

En el siglo pasado hemos asistido a la rápida extensión y consolidación de un nuevo lenguaje que en estos momentos ya podemos considerar como universal en el ámbito de la cultura occidental. Se trata del lenguaje sistémico, y como todos los lenguajes, nos permite interpretar la realidad desde un nuevo punto de vista, como constituida por sistemas en interacción. Interpretar la práctica docente, los procesos de cambio de profesores y profesoras, y los procesos de formación, a la luz de la teoría de sistemas, permite mejorar su comprensión. En este artículo se parte de algunas de las propiedades comunes de los sistemas, y del comportamiento de un sencillo sistema en un ordenador, para establecer algunas analogías útiles, derivadas de la convergencia funcional de las propiedades de los sistemas como tales, aunque los campos a que se refieran no tengan ninguna relación.

La teoría sistémica y el análisis de la práctica docente

Fernando Ballenilla*

pp. 5-18

En el siglo pasado hemos asistido a la rápida extensión y consolidación de un nuevo lenguaje que en estos momentos ya podemos considerar como universal en el ámbito de la cultura occidental. Se trata del lenguaje sistémico, que nos permite interpretar la realidad como sistemas y mejorar su comprensión. La biología ha tenido un papel nada despreciable en el ascenso y consolidación de esta nueva visión del universo (por ejemplo, la concepción del metabolismo en la actualidad no se puede desligar de una concepción sistémica, lo mismo puede decirse de la ecología, de la célula, de la teoría de Gaia de James E. Lovelock¹ y... ¡de la misma "Teoría general de sistemas"²! del biólogo Ludwig Von Bertalanffy). Pero no era solo desde la biología que se estaba cimentando una concepción sistémica del universo, de hecho se estaba produciendo una convergencia similar y generalizada desde campos muy distantes, distintos y

diversos, como la Naturphilosophie de Schelling³, la psicología de la Gestalt⁴, el estructuralismo en las ciencias sociales⁵, la cibernética⁶, la teoría de la información⁷, la teoría del juego y la decisión en economía y política⁸, la física y la química⁹, las matemáticas¹⁰, la lingüística estructural¹¹, el medio ambiente¹² e incluso la didáctica¹³. Este progreso de las concepciones sistémicas ha ido acompañado del desarrollo de lenguajes específicos para representar la realidad de forma sistémica: diagramas de flujo, organigramas, diagramas causales, diagramas de Forrester¹⁴, redes tróficas, diagramas de Odum¹⁵, tramas conceptuales, mapas conceptuales, grafos, etc. Por otra parte el desarrollo de la capacidad de computación ha permitido el manejo de matrices de n dimensiones y su tratamiento informatizado, haciendo posible la elaboración de modelos matemáticos de sistemas y el seguimiento de su comportamiento.

* Correo electrónico: fernando.ballenilla@ua.es

Aunque el lenguaje sistémico es muy reciente, resulta notable su rápida generalización, ciertamente no está totalmente extendido, pero cualquier persona culta interpreta sin dificultad representaciones sistémicas, y son raras las áreas del saber que no se reclamen como sistémicas en alguna medida.

Un gran apoyo de esta concepción es la convergencia en el acotamiento de las propiedades y características de los sistemas desde campos que en principio no tenían nada que ver. Sistemas de ámbitos de la realidad sin ninguna relación se ajustan a principios funcionales comunes: la emergencia (aparición de propiedades nuevas que no se pueden deducir de sus elementos aislados), la autorregulación (mantenimiento de la homeostasis), la equifinalidad (la capacidad de alcanzar el mismo estado final aunque no se parta del mismo estado inicial y los intercambios con el medio sean distintos), la supervivencia (o conservación de la identidad), etc.

Existencia, supervivencia y cambio de los sistemas

Tomemos por ejemplo esta última propiedad de los sistemas, la de su supervivencia frente a los cambios externos.

