarquías de la naturaleza. Podemos representar un ecosistema como una red con unos cuantos nodos. *La trama de la vida* está constituida por redes dentro de redes. En cada escala y con un mayor detalle, los nodos de una red se revelan como redes más pequeñas. Tendemos a organizar estos sistemas, todos dentro de sistemas mayores, en un esquema jerárquico, situando los mayores por encima de los menores a modo de pirámide invertida, esto es sólo una proyección humana. En la naturaleza no hay un arriba ni un abajo ni se dan jerarquías. Sólo hay redes dentro de redes.

En la visión mecanicista el mundo es una colección de objetos, con relaciones secundarias entre ellos. Para el pensador sistémico las relaciones son prioritarias. Las fronteras entre patrones discernibles (objetos) son secundarias.

En el pensamiento sistémico al percibir la realidad como una red de relaciones, nuestras descripciones forman también una red interconectada de conceptos y modelos en la que no hay cimientos. Para muchos científicos, esta visión del conocimiento como red sin cimientos firmes resulta aún muy inquietante. Pero, si la idea de red se expande entre los científicos, la idea del conocimiento como red encontrará una creciente aceptación.

La visión de la realidad como una red inseparable de relaciones, afecta al concepto tradicional de la objetividad científica. En el paradigma cartesiano, las descripciones son objetivas, independientes del observador humano y del proceso de conocimiento. Con el nuevo paradigma, la epistemología -la comprensión del proceso de conocimiento- debe incluirse en la descripción de los fenómenos naturales.

De hecho, la aparición del pensamiento sistémico constituyó una profunda revolución en la historia del pensamiento científico occidental. Los conceptos de Bertalanffy del sistema abierto y la teoría general de sistemas fueron los que establecieron el pensamiento sistémico como movimiento científico mayor.

Bertalanffy dio un primer paso crucial al afirmar que los organismos vivos son organismos abiertos que no pueden ser descritos por la termodinámica clásica. Los llamó abiertos porque, para seguir vivos, necesitan alimentarse de un flujo continuo de materia y energía proveniente de su entorno.

A diferencia de los sistemas cerrados, que se instalan en un estado de equilibrio térmico, los sistemas abiertos se mantienen lejos del equilibrio en este *estado estable* caracterizado por un continuo flujo y cambio. Bertalanffy habló de equilibrio fluyente para describir este estado de equilibrio dinámico. Vio que la termodinámica clásica, que trata de sistemas cerrados en o cerca del estado de equilibrio, resultaba inadecuada para describir sistemas abiertos en estados estables lejos del equilibrio. La formulación de la nueva termodinámica de sistemas abiertos debería esperar hasta que Ilya Prigogine, con nuevas matemáticas reevaluara la segunda ley.

### **Estructuras Disipativas: una solución para la dicotomía Entropía (Segunda Ley) - Evolución**

La primera y quizá más influyente descripción detallada de los sistemas autoorganizadores fue la teoría de las *estructuras disipativas* de Ilya Prigogine quien ponderaba la naturaleza de la vida: “Siempre pensé que la existencia de vida a nos dice algo muy importante sobre la naturaleza”.

Intrigaba mucho a Prigogine, que los organismos vivos fuesen capaces de mantener sus procesos vitales bajo condiciones de no equilibrio. Con los sistemas alejados del equilibrio térmico inició una exhaustiva investigación para averiguar qué condiciones precisas de desequilibrio pueden ser estables.

El descubrimiento crucial de Prigogine ocurrió al darse cuenta de que los sistemas que están lejos del equilibrio deben describirse por ecuaciones no-lineales. El claro reconocimiento de la relación entre *lejos del equilibrio y no-linealidad*, abrió a Prigogine una vía de investigación que culminaría una década después en su *teoría de la autoorganización*.

Este científico desarrolló uno de los tratamientos más profundos y originales dados a la entropía. A partir de la descripción de procesos estrictamente físicos donde se crean patrones sorprendentes como los copos de nieve, o las reacciones químicas que exhiben un comportamiento oscilante entre diferentes estados, concluye que lejos del equilibrio las cosas en ciertas circunstancias se organizan por sí mismas.

