

ARTÍCULO

El diagnóstico como estrategia para la inducción del pensamiento relacional en la carrera de Biología*

Alberto Arriaga Frías**, Salvador Gracian Sandoval***, Ana Lilia Muñoz Viveros****, Manuel Mandujano Piña***** y Gumercindo Honorato de la Cruz Guzmán*****

* Diagnosis as strategy for inducing relational thinking in a biology course.

** Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Maestría en Ciencias. UNAM. Correo electrónico: ixbe@unam.mx

*** Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Biólogo. UNAM. Correo electrónico: biosgs@hotmail.com

**** Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Maestría en Ciencias. UNAM. Correo electrónico: analiliamunoz@hotmail.com

***** Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Maestría en Ciencias. UNAM. Correo electrónico: manuelm@unam.mx

***** Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Maestría en Ciencias. UNAM.

Correo electrónico: gumerdelacruz@yahoo.com.mx

Recibido el 5 de diciembre del 2013; aprobado el 3 de marzo del 2014.

PALABRAS CLAVE

Pensamiento relacional/
Diagnóstico/Diagramas de
influencias de Forrester

Resumen

Ante la fragmentación del conocimiento y el predominio del pensamiento lineal en el estudio de procesos y conceptos acerca de las relaciones causa-efecto en el salón de clases, se propone el diagnóstico como herramienta didáctica; en este caso, sobre un desorden nutricional en plantas. Dicha herramienta conjunta el uso de un

formato con indicadores que facilitan la identificación del problema y los denominados diagramas de influencias de Forrester como una manera de favorecer el pensamiento relacional. Se presentan resultados obtenidos con estudiantes de la carrera de Biología, evaluados en dos escenarios diferentes: antes y después de aprender el manejo de los diagramas de influencia, donde se encontró que 70% resolvió favorablemente sus diagnósticos, incluyendo bucles de retroalimentación considerados como parámetros propios del pensamiento relacional.

KEYWORDS

Relational thinking/
Diagnostic/Influence
diagrams of Forrester

Abstract

Given the fragmentation of knowledge and dominance of linear thinking in the study of processes and concepts about cause-effect relationships in the classroom as a teaching tool is proposed to diagnosis, in this case, on a nutritional disorder in plants as a tool joint use of a format-guide and influence diagrams (Forrester) as a way to promote relational thinking. It presented results with

students of Biology assessed in two different scenarios: before and after learning the use of influence diagrams finding that 70% resolved favorably their diagnosis including feedback loops itself considered as a parameter of relational thinking.

Si bien la pretensión de vincular la escuela con la vida ha convivido discursivamente a lo largo del tiempo y el espacio docente desde casi el inicio de la institución escolar, los pensadores griegos (Sócrates, Platón y Aristóteles) afirmaban que el propósito de la educación escolar era preparar a los jóvenes para las tareas del Estado y la sociedad (Díaz, 2006: IX). Esa meta del sistema educativo sigue siendo la integración del conocimiento científico con el cotidiano; es decir, la conjunción de las Ciencias Naturales con las experiencias vividas, en la cual la intención de primer orden es favorecer la instauración, de manera operativa, de un aprendizaje basado en un enfoque situacional de lo aprendido en la escuela. Sin embargo, a pesar de la justificada intención anterior, persiste, bajo un enfoque mecanicista, la repetición acrítica de los mismos esquemas mentales y prácticos dentro de los que, el academismo (apropiación de contenidos científicos “estandarizados”) y el instrumentalismo (realización de prácticas habilitantes de distintos equipos y técnicas diversas), prevalecen enfocados sobre todo a la transmisión de contenidos temáticos (Miranda, 2003: 6).

Taeli (2009: 8) comenta que el docente valora como hegemónico el conocimiento que se adquiere mediante la absorción de datos e información, como el conocimiento “hecho” o “dado”, lo cual implica un enfoque determinista y, con ello, la fragmentación, la simplificación, la causalidad y la predicción se justifican *per se*.

La simplificación de un fenómeno complejo equivale a una aproximación a la realidad, pero en ningún caso es reflejo de lo que acontece en ésta. Por ejemplo, la Ley de la caída libre de un cuerpo evita introducir el efecto de la fricción con el aire; lo que equivale a decir que se cumple en condiciones de vacío. Así, la didáctica tiene el riesgo de alienar la realidad (Espejo, 2010: 123). En el contexto del presente trabajo, otro ejemplo se refiere a los signos observados en una planta cultivada bajo condiciones de invernadero debido a un estado de déficit nutrimental. Las respuestas se limitan a las condiciones microambientales de dicho espacio, que no son necesariamente extrapolables al campo de cultivo por las diversas interacciones omitidas en una condición ambiental abierta; esto es, las conclusiones obtenidas en un invernadero son consistentes e incluso robustas, pero no siempre se aplican a una condición multidimensional (la realidad) de un campesino que cultiva sus tierras.

Los enfoques simplificadores y la fragmentación de contenidos temáticos consideran la enseñanza como causa directa y única del aprendizaje (proceso-producto), a partir de lo cual, en el salón de clases, se valora la eficiencia terminal y no pocas veces la habilidad memorística sobre la comprensión, esto se constituye en signos poco alentadores en pro de un cambio en la didáctica de las ciencias.

John Dewey (1859-1952) fue el motor de muchas propuestas actuales que recuperan la noción del aprendizaje experiencial, la enseñanza reflexiva y situada en un enunciado fundamental: “toda auténtica educación se efectúa mediante la experiencia” (Westbrook, 1993). Con tal nivel de historicidad, y ante la diversidad de estrategias didácticas “relanzadas” de continuo en reuniones académicas (foros, talleres, simposios o en textos excelentes como el de *Enseñanza situada* de la Dra. Frida Díaz Barriga), cabe preguntarse:

¿Por qué la educación sigue reproduciendo paradigmas abiertamente reduccionistas, fragmentarios y, por ende, alejados de la realidad? ¿Por qué ante la crítica de la enseñanza tradicional, las alternativas didácticas conocidas y estructuradas de manera formal no se incluyen en el lenguaje cotidiano o bien, como intención también cotidiana de la práctica docente?