“¿Por qué sobrevive un sistema? Desde un punto de vista muy amplio (vemos que) los sistemas sobreviven porque los que no sobreviven no están a mano para estudiarlos. Los sistemas que estamos acostumbrados a ver son los que se han seleccionado entre todos los sistemas del pasado, son los mejores ‘supervivientes’. Para que no nos imaginemos que esto es algún tipo de escapatoria trivial, deberíamos observar que el sobrevivir es cosa verdaderamente admirable en un sistema. Nuestra visión está sesgada porque la mayoría de las veces vemos sistemas que son buenos ‘supervivientes’, pero la gran mayoría de los sistemas no sobreviven mucho (...) Desde que la vida comenzó en este planeta, más del 90% de las especies que han existido alguna vez, se hallan ahora extinguidas (...). Las organizaciones humanas son aún más cortas. La mayoría de las nuevas empresas fracasan, y es incluso difícil pensar en alguna empresa que haya funcionado durante más de unos cuantos cientos de años. Organizaciones como la Iglesia Católica Romana,

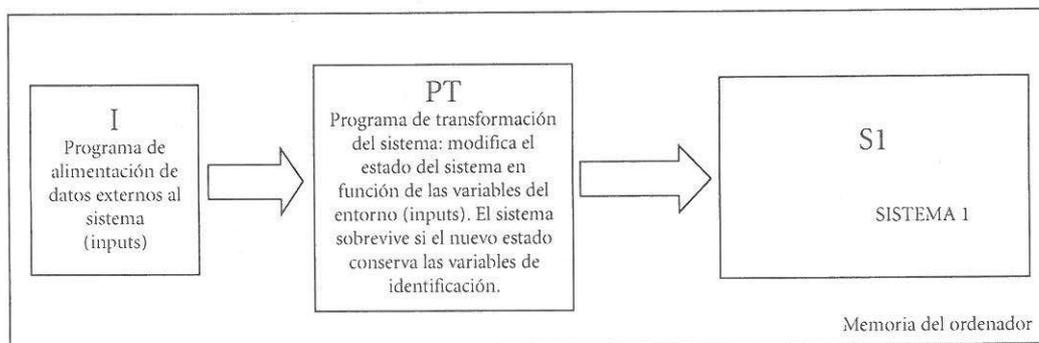
que no tiene más de 2000 años, son raras excepciones. La supervivencia, pues, está lejos de ser una propiedad trivial del comportamiento de un sistema. Es una propiedad que todo sistema debe tener para que podamos estudiarlo: propiedad que no es probable que tenga toda colección arbitraria. En consecuencia es importante que tengamos una comprensión clara de lo que queremos decir por ‘supervivencia’.

(La supervivencia es la existencia continuada y existir es tener una identidad. Identidad es en realidad sinónimo de viabilidad, porque nada que no sea viable sigue siendo identificable, y una cosa que cambia su identidad sale de la existencia. Pero tener una identidad es tener un identificador, y de aquí viene la dificultad de decir cuando existe o deja de existir un sistema. ¿Cayó Roma en el 476? Algunos historiadores dicen esto, pero hoy en día viven varios millones de romanos en la ciudad (...).

Supongamos entonces que nos hemos puesto de acuerdo en cómo reconocer un sistema particular. Hemos decidido, pues, cuáles variables son las adecuadas para el reconocimiento y qué valores deben tener esas variables (...). Si nuestra identificación se basa solo en una selección de variables –variables de identificación (VI)– y en sus valores, podemos decidir la cuestión de la identidad con una única observación. En ese caso se reconoce el sistema si todas las variables de identificación caen dentro de los límites adecuados, esto es, si el sistema ocupa una región particular del espacio de estados en el instante de nuestra observación. En otros casos puede no bastar una única observación, pues a menudo identificamos los sistemas por el comportamiento que muestran, y no solamente por sus estados instantáneos¹⁶.”

Una modelización por computadora

Weinberg, para estudiar las propiedades de los sistemas ideó uno extraordinariamente sencillo (S1). Estaba constituido por cien dígitos que podían adoptar diez valores distintos cada uno. Se encontraba alojado en la memoria del ordenador y variaba de uno de los posibles estados a otro mediante un programa de transformación (PT) al que se “alimentaba” con una entrada (input) de datos externos (I), que también podían ser generados por un programa del mismo ordenador (ver esquema 1). Con ser un sistema sencillo, son $10^{(100)}$ los posibles estados en que puede estar el sistema, una cifra inmensa.



Esquema 1. Modelo inicial de Weinberg.