Prigogine sostiene que la vida no escapa a la segunda ley puesto que en los procesos de organización la entropía total siempre aumenta. El termino general entropía se divide en dos partes; la primera refleja los intercambios entre el sistema y el mundo exterior  $S_E$ , y la segunda describe la entropía que se produce al interior mismo del sistema  $S_i$ . La segunda ley exige que la suma de estas dos sea positiva, excepto en estado de equilibrio cuando es cero,  $S_E+S_i=0$ . Lejos del equilibrio la primera entropía alcanza valores positivos muy altos,  $S_E>S_i$ , por lo que, aunque la segunda sea negativa, la suma de las dos sigue siendo positiva. Esto quiere decir que en sistemas lejos del equilibrio pueden presentarse disminuciones locales de entropía que se manifiestan en un aumento impresionante de organización interna.

Los organismos son sistemas abiertos al intercambio de energía y materia con su entorno; por tanto, no pueden concebirse separados de su medio ambiente. Cualquier sistema abierto está sujeto a los flujos de materia y de energía que generan un desequilibrio, dando lugar a una amplificación de las fluctuaciones internas. En esta situación, las acciones ejercidas sobre el sistema no generan una reacción en sentido contrario que tienda a restablecer la configuración anterior, sino que una vez sobrepasado un umbral de estabilidad, pueden destruir la estructura inicial y generar configuraciones o cambios estructurales impredecibles. A medida que las fuerzas externas se hacen mayores, el alejamiento del equilibrio se incrementa y la linealidad en el comportamiento del sistema se va perdiendo.

A mayor lejanía del equilibrio, se presentarán más perturbaciones a nivel microscópico, algunas de las cuales poseen un potencial de amplificación insospechado. Se trata del proceso de autoorganización que da lugar a “estructuras disipativas”, llamadas así porque generan orden a costa de disipar entropía al entorno.

Una estructura disipativa presenta un margen de autonomía con respecto a perturbaciones tanto externas como internas. Cuando los umbrales de estabilidad se sobrepasan, el sistema sufre una transición discontinua (brusca) hacia un nuevo régimen, que pertenece al conjunto limitado de transformaciones cinéticas accesibles, como un árbol de bifurcaciones.

La existencia de bifurcaciones en las que el sistema puede tomar una entre varias direcciones, implica que la indeterminación es otra característica de la teoría de Prigogine. Llegado al punto de bifurcación, el sistema puede “escoger” -metafóricamente hablando- entre varios caminos o estados posibles. La “elección”, que no puede en ningún caso ser pronosticada, dependerá de los antecedentes del sistema y de varias condiciones externas. Existe pues un elemento irreducible de aleatoriedad en cada punto de bifurcación.

En este aspecto, el comportamiento de los sistemas lejos del equilibrio presenta características equiparables a las descritas para el proceso de la evolución, como son la especiación seguida de periodos de éxtasis.

Por consiguiente, sólo en situaciones lejanas del equilibrio es posible pensar en una dinámica de cambio estructural, propia de un proceso evolutivo. Las nuevas estructuras aparecen como consecuencia de una inestabilidad; no hay posibilidad de una estabilización permanente.

Como consecuencia, lejos del equilibrio hay generación de variabilidad interna -materia prima del proceso evolutivo- por contraposición a los procesos de estabilización de la estructura externa que ocurren a medida que se acercan a un punto de equilibrio.

En otras palabras, la segunda ley creó la vida, porque sólo un mundo rico en procesos disipativos puede sustentar la autoorganización. La emergencia y la evolución de la vida no obedecieron a ningún accidente, sino que fueron una consecuencia de la dinámica fundamental del universo.

Por sus características la teoría de Prigogine, igual que la teoría cuántica y la teoría del caos, nos recuerda nuevamente que el conocimiento científico no puede ofrecernos más que “una limitada ventana al universo”.

### **El pensamiento complejo**

El conocimiento científico fue concebido durante mucho tiempo, y aún lo es a menudo, como si su misión fuese la de disipar la aparente complejidad de los fenómenos, a fin de revelar el orden simple al que obedecen.