La esquematización y el concepto de sistema como herramientas de aprendizaje

Dentro de las alternativas didácticas hay algunas que, en primera instancia, no favorecen un planteamiento problemático: las clases tradicionales de tipo descriptivo o la lluvia de ideas, esta última entendida como técnica grupal que permite obtener un gran número de ideas sobre un tema de estudio, y otras que, por el contrario, propician que se aborden problemas como los estudios de caso o el denominado Modelo Didáctico Analógico (Galagovsky y Adúris, 2001:238). En el cual se parte de un planteamiento de tipo biológico que, al ser sometido a discusión, se resuelve mediante analogías (por ejemplo, el movimiento del humo y el correspondiente al flujo de agua intracelular y extracelular), donde se debe contar con una lista de agentes externos e internos que pueden entrar o salir de una casa, tanto del fenómeno biológico como del análogo elegido. En cualquier caso, se considera que la problematización de contenidos curriculares abre la puerta a la agudización de los sentidos de los estudiantes y a que puedan establecer relaciones significativas robustas o bien, endebles, en sus respectivos planos de aproximación (célula a célula, célula a tejido, organismo a población, comunidades a ecosistema), donde sea posible someter a juicio crítico aquellas relaciones elegidas para ser integradas por medio de las distintas herramientas disponibles.

Una herramienta de uso casi universal y reconocida como facilitadora del aprendizaje es la elaboración de esquemas en sus diversas modalidades. Éstos tienen en común que desarrollan ideas o conceptos, además de procesos del pensamiento asociados a dichos conceptos, donde lo que se prioriza es la organización y jerarquización de los elementos principales elegidos, los cuales permiten visualizar la estructura y la manera como se relacionan.

Algunas modalidades conocidas de esquematización son los diagramas: de flujo, de causa-efecto, de árbol, de dispersión, de flechas, de Pareto, de relaciones, matricial y el cuadro sinóptico (Fundación Iberoamericana para la Gestión de la Calidad, cita en línea).

Otra representación de uso frecuente es el mapa conceptual y mental; uno más, no tan conocido y usado en el contexto del salón de clases, es el denominado diagrama de influencias de Forrester, que consiste en integrar un conjunto de relaciones, en las cuales es posible incluir el grado de robustez de una relación, polaridad (directa o inversamente proporcional), además de componentes cuantitativos y

cualitativos como preludio para construir modelos de simulación que potencian el enfoque sistémico (Morilla y Dormido, 1998: 2-3).

En la mayoría de casos, los conectores (líneas o flechas) indican el tipo de conexión entre conceptos o procesos que muestran la existencia de una relación. En estos esquemas (Tabla 1), el potencial clarificador del conector es reflejo de una multiplicidad de tipos de relaciones, con los cuales se pretende sustentar la propuesta didáctica del presente trabajo.

Tabla 1
Tipos de relaciones habituales y sugeridas para la elaboración de diversos diagramas

Tipo de relación entre variables elegidas	Conector	Sustentada en:
Relación de tipo tentativo a elucubrativo	-----	Opinión, inferencia lógica
Relación de tipo especulativo	_____	Sustento empírico y literatura que determina la existencia de una relación (correlación)
Relación hipotética	_____	Sustentada en la mayor parte de la literatura. Relación robusta
Relación causa-efecto	$c \xrightarrow{e}$ $c \xrightarrow{e}$ $c \xrightarrow{e}$	Sentido de la relación causa-efecto
Relación de causa-efecto con polaridad	$+ \xrightarrow{-}$ $+ \xrightarrow{=}$ $+ \xrightarrow{=}$	Relaciones causa-efecto directa (+) e inversamente (-) proporcionales
Relación causa efecto circular		Causa que induce un efecto y efecto que induce la causa (bucles de retroalimentación contrapuestos)

El antecedente más relevante de las posibilidades de integrar conceptos se debe a la Teoría General de Sistemas, la cual (en cibernética) considera la idea de regular por retroalimentación y que, formulado biológicamente, se refiere a la noción de homeostasia, donde en un sistema las líneas causales se transforman en circulares mediante la autorregulación. Esto permitió aclarar numerosos fenómenos de autorregulación en fisiología, con el inconveniente de considerar a los organismos como máquinas (control por retroalimentación en sistemas cerrados), es decir, con enfoques mecanicistas. En este contexto, la idea de sistemas abiertos como básicamente no mecanicistas fue más allá de la causalidad unidireccional para dar paso a principios de auto-organización (Bertalanffy 1986: 167-170).

A raíz del surgimiento de la Teoría General de Sistemas apareció un punto de convivencia entre la visión analítica y la sistémica de las ciencias; la versión más acabada de esta última es el pensamiento relacional no lineal, circular o recursivo, cuyo sinónimo habitual es la retroalimentación, por medio de la cual se explica la emergencia aplicada a sistemas dinámicos que ocurren en el mundo real (Romero, 2003: 6).