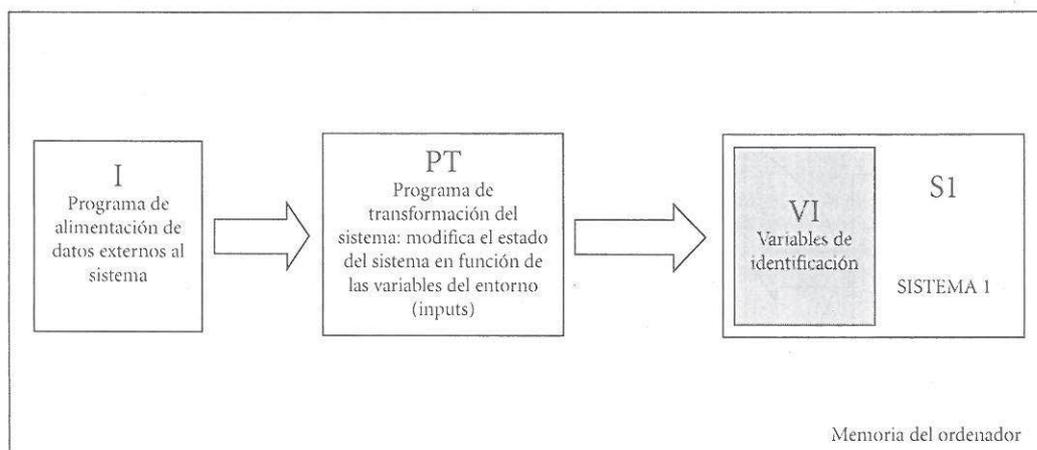
“Otro camino es usar el computador digital como ‘lengua vulgar’, como una forma de lo que Ashby llama “amplificador de la inteligencia”. Esto es otro de los enfoques de nuestra escuela de teoría de sistemas generales. El computador no es solo el modelo con el cual queremos estudiar los procesos de la ciencia, sino que también es para nosotros un modelo conceptual, con derecho propio, que puede servir para aclarar conceptos que se utilizan sin cohesión en muchos campos. Para ejemplificar ampliamente este tipo de aproximación, podemos reflexionar sobre un sistema simple que Ashby propuso como artificio pedagógico y ver qué tipos de ideas podemos sacar cuando llevamos el análisis más allá de los propósitos de Ashby. Utilizando como herramienta para este sistema simple un computador muy sencillo, hemos sido capaces de aclarar esos diversos conceptos importantes de la teoría de sistemas, como son los espacios de estados, sistemas cerrados frente a abiertos, estabilidad, regulación, adaptación y particularmente el papel del observador en todas estas materias. Por tanto, no

hay que tomar estos ejemplos como la última palabra rigurosa sobre estos temas, sino sólo como casos del modo en que unos modelos explícitos y algorítmicos pueden proporcionar la base de una manera de pensar de la que sean capaces incluso los científicos sociales¹⁷.”

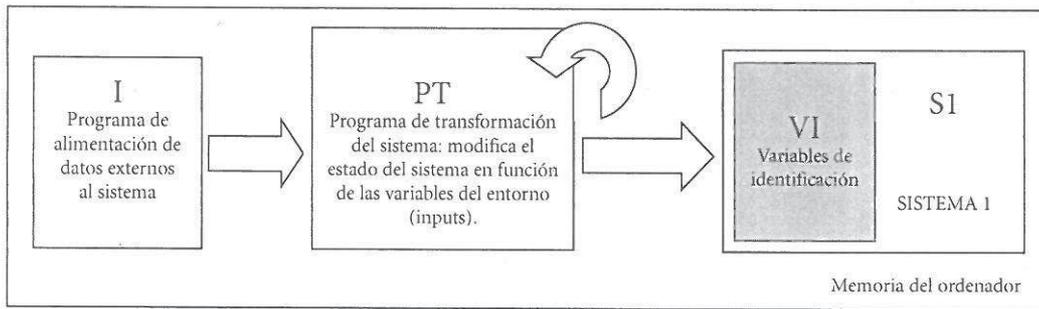
La identidad del sistema

Como acabamos de ver, para hablar de supervivencia de un sistema es necesario que éste tenga una identidad y que sea viable. Pero tener una identidad significa conservar, a pesar de las transformaciones (imprescindibles para que un sistema sea viable), determinados rasgos característicos de ese sistema concreto (ver esquema 2), es decir, mantener determinadas variables invariantes, las variables de identificación (VI).

[7]



Esquema 2. La identidad del sistema.



Esquema 3. Transformando el programa de transformación.