Es complejo aquello que no puede resumirse en una palabra maestra, que no puede retrotraerse a una ley, que no puede reducirse a una idea simple. Lo complejo no puede resumirse en el término complejidad, retrotraerse a una ley de complejidad, o bien reducirse a la idea de complejidad.

Será necesario ver si hay un modo de pensar o un método, capaces de estar a la altura del desafío de la complejidad. No se trata de retomar la ambición del pensamiento simple de controlar y dominar lo real. Se trata de ejercitarse en un pensamiento capaz de tratar, de dialogar, de negociar con lo real.

Edgar Morin, uno de los grandes ideólogos sobre estas materias considera que es preciso disipar dos ilusiones que alejan a los espíritus del problema del pensamiento complejo.

La primera, creer que la complejidad elimina la simplicidad. La complejidad aparece allí donde el pensamiento simplificador falla, e integra en si misma todo aquello que pone orden, claridad, distinción, precisión en el conocimiento. Cuando el pensamiento simplificador desintegra la complejidad de lo real, el pensamiento complejo integra lo más posible los modos simplificadores de pensar, pero rechaza las consecuencias mutilantes, reduccionistas, unidimensionantes y cegadoras de una simplificación que toma por reflejo de lo que existe en la realidad.

La segunda ilusión es la de confundir complejidad con completud. El pensamiento complejo ambiciona rendir cuenta de las articulaciones entre dominios disciplinarios quebrados por el pensamiento disgregador. Aspira el conocimiento multidimensional, sabe que el conocimiento completo es imposible y reconoce un principio de incompletud y de incertidumbre. El pensamiento complejo está animado por una tensión permanente entre la aspiración a un saber no parcelado y por el reconocimiento de lo inacabado e incompleto de todo conocimiento.

La complejidad, entonces, es un tejido de constituyentes heterogéneos inseparablemente asociados: presenta la paradoja de la uno y lo múltiple.

Se postula la posibilidad y al mismo tiempo, la necesidad de una unidad de la ciencia. Unificación que no tendría sentido, si fuera únicamente reduccionista, llevando al nivel más simple de organización los fenómenos de organización compleja. Sólo tiene sentido si es capaz de aprehender, al mismo tiempo, unidad y diversidad, continuidad y rupturas. En esta concepción, física, biología, antropología, dejan de ser entidades cerradas, pero no pierden su identidad. La unidad de la ciencia respeta a estas ciencias, pero golpea al fisicismo, al biologismo, al antropologismo.

En la visión clásica, cuando una contradicción aparecía en un razonamiento, era una señal de error. Significaba retroceder e iniciar otro razonamiento. Pero en la visión compleja, cuando se llega a contradicciones, ello no significa un error sino el hallazgo de una capa profunda de la realidad que, justamente porque es profunda, no puede ser traducida a nuestra lógica.

La aspiración a la complejidad lleva en sí misma la aspiración a la completud, porque sabemos que todo es solidario y multidimensional. Pero, en otro sentido, la conciencia de la complejidad nos hace comprender que no podremos escapar jamás a la incertidumbre y que jamás podremos tener un saber total: “la totalidad es la no verdad”.

Desde luego, que no puede aparecer, sin más, un paradigma de complejidad. Un paradigma, es en el fondo, el producto de todo un desarrollo cultural, histórico, civilizacional. El paradigma de complejidad provendrá del conjunto de conceptos, visiones, descubrimientos y reflexiones nuevos que van a conectarse y reunirse. Si el pensamiento simplificante se funda en la dominación de dos tipos de operaciones lógicas: disyunción y reducción, los fundamentos del pensamiento complejo serán los principios de distinción, conjunción e implicación.

El principio de la complejidad, de alguna manera y, a juicio de Morin se fundará sobre la predominancia de la conjunción compleja. Pero, también considera que es una tarea cultural, histórica, profunda y múltiple. El pensamiento complejo no rechaza, de ninguna manera, la claridad, el orden, el determinismo. Pero los sabe insuficientes, sabe que no podemos programar el descubrimiento, el conocimiento, ni la acción.