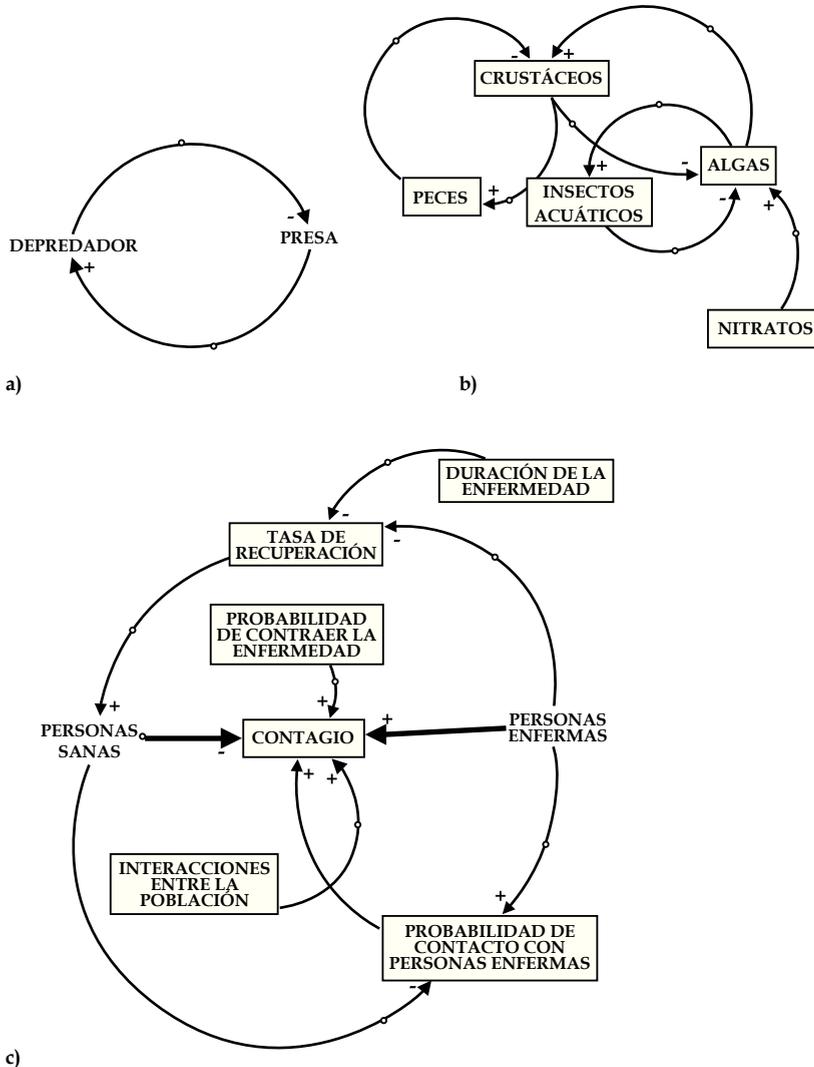
En cada tipo de representación, los ejes rectores de las relaciones se organizan jerárquicamente e indican tanto causalidades directas como retroalimentaciones. Así, la construcción de un esquema representa la intención de elaborar la visión de un "todo", ya sea de una unidad temática de un curso o de la totalidad del mismo, o bien de un sistema en su sentido amplio y específico. Respecto a esto último, Alcocer (1991: 13-17) indica que un sistema se organiza en jerarquías que pueden ser, a su vez, subsistemas de otro de mayor jerarquía (suprasistema); por ejemplo, un bosque es un sistema compuesto por subsistemas (comunidades, poblaciones, organismos y medio físico, entre otros). Cada subsistema interactúa con un medio interno (donde se encuentran inmersos los elementos de dicho subsistema) y externo (suprasistema) con fronteras (medios transferentes) que aíslan cada sistema, de lo cual depende su identidad. Lo anterior lleva a apreciar que tanto el sistema como el medio corresponden a valores relativos, con la característica común de que los elementos constituyentes son interactuantes y su funcionalidad, para el caso del fenómeno biológico, se rige por su carácter inductivo entre pares ordenados (variable dependiente e independiente). La visión de Alcocer posibilita observar una cantidad "n" de relaciones (una hormona y el receptor membranar correspondiente; la temperatura de la sangre capilar y la del epitelio cutáneo), secuencias fásicas-periódicas (la división celular compuesta por profase, metafase, anafase y telofase) o la contracción muscular (acortamiento y relajación), cuyo rasgo relevante es que la interpretación de cada relación de variables dentro de un sistema presenta una funcionalidad acotada a las fronteras definidas por el investigador.

La esquematización de un sistema, en el contexto específico de la exposición de un tema escolar, puede encuadrarse de diversas maneras (por ejemplo, vía la integración de los contenidos) a un problema o estudio de caso, donde se enfatizan los aspectos referenciales o, más precisamente, situacionales, en el que el estudiante sea un participante crítico.

Dicha manera de concebir un "sistema" y sus relaciones inherentes como una suerte de representación esquemática, si bien resulta operativa para el manejo de relaciones causa-efecto que distinguen al pensamiento lineal, la naturaleza de las diversas relaciones X vs. Y, resultan limitadas, en virtud de que dicho enfoque de causalidad lineal contrasta con aquél donde explícitamente se aceptan las relaciones causa-efecto circulares (Figura 1). En las que la causa induce el efecto y viceversa, como en el caso de las relaciones tróficas (relación depredador-presa), cuya implicación indica que una mayor proporción del depredador involucra una menor de la correspondiente a la presa y viceversa (Figura 1a), lo que se denomina el principio de la recursividad organizacional, que aparece cuando los productos y los efectos son al mismo tiempo las causas y los productores de lo que los produce (Espejo, 2010: 121-122). Poco habrá que agregar acerca del enriquecimiento de una causalidad de tipo circular sobre otra lineal, si la primera es alimentada con datos (por ejemplo: de la especie-especificidad del depredador sobre su presa), con la sincronización de los ciclos reproductivos, su estrategia "K" o "r", o sus respectivos

nichos ecológicos, entre otros aspectos que permitan que el estudiante apunte la naturaleza relacional y multidimensional (Figura 1b) de los sistemas objeto de estudio. Otro ejemplo distinto al de las relaciones tróficas se refiere al proceso de salud-enfermedad (Figura 1c) para mostrar que prácticamente cualquier proceso puede ser esquematizado.

Figura 1
Ejemplos de relaciones causa-efecto circulares



Se considera importante reiterar que en la concepción de “sistema” se cuenta con dos niveles de aproximación, la realidad (cuyos elementos son objetivos, es decir, existen) y los sistemas concebidos como tales a partir de esa misma realidad, de los cuales sus elementos constituyentes son subjetivos, en cuanto a que el investigador define su configuración y la selección particular de los que serán excluidos o incluidos (Shannon, 1988: 50-51). Lo anterior significa que la variación en la elección de factores y relaciones tentativas a robustas (los componentes del sistema a ser esquematizado) implicarán versiones distintas de relaciones estructurales y funcionales, cuyas interconexiones e interacciones establecidas determinarán el comportamiento del sistema. En el salón de clases la fracción discursiva asociada al estudio de un sistema delimitado por el profesor, en función de los contenidos temáticos (elementos del sistema), podrá arrojar conclusiones distintas, dependiendo de los elementos elegidos como componentes del sistema a esquematizar.

Propuesta metodológica para propiciar el pensamiento relacional y el aprendizaje significativo

La propuesta metodológica del caso que nos ocupa versa sobre un tópico del área biológica, formulada para propiciar un aprendizaje significativo. Con este fin se eligió la modalidad del diagnóstico de escenarios-problema relacionados con desórdenes nutrimentales o incidencia de plagas en plantas, donde se combinó un formato para registrar signos y elaborar un diagnóstico presuntivo (en adelante, FDP) con los diagramas denominados de influencias o causales de Forrester (Aracil, 1995: 19-25), utilizados en el programa Vensim Ple® (<http://www.vensim.com>, acceso: 26 de noviembre de 2012) a partir de los cuales se formula un diagnóstico.

Ante una pregunta donde se enfatiza un enfoque situacional como estímulo para la aprehensión de conocimientos sobre un tema, la información asociada al escenario es fundamental en la toma de decisiones (Cuadro 1).