Puede llegar un momento en que aparezca alguna variable externa que, una vez tratada por el programa de transformación (PT), genere valores no aceptables para la supervivencia del sistema y

“un sistema sobrevive si su transformación (PT) continua convirtiendo las variaciones del entorno en variables de identificación que caigan dentro de la región de identificación de su espacio de estados. Alternativamente, un sistema sobrevive en un entorno si sus variables de identificación son estables en ese entorno. Visto de esa manera, el problema de la supervivencia consiste en tener la transformación adecuada en el instante adecuado.¹⁸”

“Cuando el sistema sobrevive efectuando un cambio en su transformación, decimos que el sistema se está adaptando. Cuando sobrevive reteniendo una transformación fija, decimos que el sistema se está regulando. La regulación y la adaptación son dos conceptos centrales de la teoría de sistemas, pues todo sistema se regula o se adapta; de otro modo pierde su identidad¹⁹.”

Pero llegados a este punto (ver esquema 4) debemos darnos cuenta de que el programa de transformación (PT), almacenado en la memoria del ordenador, no es más que un conjunto de dígitos como el mismo sistema (S1), de manera que, en realidad, la transformación es parte de un sistema más amplio (S2).

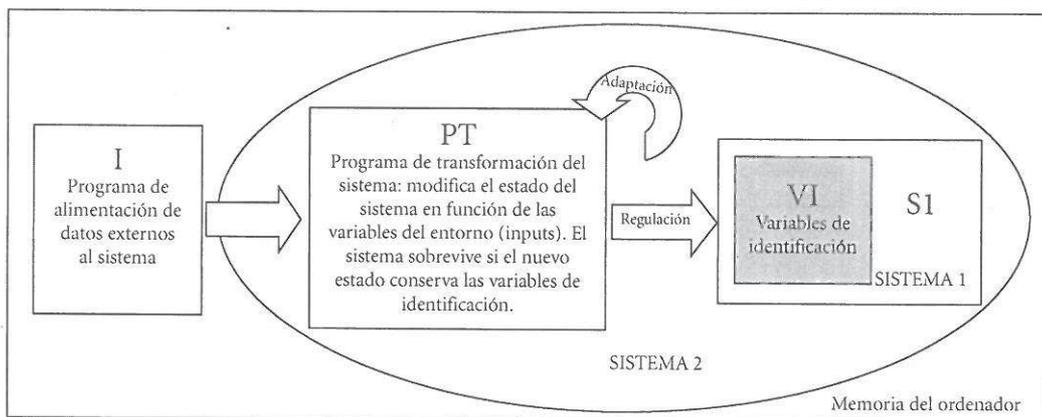
8

Adaptaciones y Regulaciones

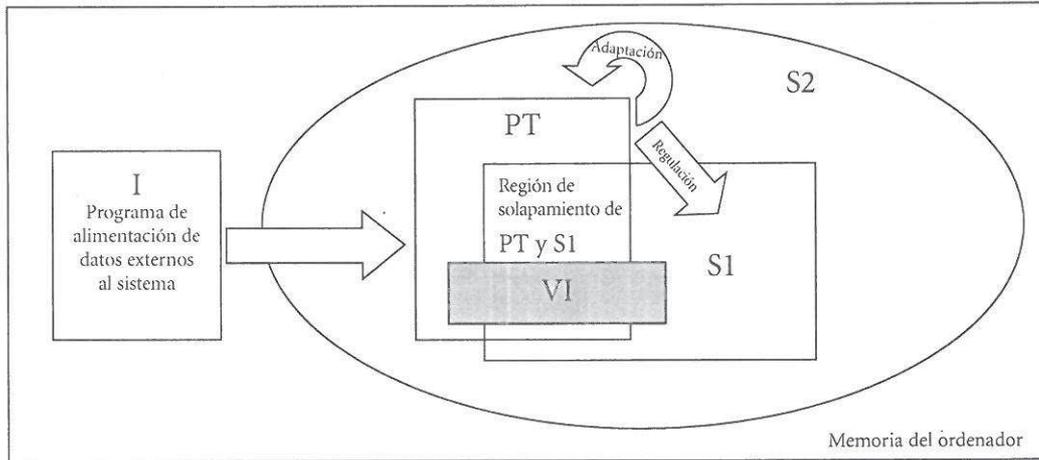
Y una buena manera de obtener la transformación adecuada cuando el programa de transformación (PT) no la proporciona es que cambie el programa de transformación (ver esquema 3).