Lo que el pensamiento complejo puede hacer, según Morin, es darle a cada quien una señal que le recuerde: “No olvides que la realidad es cambiante, no olvides que lo nuevo puede surgir y, de todos modos, va a surgir”. Agrega, que la complejidad se sitúa en un punto de partida para una acción más rica. El cree que cuanto menos mutilante sea un pensamiento, menos mutilará a los humanos. Y que debemos recordar las ruinas que las visiones simplificantes han producido, no sólo en el mundo intelectual, sino también en la vida, causando sufrimientos a millones de seres como resultado de los efectos del pensamiento parcial y unidimensional.

### **LA CIENCIA DEL SUELO Y LAS DEMANDAS DE LA SOCIEDAD**

A partir de consideraciones básicas respecto a la ciencia del suelo, se presentan los enfoques para el estudio del suelo, así como lo relativo a la investigación básica y aplicada propias de esta ciencia. También se analiza la integración de la ciencia del suelo con otras ciencias y, al final, se visualizan las demandas de la sociedad y responsabilidades de la ciencia del suelo.

### La ciencia del suelo: posibilidades y restricciones

Resulta de interés tomar un dato histórico de la ciencia del suelo, que puede ilustrarnos acerca de la concepción que se tenía en esa época. Es el caso relativo a las categorías de suelos que fue explicado por los científicos del suelo, de manera muy especial por el científico ruso Dokuchaev, quien a finales del siglo XIX definió las reglas de la distribución de los suelos en el mundo. La ciencia del suelo adoptaba así una perspectiva espacial y global.

Al abocar el estudio de la distribución del suelo, los científicos del suelo empezaron por plantear cuestiones acerca de la génesis y funcionamiento del suelo. En la búsqueda de mayor profundidad dentro de las cuestiones científicas, la ciencia del suelo llegó a ser más diversa y más especializada, y fueron individualizándose disciplinas como la física de suelos, química, mineralogía y biología. Hoy vivimos dentro de este esquema, con unos niveles de especialización muy grandes.

Dos motivos distintos e interrelacionados dinamizan la ciencia del suelo: ampliar el estudio de los suelos frente al deseo humano de entender el funcionamiento del mundo natural; y usar este conocimiento para el avance del bienestar humano.

Surgen dos elementos estructurantes para la ciencia, necesarios para encontrar estos objetivos: con criterio biológico se ve al suelo como un componente de los ecosistemas a través de un rango de escalas; con la óptica de la fertilidad se lo puede ver como una fuente dentro del dominio humano. Esto servirá para orientar la naturaleza de la ciencia que resulta adecuada para el estudio del suelo en función de esos contextos.

Al señalarse que la ciencia del suelo ha estado brillantemente informada por la física y la química reduccionistas, pobremente informada por la biología, ecología y geografía, y grandemente desinformada por las ciencias sociales, se pone en evidencia el divorcio de esta ciencia con la totalidad del cuerpo natural objeto de estudio y con las circunstancias ambientales y sociales que lo envuelven, y la baja capacidad de la misma para intervenir en los problemas globales con los cuales nos enfrentamos.

La existencia de la ciencia del suelo como una disciplina descansa en el reconocimiento del suelo como una entidad, con propiedades y funciones específicas que requieren métodos particulares para su estudio. Los procesos biológicos, geológicos, químicos y físicos están integrados dentro del suelo y expresados en términos de sus propiedades productivas.

### Los enfoques para el estudio de los suelos

En el estudio de los suelos surgieron, progresivamente, dos aproximaciones o enfoques: el naturalista y el objetivo.

En el *naturalista*, el estudio del suelo comienza con el examen cuidadoso de su organización como se observa en la naturaleza. A este enfoque debemos la identificación de la existencia del perfil del suelo con sus horizontes y características básicas. La observación rigurosa del suelo en el campo lleva al muestreo que permite la identificación en el laboratorio de las propiedades del suelo que no son visibles en el campo.

El enfoque *objetivo* considera al suelo como un “material extraído del medio natural, que podemos ver para caracterizar por métodos y técnicas modernos desarrolladas por las disciplinas científicas básicas (física, química, biología)”. Este enfoque podría implicar la secuencia “muestreo-medición-modelamiento”, y es el que permitió avances en la interpretación del funcionamiento del suelo y en el análisis de los procesos y mecanismos pedológicos. A pesar de que hasta ahora ha sido dominante en la ciencia del suelo, se debe admitir que el enfoque objetivo es reduccionista.