Cuadro 1
Formulación del problema y delimitación por exclusión
de su naturaleza como plaga, enfermedad o desorden nutrimental

Contexto: En un jardín se detectan plantas con una apariencia que difiere de una “normal”	
Inducción al problema	Información de referencia
1. ¿Los síntomas aparecieron de manera súbita o es resultado de un proceso gradual ahora agudizado visualmente?	- Se puede presumir que un problema que “aparece” de manera repentina se asocia más probablemente con la incidencia de plagas o enfermedades (eclosión sincronizada de fases larvarias de insectos o de esporas de microorganismos asociada, por ejemplo, con el arribo o retraso de la precipitación pluvial).
2. ¿Los signos observados se asocian con una enfermedad o una plaga?	- La presencia de pudrición es habitualmente atribuible al crecimiento de hongos o bacterias. - La presencia de insectos o de sus efectos, por ejemplo, mordeduras.
3. Al ser descartada la presencia de plagas o enfermedades, o su presencia con una baja incidencia, ¿se acepta preliminarmente que la naturaleza del problema podría atribuirse a un desorden nutrimental?	- La presencia de patrones regulares en los signos observados, como sería una ubicación localizada sólo en las hojas de la porción más vieja (inferior) de la planta.

Los pasos sugeridos en la presente propuesta se indican a continuación haciendo uso de un problema previamente resuelto.

Paso 1. Inducción al problema

Metodológicamente, la presente propuesta consiste en que, a partir de la observación de una población de plantas (el sistema), cuyas características se desvían de una apariencia “normal” (sana, verde, hidratada vigorosa), se plantea elaborar un diagnóstico a partir del FDP mostrado a continuación (Tabla 2), en el que se incluye una amplia selección de signos de orden biológico, factores ambientales y culturales. La descripción del problema se define en función de los tópicos marcados con X, los cuales harán las veces de guía para formular un diagnóstico presuntivo.

Tabla 2
Formato para el registro de signos para elaboración del diagnóstico presuntivo (FDP) Los signos indicativos del problema a estudiar se marcan con X

REGISTRO DE ANOMALÍAS EN CULTIVOS	
Especie	Cultivar
Localización en la planta: Jardín <input checked="" type="checkbox"/> _____ Invernadero _____ Vivero _____ Campo _____ Huerto _____ Interiores _____ Otros _____	Distribución del problema: _____ Planta única <input checked="" type="checkbox"/> _____ Disperso _____ Área localizada _____ Área amplia Fenología <input checked="" type="checkbox"/> _____ Fase vegetativa _____ Floración _____ Fructificación
Desarrollo del problema: _____ Repentino <input checked="" type="checkbox"/> _____ Gradual	Grado de daño: _____ Bajo <input checked="" type="checkbox"/> _____ Moderado _____ Grave
Ubicación de los síntomas: _____ Planta completa _____ Yemas _____ Raíces _____ Flores _____ Tallos _____ Frutos Hojas _____ Vainas <input checked="" type="checkbox"/> _____ Superiores _____ Frutillas _____ Inferiores _____ Espigas _____ Tallo principal/Tronco _____ Mazorcas _____ Otros _____ Semillas	Signos: _____ Manchas Necrosis _____ Moteados _____ Apice-base _____ Pudrición _____ Marginal _____ Marchitez _____ Yema apical _____ Úlceras/ fisuras Doblado de hojas _____ Vesículas _____ Hacia el haz _____ Mosaicos _____ Hacia el envés _____ Mohos/cenicillas _____ Deformación _____ Agallas/ pseudoagallas _____ Nódulos _____ Mordeduras _____ Orificios _____ Minado _____ Mielcecilla y/o fumagina _____ Seda/ telaraña Clorosis _____ Ápice-base _____ Arrosetamiento _____ Centro- borde _____ Achaparramiento _____ Borde-borde _____ Etiolación _____ Reticulada <input checked="" type="checkbox"/> _____ Interval _____ Nervadura principal Patrones de coloración _____ Sobreverdecimiento _____ Violácea _____ Rojiza
Ubicación de los síntomas: _____ Planta completa _____ _____ Yemas _____ _____ Raíces _____ Flores _____ Tallos _____ Frutos Hojas _____ Vainas <input checked="" type="checkbox"/> _____ Superiores	Micronutrientes: Cu _____ Mn _____ Fe _____ B _____ Zn _____ _____ _____
Productividad: Promedio _____ Debajo del promedio <input checked="" type="checkbox"/> _____ Encima del promedio _____	

Sustrato			
Suelo (clasificación USA) _____ % MO _____ CIC _____ pH 7.8 _____		Profundidad: _____ 60 cm _____ Textura: _____ Densidad aparente: _____ > 1.25 g ml ⁻¹ _____ Capacidad de campo: Ps = % _____	
Drenaje: ____ Pobre <input checked="" type="checkbox"/> Bueno ____ Regular ____ Excesivo		Humedad aprovechable promedio: ____ < 60% ____ entre 60 y 80% ____ > 80%	
Sustrato: ____ Agrolita ____ Perlita ____ Tezontle ____ Grava ____ Vermiculita	En caso de mezcla de sustratos indique el tipo y sus proporciones: _____ _____ _____	Concentración de Nutrimientos en sustrato: N _____ S _____ P _____ K _____ Ca _____ Mg _____	Micronutrientes: Cu _____ Mn _____ Fe _____ B _____ Zn _____ _____ _____
Factores ambientales			
Lluvia ____ < promedio ____ ~ promedio ____ > promedio	HR % ____ < 60% ____ 60 - 70% ____ > 70%	Temperatura entre 13 y 16 h ____ < 20 °C ____ 20.1 - 30 °C ____ > 30 °C	Irradiación Entre 13 y 16 h ____ < 200 μM m ⁻² s ⁻¹ ____ 201 - 800 μM m ⁻² s ⁻¹ ____ > 800 - 200 μM m ⁻² s ⁻¹
Prácticas culturales			
Cultivo previo: _____ Fecha de siembra: _____ Edad de la planta: _____ Deshierbe: _____ Trasplante: _____ Aclareo: _____ Tutoreo: _____ Cosecha: _____ Desinfección del sustrato: _____ Técnica de desinfección: _____		Irrigación _____ Dureza del agua _____ > 2dS _____ pH del agua de riego 7.6 _____ Inundación _____	Fórmula fertilizante: Alta solubilidad _____
		Fuentes de fórmula fertilizante:	N: _____ 60 _____ P: _____ 40 _____ K: _____ 00 _____
		Herbicida _____ Fungicida _____ Insecticida _____ Otro(s) _____	Cuál (es) _____ _____ _____ _____ Dosis _____ _____ _____ _____
Enemigos naturales/plagas Parasitoides _____ Depredadores _____ Patógenos _____	Plaga o enfermedad ____ Nematodos ____ Insectos ____ Hongos ____ Bacterias ____ Virus	Identificación presuntiva	

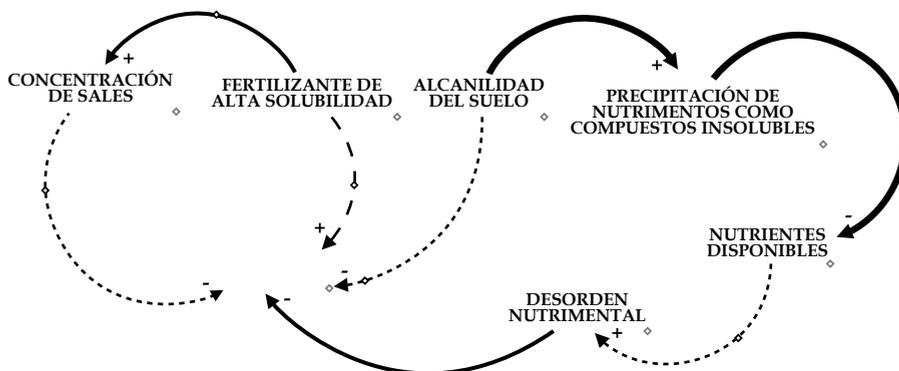
Paso 2. Acopio de información

Se refiere a la compilación de la información necesaria acerca de las inferencias de cada signo marcado con X que depende del conocimiento de su significado ("marco teórico"). El FDP (Tabla 2) remite, en este caso, a los contenidos en los cursos de Morfofisiología Vegetal y Manejo Integrado de Plagas de la carrera de Biología. Como apoyo a la interpretación del FDP, se incluye un glosario para su consulta, disponible en: https://docs.google.com/document/d/167gIpFbEDzV8GBfMizpUCx-w0Y_lsZ9eUcUYmh-J4no/edit?hl=en# (Acceso: 26 de diciembre de 2012.)

Paso 3. Elaboración de diagrama de influencias de Forrester

Las relaciones entre los signos detectados en el FDP se explicitan por medio de un diagrama de influencias de Forrester (Figura 2), en el cual es posible incluir conectores cuyo contenido de información (Tabla 1) es consistente con dos niveles de aproximación, relación simple (sin polaridad) o causal, tanto lineal como circular (Aracil, 1995:19-25).

Figura 2
Diagrama de influencias de los elementos considerados relevantes para la diagnosis de un desorden nutrimental construido a partir de los signos marcados en el FDP



Paso 4. Formulación de diagnóstico presuntivo

Una vez estudiado el significado conceptual de cada signo y los intervalos considerados normales de cada uno de ellos, el estudiante elabora un diagnóstico presuntivo (Cuadro 2).

Cuadro 2
Ejemplo de interpretación de diagrama de influencias de Forrester y formulación de un diagnóstico presuntivo

<p>Significado de cada elemento considerado: Concentración de sales: Un valor elevado se asocia negativamente con la productividad. Fertilizante de alta solubilidad: Implica una buena disponibilidad para aumentar la productividad. Alcalinidad del suelo: Valores altos inducen precipitación de elementos minerales, lo cual reduce los nutrientes disponibles (solubles) y conduce a un desorden nutrimental (deficiencia) que impacta negativamente sobre la productividad. Diagnóstico: La ubicación de los signos "nodales" permitirían la elaboración de un diagnóstico presuntivo como el siguiente: dado que una baja productividad se relaciona tanto con la elevada concentración de sales como con la alcalinidad del suelo, el uso de un fertilizante de lenta solubilidad y de reacción ácida reduciría la alcalinidad y el incremento en la concentración de sales y aumentaría la productividad.</p>
--

Lo anterior es un ejemplo del tratamiento de un escenario-problema asociado con un desorden nutrimental, donde algunas relaciones se consideran más robustas que otras; esto, como producto de la discusión y consulta de fuentes, determina la toma de decisiones de presunción o solidez de las relaciones incluidas.

Ejercicio de diagnóstico presuntivo

Se realizaron dos ejercicios, uno con el grupo 1503 turno matutino y otro con el grupo 1152 del turno vespertino, ambos del quinto semestre de la carrera de Biología de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. El grupo del turno matutino, formado por 17 alumnos, detectó características anormales en plantas desarrolladas en un campo de cultivo, mientras que el grupo del turno vespertino, integrado por 31 alumnos, reveló características atípicas en plantas desarrolladas en un jardín. Ambos grupos participaron en los dos momentos de la intervención educativa (antes-después). Los pasos indicados en el primer ejercicio se aplicaron también en el segundo.

La cobertura del formato diagnóstico (FDP) consideró los problemas más comunes que aquejan el crecimiento vegetal, es decir, los relacionados con alteraciones nutrimentales e incidencia de plagas y enfermedades. Esto hace factible que también podría utilizarse en el Manejo Integrado de Plagas, un curso monográfico, aunque tiene el inconveniente de que se imparte como grupo único y de manera alternada en los semestres escolares. Por esta razón, se aplicó al curso de Morfofisiología Vegetal, que es obligatorio, lo que permite aplicarlo a más de un grupo.

Ejercicio I

Grupo 1503 (matutino)

El objetivo fue evaluar en el aula el uso del pensamiento lineal *versus* el pensamiento relacional, utilizando como parámetro la inclusión y el uso de bucles de retroalimentación, propios de las relaciones causa-efecto no lineales (circulares). La información procedente del formato diagnóstico, es la siguiente:

El cultivo de trigo en estudio se localiza en un área amplia, observándose un daño grave principalmente en las hojas durante la fase vegetativa, el cual inicia en la porción inferior de la planta con signos de enrojecimiento de las hojas. El sustrato presenta una profundidad inferior a 70 cm, con una textura de migajón arcillosa y escaso drenaje, sometido a una precipitación superior al promedio de la zona. El suelo se fertilizó con fórmula 80-60-00 kg por hectárea de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente (requerimiento recomendado para dicha especie).

A partir del análisis de los signos previos y tomando como indicador el enrojecimiento de hojas inferiores, típico de una deficiencia de fósforo, se determinó la inundación como elemento esencial y posible factor causal. A partir de lo anterior, se formuló la siguiente pregunta: ¿de qué manera modifican las raíces inundadas la absorción de fósforo durante su crecimiento vegetativo?