Por lo planteado, surge un reto para la ciencia del suelo que debe alcanzar la totalidad, la comprensión global de ese cuerpo natural que es el suelo. Con este propósito, se debe encontrar un camino para unificar como un todo, el conjunto de piezas que forman el suelo.

Se opina, que el progreso de la ciencia del suelo, como en toda ciencia, muestra perfección y un desarrollo lógico sólo en los libros de texto, o en las revisiones históricas. La ciencia del suelo viviente, como los seres humanos vivientes, exhibe verdades parciales, intenciones, ensayo y error, y subjetividad.

### La bifurcación en la ciencia del suelo: investigación básica y aplicada

Es preciso que la investigación básica en la ciencia del suelo provea un conocimiento continuo, a fin de que la investigación aplicada pueda extraerlo para encarar los problemas agrícolas, ambientales y urbanos en las escalas regional y global. Lo anterior sin perder de vista la singularidad del recurso suelo y los procesos que gobiernan su desarrollo, el rol esencial que el suelo juega en los ciclos del agua, elementos químicos, y organismos en nuestro planeta, y la naturaleza integrativa y multidisciplinaria que la ciencia del suelo debe exhibir.

### La investigación básica en la ciencia del suelo

La investigación básica en la ciencia del suelo es el estudio de un ecosistema, tanto como el estudio de un componente dentro de un ecosistema todavía más grande, entonces, es interdisciplinaria por naturaleza. Utiliza los principios y métodos de las ciencias puras, pero con un completo conocimiento de y una valoración por el medio integrativo y complejo que es el suelo. Esta investigación en retomo, promueve la comprensión en las ciencias biológicas y físicas puras porque explora problemas que quizás no surgen en éstas, campos más restringidos de indagación científica. Fenómenos que nunca se han visto antes en experimentos de laboratorio existen en condiciones naturales del suelo.

Los científicos que hacen investigación básica deben utilizar su considerable conocimiento en ciencia pura, a fin de integrar los principios y conceptos desarrollados en las disciplinas de la ciencia pura para modelar y cuantificar la diversidad del suelo y su comportamiento.

La investigación básica en la ciencia del suelo comprende estudios de campo y laboratorio. El reto es transferir resultados de estudios de laboratorio o modelos de simulación al sistema suelo. La investigación básica también es retardadora porque tiende a un concepto más holístico del medio ambiente terrestre y de su comportamiento, una aproximación *integrativa* a las propiedades biológicas, químicas, y físicas de la capa más superficial y meteorizada de la corteza terrestre y su biota asociada. Quienes practican investigación básica, siempre se preguntan ¿Qué es el suelo?

La investigación básica en ciencia del suelo debe aprender de y contribuir a las emergentes y más complicadas disciplinas de la ecología y de la ciencia de los sistemas terrestres, mientras la sociedad como un todo y la comunidad científica se enfrentan con los problemas medioambientales regionales y globales.

### La investigación aplicada en la ciencia del suelo

La investigación aplicada en la Ciencia del Suelo continuará jugando un rol definitivo en la creación de nuevas tecnologías para resolver problemas y asegurar la producción económica de alimentos, fibras, y combustible para una creciente población mundial. Por eso, la investigación aplicada seguirá ocupándose de contribuir a solucionar problemas como:

- Conservación de los recursos agua y suelo
- Disminución de la polución de la atmósfera, suelo y agua
- Desarrollo de sistemas de riego y de drenaje más eficientes y económicos
- Mejoramiento de la eficiencia del uso de nutrientes y agua en la producción de cultivos
- Mejoramiento de condiciones limitantes de orden físico y químico
- Corrección de campos disturbados drásticamente
- Aporte de tecnología para transferir a los usuarios.

Quienes adelantan ciencia aplicada del suelo con una perspectiva global, tienen una oportunidad para unirse a científicos de otras disciplinas aplicadas en el tratamiento y solución de problemas críticos. Problemas

como la falta de alimentos, de los recursos naturales, o ambientales, tienen unas dimensiones predominantemente políticas, sociales y económicas, pero resultan polémicas vacuas sin sólidas contribuciones técnicas que, a su vez, deben apoyarse en una efectiva red de información continental y global entre los científicos dedicados a la investigación aplicada de la ciencia del suelo, economistas, especialistas en política y administradores.