Metodología

Bajo la modalidad antes-después, se aplicó en dos momentos el siguiente problema de nutrición vegetal: *describir el tipo de relaciones causales que expliquen cómo la absorción de fósforo por las raíces de un cultivo de trigo puede ser afectada por una inundación durante el crecimiento vegetativo.*

1. En el primer momento se solicitó a los alumnos redactar las consecuencias de la inundación del campo de trigo en los temas previamente abordados en la asignatura de Morfofisiología Vegetal (relaciones agua-suelo-planta y nutrición vegetal). Dicha narrativa se considera de naturaleza lineal; es decir, expuesta como una cadena de causalidades continuas (equivalente a una "línea de tiempo").
2. A partir de lo anterior, los estudiantes subrayaron los conceptos clave que consideraron pertinentes para expresar en una modalidad gráfica (mapa conceptual, cuadro sinóptico o cualquier organizador conceptual de su preferencia) el problema mencionado.
3. Se evaluó la cantidad de conceptos que, en promedio, los alumnos de un grupo de Morfofisiología Vegetal estimaron como suficientes para elaborar la narrativa.
4. Posteriormente, se explicó la metodología con el fin de realizar diagramas de influencias, donde se efectuaron ejercicios sobre la manera en la que se establecen relaciones causa-efecto con bucles de retroalimentación + y - (polaridad), necesarios para definir relaciones causa-efecto circular.
5. En un segundo momento, transcurridas dos semanas, se aplicó el mismo problema con la diferencia de que el profesor proporcionó a los estudiantes 13 conceptos importantes del programa de Morfofisiología Vegetal. Dichos conceptos y procesos se consideraron suficientes para integrarlos en un diagrama de influencias con efectos comparativos durante la evaluación de los diagramas de influencias elaborados por los alumnos.
6. Hecho lo anterior, los estudiantes trabajaron colaborativamente en equipos de tres y procedieron a aplicar lo aprendido al problema propuesto.
7. Se evaluó la linealidad o no linealidad (presencia de bucles de retroalimentación + y - interpretada como pensamiento relacional) presentes o ausentes en sus diagramas de influencias.

Resultados

Primer momento ("antes")

A partir de pedirse la inclusión de conceptos del programa (asociados al problema planteado) a los trece conceptos esperados, se obtuvo un intervalo entre 5 y 15 con un promedio de 9.61.

Un alto porcentaje (82.35%) de alumnos elaboró un diagrama lineal, concluyéndose que predominó el pensamiento de este tipo, como se esperaría bajo un esquema de educación tradicional.

Segundo momento (“después”)

Como se recordará, 100% de conceptos (trece) del programa y aquellos asociados al problema fueron suministrados por el profesor para efectos de nivelar al grupo y considerar que se contaba con mismo punto de partida respecto al marco teórico requerido.

En torno a la elaboración de diagramas, en este caso se observó que en 29.41% de estudiantes predominó el pensamiento lineal y en 70.58% el pensamiento relacional. Esto es, se advirtió un predominio de alumnos que transitaron al pensamiento relacional de manera incipiente; sin embargo, su representación multicausal, que involucra una gran variedad de recursos cognitivos, ya se ajustaba a las especificaciones de los diagramas causales, como la selección de variables cuantitativas y no redundantes, delimitación de nodos, nexos y relaciones causales válidas, amén de la interacción de bucles de retroalimentación positivos y negativos que determinan el comportamiento del sistema en un momento dado. En consecuencia, se puede presumir que en un esquema de continuo reforzamiento se esperaría desarrollaran en mayor medida las habilidades y actitudes del pensador sistémico.

La siguiente explicación incluye conceptos clave necesarios, los cuales fueron objeto de discusión grupal: una inundación hace que se saturan de agua los poros del suelo. Esto crea, en un plazo relativamente corto, condiciones anaeróbicas que afectan la respiración de las raíces. Por tanto, se reduce la actividad metabólica de éstas, ya que la respiración se halla impedida por falta de O₂, último aceptor de electrones de la cadena respiratoria mitocondrial. Entonces, el ATP debe formarse mediante la fermentación, que es menos eficiente en generar ATP por glucosa respirada. Esto limita la absorción de iones, pues una gran parte del ATP producido en la célula se utiliza en los procesos relacionados con la absorción de nutrientes, entre ellos el fósforo.

En la explicación anterior fue evidente la presencia de conceptos asociados o subyacentes, los cuales son parte de los contenidos del tema de nutrición de plantas y de otros, como respiración y fotosíntesis, que los estudiantes deben incluir para aportar solidez conceptual.

Ejercicio II

Grupo 1552 (vespertino)

Las plantas de un jardín presentaron una apariencia irregular en las hojas superiores. La información obtenida del FDP fue la siguiente: el desarrollo del problema, consistente en una clorosis intervenal en hojas superiores, fue de tipo gradual, siendo moderado el daño observado y disperso entre varias especies. El sustrato presentó un buen drenaje, con una conductividad eléctrica del agua de riego > 2 dSm.

Primer momento (“antes”)

Se tomó como referencia el dato previo obtenido en el primer ejercicio, donde más de 70% de los participantes elaboraron un diagrama lineal (predominio del esquema de educación tradicional).

Segundo momento (“después”)

El número de elementos tomados del FDP proporcionado por el profesor fue de 10. Se reportó que en 22.58% de los alumnos persistió el pensamiento lineal, mientras que 77.42% de ellos transitaron hacia un pensamiento relacional, tipificado por la construcción de representaciones mentales, expresadas gráficamente (hipótesis dinámica) en configuraciones causales complejas.

Cabe mencionar que, además de los 10 elementos del FDP en el proceso de discusión grupal, se complementaron con otros 15 propuestos por los estudiantes, lo que permitió una descripción más rigurosa de las causalidades inherentes a este escenario problemático; algunos de éstos fueron: lixiviación, deficiencia de hierro, alcalinidad, precipitación de sales y de hidróxido férrico, elemento esencial, óxido-reducción y fotosíntesis. Es decir, se vieron compelidos a presumir relaciones causales subyacentes a los elementos bajo estudio.

En resumen, el consenso general establece que el detonador del problema en el jardín fue el pH alcalino del agua, el cual por precipitación del hierro condujo a una clorosis intervenal. Lo realmente importante aquí es que al elaborar un diagrama de causalidades o hipótesis dinámica, los estudiantes visualizaron las relaciones en forma integrada y plantearon posibles soluciones, como la acidificación del agua de riego o su sustitución e inclusive la fertilización foliar. Además, reconocieron que tal diagnóstico presuntivo requeriría de evidencias adicionales para su confirmación o rechazo, por medio de otros elementos de registro del propio FDP, como el análisis foliar.

Para el profesor, crear estudios de caso diagnóstico con el uso del FDP, significa abocarse a una delicada labor, la cual demanda cuidar que al elegirse los signos o las características de cada uno de los rubros (p. ej.: mediante los resultados de un artículo especializado o con ayuda de resultados de investigación o de variables con relaciones robustas), éstos cuenten con un grado razonable de congruencia y faciliten al estudiante utilizarlos para la interpretación respectiva. En el caso de los artículos de investigación vinculados con la temática bajo escrutinio, es necesario estar atentos al manejo de datos respecto a sus patrones, relaciones e interacciones. El análisis de congruencia permitirá detectar elementos con relaciones incomprensibles no reportadas en la literatura o aun de tipo redundante (un árbol de gran altura no es concebible sin un diámetro suficiente para sostenerlo o una densidad de la madera resistente a la fractura). En vista de lo anterior, las características y

relaciones que compendien una sintomatología asociada a un diagnóstico pueden transitar por algunos signos que den indicios para identificar puntos de apalancamiento; es decir, alrededor de los cuales se pudiese construir un diagnóstico presuntivo plausible.

El pensamiento sistémico se enfoca en hallar la palanca que se habrá de aplicar, lo cual equivale, de acuerdo con Senge (1998: 148), a actos pequeños y bien focalizados para modificar las características del sistema bajo estudio. Cuando las acciones son de bajo apalancamiento, significa que los signos no se concentran en los disparadores del problema en cuestión. La lógica del pensamiento sistémico en el contexto aquí presentado es ubicar la o las variables (que antes denominamos como “signo[s] nodal[es]”) que correlacionen de forma robusta y dominante sobre un conjunto de otras variables.

En este marco es, precisamente, donde consideramos justificable indicar que la problematización y la esquematización (diagrama de influencias de Forrester) representa una alternativa muy apreciada en cuanto a su potencial para integrar conocimientos, en contraste con la situación de contar con conocimientos transmitidos por el docente y memorizados por el estudiante con un limitado contenido pragmático y, a nivel global, con un aporte escaso a la modificación de sus patrones de conducta y lenguaje.

De esta manera, los hechos palpables del FDP equivalen a emular la integración (que llamaremos “pro-integrativo”, al menos conceptualmente) de información con las ventajas que implica la comprensión de procesos o conceptos en un plano relacional muy amplio. El ámbito del análisis de los componentes de un problema supone determinar las necesidades respecto a las competencias (parcial o por completo ausentes o presentes) en los estudiantes, donde afrontarlo conlleva un proceso de autocrítica acerca de lo que “se tiene y no se tiene” como parte de su bagaje teórico y operacional.

La “ausencia” de una competencia o conocimiento, más que un impedimento, constituye un aspecto a cubrir como parte de la estrategia elaborada o de la metodología que llevará a la integración de los elementos necesarios para entender y emitir propuestas de resolución del problema, donde la interacción efectiva del tutor-estudiante, y de allí a la grupal, juega un papel determinante.

La presente propuesta parte del hecho reconocido de que un contenido temático o concepto no es sinónimo de competencia, tampoco lo es el reconocimiento de las relaciones establecidas entre conceptos y procesos. Sin embargo, intensificar los ejercicios relacionales, contextualizados a problemas determinados, como en el caso presente, referidos al uso del FDP, equivalen a una forma de estímulo para aprehender conocimientos por medio de su resignificación en un contexto pragmático que, de otra manera, serían fragmentarios. El diagnóstico involucra una variedad de técnicas con valores normales y anómalos, cuyo manejo podría formar eventualmente parte del bagaje de competencias y habilidades con que el estudiante podría contar (dependiendo de su historial académico y proyectos realizados, entre otros).

Sin embargo, el valor principal de la herramienta diagnóstica es la interpretación de signos y características en un contexto relacional que, como en este caso, condujo a la emisión de un diagnóstico y medidas correctivas propuestas entre otras posibles.

El diagnóstico en el salón de clases es necesariamente teórico, cuya virtud consiste en que, al simular una situación determinada, invita al que aprende a reproducir de forma sencilla la realidad, facilitando la manipulación “ficticia” de los parámetros de su “realidad virtual”, además de posibilitar la elaboración de explicaciones sobre procesos y propuesta de pronósticos. En este punto, cabe acotar la importancia del consenso grupal en las relaciones elegidas, donde el amplio intervalo que va desde aquellas de orden especulativo hasta otras sólidamente reconocidas permite una construcción sistemática de los diagramas de influencias.

Con tales elementos y con el enfoque del pensamiento relacional, ¿qué habilidades, actitudes y posturas de pensamiento poseerá un estudiante con una educación sustentada en el pensamiento relacional y su derivación necesaria, la dinámica de sistemas? Algunas de las propuestas al respecto se describen a continuación:

Habilidades: visualizará patrones de cambio en el tiempo, más que acontecimientos aislados; es decir, el comportamiento del sistema causado por su estructura (numerosas estructuras genéricas son comunes a numerosas situaciones, en consecuencia, hay transferibilidad). Detectará la reciprocidad de acción causa-efecto como base para diagramas causales multibucle. Discutirá cómo la dominancia de ciertos bucles afecta el comportamiento (signos nodales, apalancamiento).

Actitudes: trabajo en equipo para solucionar problemas concretos mediante el análisis de escenarios, previa verificación de la estructura y validación de comportamientos.

Posturas de pensamiento filosófico

- El estudiante mantendrá como premisa irrevocable de su quehacer científico que todo modelo es una hipótesis de trabajo.
- Utilizará el pensamiento relacional para indagar más profundamente y tomar riesgos calculados en un horizonte temporal extendido en el tiempo (pasado, presente, futuro).
- En el terreno de la metacognición, no dudará en abocarse al examen, re-examen y modificación de supuestos y conclusiones.

El predominio del paradigma reduccionista (cuyos avances en todos los campos del conocimiento son incuestionables) *versus* pensamiento relacional, como constituyente fundamental del paradigma de la complejidad, conlleva en el contexto docente claras implicaciones en la reformulación de las relaciones lineales causa-efecto en pos de la causalidad circular que enmarcan los bucles de retroalimentación. El inconveniente de esta intención radica en que, dentro de un ambiente disciplinario donde predomina el paradigma reduccionista, es necesario promover en el ejercicio

docente el tránsito al pensamiento relacional haciendo uso de las diversas estrategias didácticas vinculadas con la esquematización como elemento integrador del conocimiento.