Los problemas previamente señalados podrían también ser consistentes con el espíritu de la investigación básica en la ciencia del suelo. Realmente, ellos están, porque la investigación en la ciencia del suelo en su contexto institucional actual, es, sobre todo, una investigación *orientada a una misión*. Está motivada porque *percibe necesidades sociales* en la agricultura, el manejo de los recursos naturales, o el comercio, motivación distinta de aquella que orienta las ciencias puras, la cual está principalmente para *abrir caminos científicos y tecnológicos*.

La investigación científica pura es así un *concepto guiado*, mientras la investigación orientada a una misión es un *problema guiado*. Cualquier tipo de investigación puede ser básica o aplicada, la característica distintiva será entonces cuál investigación está dirigida hacia la comprensión fundamental “descifrar incógnitas o interrogantes”, o hacia la aplicación de esta comprensión como parte de una contribución técnica a una causa real en el mundo “resolver el problema”. Mucho se mejoraría en el avance de la ciencia del suelo si el soporte institucional de la investigación distinguiera más claramente, entre “investigación orientada a una misión” e investigación científica pura.

### La ciencia del suelo y la integración con otras ciencias

La mayor parte de problemas del desarrollo o del medioambiente no pueden ser resueltos únicamente por la ciencia del suelo, necesitan el esfuerzo combinado de los científicos del suelo y de especialistas de lo biofísico y lo social. De ahí que, en muchos casos, deba usarse una aproximación interdisciplinaria holística para la investigación en suelos. Se impone la interdisciplinaria en este escenario como que el objetivo es resolver un problema y no una salida disciplinaria. Este enfoque debe proveer un valor agregado u holístico ligado a la confrontación de las disciplinas involucradas.

Un caso ilustrativo es el de la conservación de suelos que no puede resolverse por tecnología ligada únicamente a la ciencia del suelo. La conservación del suelo debe adelantarse en compañía de los usuarios del suelo, quienes a menudo tienen sus propios sistemas.

Lo anterior es cierto para otros dominios donde los científicos del suelo tienen que intervenir para responder a las demandas sociales, y tienen que aprender a trabajar en equipos que involucran otros científicos distintos a sus propios pares y de acuerdo con una nueva agenda más participativa.

Sin embargo, trabajar de una manera interdisciplinaria no significa que los científicos del suelo pierdan su identidad. Deberán sí, adoptar diferentes perspectivas para desarrollar y usar los conocimientos de la ciencia del suelo y para adaptar las metodologías de investigación a los problemas que deben ser solucionados.

El suelo es el “motor” de la tierra, y en las ocasiones en que ésta resulta amenazada por las actividades humanas, la curación de muchos males podría relacionarse con el manejo apropiado del suelo. Pero el suelo no debe ser manejado por separado de la biosfera de la cual forma parte y de las propiedades que este regula. Se pide que las sociedades científicas tomen la iniciativa para integrar la ciencia del suelo con la ecología local y global, y para buscar la integración entre las ciencias sociales y las biofísicas.

### Demandas de la sociedad y responsabilidades de la ciencia del suelo

El papel de la Ciencia del suelo ha estado muy asociado con el desarrollo agrícola y su importancia social se ha venido valorando en este ámbito. Esta visión desconoce las posibilidades que tiene esta ciencia, porque el estudio del suelo tiene que ver con otros roles importantes en el desarrollo de las sociedades humanas, como

el aporte de materiales y energía, el comportamiento del agua, el soporte de edificaciones. Nuestra Ciencia del suelo no cubre todos estos tópicos.

Las demandas sociales conciernen a la investigación del suelo integrada con investigación biofísica y social, no sólo con respecto a la productividad y conservación del suelo sino también a la calidad. Esto implica que la máxima productividad o conservación no siempre es imperativa y que niveles intermedios pueden ser suficientes. Ello valora la necesidad para investigar acerca de la dinámica de los procesos del suelo, y cómo ellos pueden tener una mayor influencia sobre la producción y el equilibrio ambiental. Por tanto, más allá de la clásica demanda del sector agrícola, deben considerarse otras de sectores como el ambiental, la ingeniería civil o la educación. Es evidente que los científicos del suelo encuentran dificultad en preparar alternativas o salidas que vayan más allá de la ciencia del suelo.