El valor didáctico del diagnóstico, en general, como herramienta inductora a un pensamiento relacional, discurre más venturosamente hacia un enfoque propio del pensamiento complejo, en el cual se aspira a percatarse de que las interacciones de los componentes internos del sistema bajo estudio y sus propiedades surgen como resultado de éstas, en contraste con el estudio de la realidad, acorde con el esquema reduccionista vigente (Ruelas, *et al.*, 2006: 12).

El diagnóstico *per se* invoca una gran cantidad de información que debe contextualizarse para facilitar su aplicación como herramienta en prácticamente cualquier área del conocimiento que involucre la toma de decisiones en muy variadas profesiones (ambiente, contaminación, estudios fitopatológicos, salud pública, epidemiología, procesos industriales, ecología, dinámica poblacional, planeación de negocios) y tiene como requisito el uso de formatos de evaluación o, como en la presente propuesta, de formatos diagnóstico *ad hoc*.

El reto, a final de cuentas, es que el cúmulo de información en forma de relaciones causales lineales, presentadas de manera rutinaria en el aula, no representen sólo eso, cúmulos de relaciones causa-efecto, sino más bien componentes estructurales de una realidad compleja.

Morin (citado por Gallegos, 2003: 114), en el documento *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*, enfatiza como ejes fundamentales la ética y la condición humana y terrena, entre cuyos preceptos indica la relevancia del contexto referido a lo global, multidimensional y complejo de las relaciones de tipo interactivo o retroactivo, necesarias para que el conocimiento adquiriera sentido o pertinencia en un entorno concomitante de incertidumbre de las relaciones causa-efecto en planos multidimensionales.

El terreno blando y a menudo movedizo de la formulación de un experimento, donde las condiciones controladas matizan como “refugio seguro” las relaciones causa-efecto, protegidas por la uniformización del resto de los factores intervinientes, también es el terreno donde se acepta que la aparente certeza de las relaciones causales se pueden ver fracturadas en alguna medida por la presencia de la incertidumbre que, como elemento inherente a la realidad, juega un papel esencial, junto a la interacción y variabilidad entre individuos, como rasgos consustanciales de un pensamiento complejo y, por definición, relacional.

Giraldo (2005: 10,13) menciona que el mérito principal de la Teoría de la Complejidad es el pensamiento relacional visto como una actitud integrada al conocimiento o a la vida misma. El postulado base para la interpretación de un fenómeno cuantitativo es que presenta una cantidad extrema de interacciones e interferencias, lo que le confiere su naturaleza auto-organizada (viviente).

Referencias

- Alcozer Cuarón, Carlos (1991). *Biología teórica. Un ensayo sobre el fenómeno biológico*. México: Limusa, Grupo Noriega, Universidad Autónoma de Querétaro.
- Aracil, Javier (1995). *Dinámica de sistemas 3*. Madrid, España: ISDEFE, Ingeniería de Sistemas.
- Bertalanffy, Ludwig von (1986). *Teoría general de sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Díaz Barriga, Arceo Frida A. (2006). *Enseñanza situada: vínculo entre la escuela y la vida*. México: McGraw Hill-Interamericana.
- Espejo, Roberto (2010). Algunos aspectos de la educación compleja. *Polis, Revista de la Universidad Bolivariana*, 9 (25), pp. 119-135.
- Fundación Iberoamericana para la Gestión de la Calidad (FUNDIBEQ). Disponible en: http://www.fundibeq.org/opencms/opencms/PWF/methodology/tools/index/index.html?__setlocale=es
- Galagovsky, Lydia y Adúriz Bravo, Agustín (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las Ciencias Naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), pp. 231-242.
- Gallegos, Miguel (2003). La epistemología de la complejidad como recurso para la educación. (Trabajo presentado en el *Congreso Latinoamericano de Educación Superior en el siglo XXI*. Facultad de Ciencias Humanas), Universidad Nacional de San Luis. Argentina. Recuperado de: http://conedsup.unsl.edu.ar/Download_trabajos/Libro_de_Resumenes_Parte_I.pdf
Documento completo disponible en: <http://www.ambiente.gov.ar/infoteca/descargas/gallegos01.pdf>
- Giraldo Monroya, Gladys (2005). Teoría de la complejidad y premisas de legitimidad en las políticas de educación superior. *Cinta de Moebius*, 22 (2).
- Miranda Hernández, Olga Lidia (2003). Complejidad y educación: tentaciones y tentativas. (Trabajo presentado en el *Primer Taller Cubano sobre el Enfoque de la Complejidad*). Instituto de Filosofía del CITMA. Cuba.
- Morilla García, Fernando y Dormido Canto, Sebastián (1998). *Colección de ejercicios. Asignatura: Ingeniería de Sistemas*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia. Departamento de Informática y Automática. Facultad de Ciencias.
Recuperado de: http://www.dia.uned.es/~fmorilla/MaterialDidactico/IS_Coleccion.pdf
- Romero Pérez, Clara (2003). Paradigma de la complejidad, modelos científicos y conocimiento educativo. *Ágora digital*, (6).
- Ruelas Barajas, Enrique, Cocho, Germinal y Villegas, Moisés (2006). Complejidad, sistemas de salud y calidad. Ruelas B. E., Mansilla, R. y Rosado J. (coords.). *Las ciencias de la complejidad y la innovación médica. Ensayos y modelos*. (pp. 11-24). México: Secretaría de Salud e Instituto de Física del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias y Humanidades, UNAM.
- Senge, Peter M. (1998). *La quinta disciplina. El arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje*. México: Gránica.
- Shannon, Roberto E. (1988). *Simulación de sistemas. Diseño, desarrollo e implantación*. México: Trillas.
- Taeli Gómez, Francisco (2009). El nuevo paradigma de la complejidad y la educación: una mirada histórica. *Polis, Revista de la Universidad Bolivariana*, 9 (25). Recuperado de: 25 URL: <http://polis.revues.org/400>
- Westbrook, Robert B. (1993). *John Dewey (1859-1952)*. Perspectivas, revista trimestral de educación comparada, 23 (1-2), pp.289-305. Recuperado de: http://www.ibe.unesco.org/fileadmin/user_upload/archive/publications/ThinkersPdf/deweys.pdf