No cabe duda, la ciencia del suelo tendrá que estar cada vez más bajo el escrutinio de la sociedad, porque recursos tan preciados como el suelo y el agua se están volviendo escasos.

Latham (1998) pone a consideración una propuesta que permite visualizar la forma de hilvanar los propósitos que animan a la ciencia del suelo con las demandas y retos que surgen de la sociedad. Es un buen punto de partida para adicionar o eliminar criterios, que perfeccionen la referida propuesta.

La sociedad forma el esquema en el cual el conocimiento se produce y para el cual está siendo producido, por eso las ciencias no son neutras desde un punto de vista social, y tampoco su extensión y aplicación, que reflejan la organización de la sociedad. Cabe indagar para quién está trabajando la ciencia del suelo, y pensar acerca de quienes toman parte en el sistema que reúne agricultura, investigación científica, extensión y aplicación de los resultados de investigación. En las actuales circunstancias saber también lo que se está haciendo en términos de protección ambiental.

Además, no olvidemos que los institutos y los centros de investigación sólo serían entidades abstractas sin los investigadores, quienes son la vida de dichos establecimientos. Son estas personas las que determinan el progreso de la ciencia y sobre quienes en últimas cae la responsabilidad social.

Con el énfasis reciente acerca de la importancia de los ecosistemas terrestres en la mitigación o complicación del cambio global, el papel de los suelos en la biosfera (la colección total de organismos vivientes en la tierra) cada vez resulta más importante. En todas las escalas, microscópica, local, regional, o global, el desafío de la humanidad consiste en sostener los ecosistemas terrestres con un manejo que sea biológicamente viable, ambientalmente sano y que conserve los recursos renovables, tales como el suelo.

El suelo es un componente del capital natural que los humanos heredan de la tierra, capital que gastamos cuando pasamos los campos a sistemas agrícolas para producir alimentos y fibras. La destrucción de este capital base, entonces, merma nuestra capacidad para mantener los servicios esenciales de los ecosistemas para el futuro de la sociedad. Este conflicto entre la explotación y la inversión constituye el corazón de la paradoja del desarrollo sostenible.

El suelo moderno (el de hoy) es así tanto un producto de la intervención humana como de la evolución biológica y física, y ocurre a una variedad de escalas. En consecuencia, 'La interacción de factores sociales y económicos con los procesos ecológicos en función del tiempo es fundamental para entender la condición del suelo en la actualidad'.

Frente al rol multifacético de los suelos, también aparece una comprensión de la calidad de los suelos, como aquella del aire o del agua, hecho que muy bien puede significar la diferencia entre la extinción o supervivencia de la humanidad.

**Tabla 1. Algunos objetivos de la ciencia del suelo, demandas de la sociedad y retos para la ciencia del suelo (Latham, 1998)**

Objetivos de la ciencia del suelo	Demandas de la sociedad	Retos de la sociedad para la ciencia del suelo
Conocimiento y distribución de los suelos Conocimientos de las reglas de manejo del suelo	Incrementar sosteniblemente la productividad de los sistemas de producción  Definición de “territorios”	Ajustar el factor suelo a la optimización de sistemas de producción con criterio sostenible  Encontrar parámetros pertinentes del suelo para identificar “territorios”
Conocimiento del funcionamiento del suelo	Mantener el mayor equilibrio ecológico	Incrementar el poder del suelo para fijar carbono y productos contaminantes y conocer cómo se descontaminan los suelos
Evaluación del potencial del suelo	Sistemas de soporte para la decisión en la evaluación de las tierras	Encontrar indicadores simples y relevantes de calidad del suelo
Conocimiento de los procesos de degradación del suelo y de tecnologías para rehabilitar suelos degradados	Cómo reducir la degradación de tierras y rehabilitar las degradadas	Evaluar métodos de conservación de suelos y aguas y el nivel de las vertientes de acuerdo con perspectivas de uso de las tierras
Organización de bases de datos de suelos	Desarrollar sistemas de información geográfica (SIG) para el manejo de los recursos naturales (MRN)	Identificar datos relevantes del suelo que pueden ser incorporados en MRN/SIG
Educación en la ciencia del suelo	Para incrementar la percepción pública de la importancia del suelo y otros recursos naturales	Enseñar en los diferentes servicios públicos cómo manejar y conservar el suelo y otros recursos naturales para las futuras generaciones

## REFLEXION FINAL

Dada la naturaleza del tema tratado, no sería juicioso que el autor de este escrito planteara conclusiones y peor recomendaciones. Esta presentación cumpliría con creces su cometido si logra despertar inquietudes entre quienes se interesan por el progreso de la ciencia del suelo y por el servicio que ésta pueda prestar a la sociedad de hoy de mañana.

Tomemos en cuenta el planteamiento de Enrique Leef, cuando opina que “La construcción de una nueva racionalidad productiva no sólo depende de la transformación de las condiciones económicas, tecnológicas y políticas que determinan las formas dominantes de producción, sino que también obedece a ciertas ideologías teóricas delimitadas por paradigmas científicos que obstaculizan las posibilidades de reorientar las prácticas productivas hacia un desarrollo sostenible.”

Hagamos propias las ideas de Ilya Prigogine, quien expresa, “Nos hallamos tan sólo al principio en la profundización de nuestros conocimientos sobre la naturaleza que nos rodea, y esto es de una importancia capital para la inserción de la *vida en la materia y del hombre en la vida*.”

## BIBLIOGRAFIA

Andrade, Eugenio. 2000. Los demonios de Darwin. Semiótica y codificación biológicas. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. pp. 61-64.

- Capra, Fritjof. 1998. El punto crucial. Ciencia, sociedad y cultura naciente. Trad. del inglés por Graciela de Luis. Buenos Aires, Editorial Estaciones. 514 p.
- Capra, Fritjof. 1999. La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos. Trad. del inglés por David Sempau. Barcelona, Anagrama. 358 p.
- Kuhn, Thomas S. 2000. La estructura de las revoluciones científicas. 5a. Reimpresión. Trad. del inglés por Agustín Contin. Bogotá, Fondo de Cultura Económica. 319 p.
- Latham, Marc. 1998. Soil science and society-challenges at the advent of the 21st. century. 16<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. Montpellier, France, ISSS. 9 p.
- Leff, Enrique. 1994. Ecología y capital. Racionalidad ambiental, democracia participativa y desarrollo sustentable. 2a. ed. México, Siglo veintiuno editores. 437 p.
- Margalef, Ramón. 1996. Variaciones sobre el tema de la selección natural. Exploración, selección y decisión de sistemas complejos de baja energía. 2a. ed. *In* Wagensberg, Jorge, ed. Barcelona, Tusquets. pp. 121-140.
- Morin, Edgar. 1998. Introducción al pensamiento complejo. Barcelona, Kairos. 167p.
- Prigogine, Ilya. 1997. ¿Tan solo una ilusión? Una exploración del caos al orden. 4a. ed. Trad. por Francisco Martín. Barcelona, Tusquets. 325 p.
- Queiroz Neto, José Pereira. 1998. Soil Science-its nature and the challenges it must face. 16<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. Montpellier, France, ISSS. 14 p.
- Ruellan, Alain y Targulian, Víctor. 1992. La degradación de los suelos. *In* Barriere, Martine. dir. Trad. del francés por Olga García, Pascal Torres y Joseph Alemany. La Tierra, patrimonio común. Barcelona, Paidós. pp. 61-69.
- Schrödinger, Erwin. 1996. La naturaleza y los griegos. Trad. del inglés por Victor Gómez. Barcelona, Tusquets. 132 p.
- Sposito, Garrison. 1998. The amis of soil science-challenge to be taken up by soil science-the applications and benefits of soil science. 16<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. Montpellier, France, ISSS. 14 p.
- Swift, Michael John. 1998. Integrating soils, systems an society. 16<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. Montpellier, France, ISSS. 19 p.
- Wagensberg, Jorge. 1994. Ideas sobre la complejidad del mundo. 3a. ed. Barcelona, Tusquets. 168 p.