Algunas analogías

En este momento, es difícil dejar de señalar la analogía (salvando las distancias) entre la asimilación, reestructuración débil, etc., del sistema cognitivo y la regulación de nuestro sencillo modelo de sistema simulado en el ordenador.



Esquema 4. Regulación y adaptación.

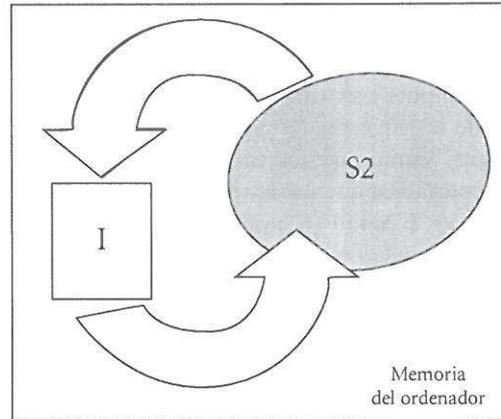


Esquema 5. Seguimiento de PT y S1.

Así como la que hay entre la acomodación, reestructuración fuerte, etc y la adaptación en nuestra simulación. Pero así las cosas, el programa de transformación (PT) y el sistema (S1) no tienen por qué ser compartimentos estancos (ver esquema 5), pues pueden solaparse, es decir tener regiones comunes, en su totalidad o en parte, y las variables de identidad (VI) pueden pertenecer a PT a S1 o a ambas regiones. En este caso, los cambios en el sistema, incluso las regulaciones, pueden suponer una modificación del tratamiento de los inputs, ya que van a afectar a PT.

Otra analogía que nos inspira este solapamiento de PT y S1 en nuestro sencillo modelo de ordenador (volviendo a salvar todas las distancias) es la siguiente: igual que un input, al modificar PT, va a influir en cómo sean tratados los siguientes input, es sabida la influencia que tiene lo que ya se sabe en los nuevos aprendizajes, y cómo estos nuevos aprendizajes (inputs) regulan lo que se puede aprender posteriormente (siguientes inputs).

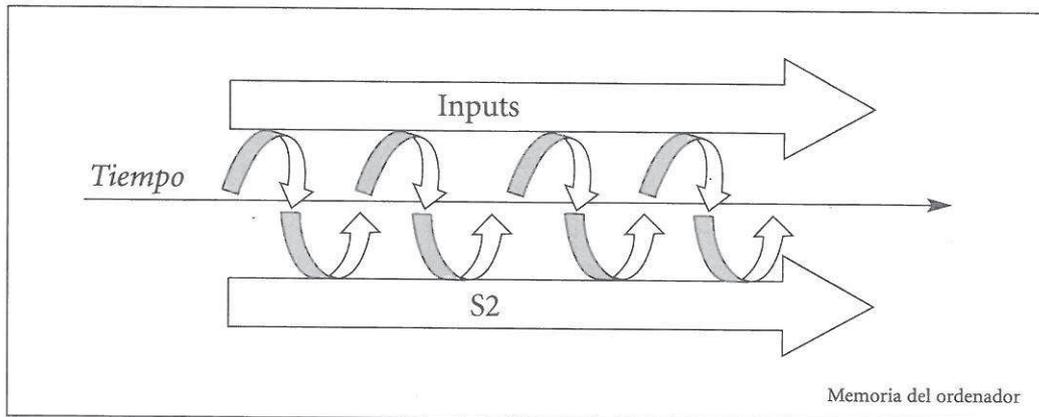
Y por último, otra manera que tienen los sistemas de garantizar su supervivencia es regulando los inputs (ver esquema 6), para que estos sean tolerables y no les pongan en peligro (a este comportamiento responde, por ejemplo, la actividad de abrir una sombrilla cuando hace sol, encender un fuego cuando hace frío, construir una casa, etc).



Esquema 6. Regulación de los inputs.

Si a esta relación circular le añadimos la dimensión temporal, podemos intuir que la supervivencia del sistema a lo largo del tiempo va a suponer un acoplamiento o influencia mutua entre los inputs y el sistema (ver esquema 7 en la página siguiente).

Tomemos, por ejemplo, el caso de los castores. Éstos se empeñan en represar los cursos de agua en donde viven, de manera que el nivel del agua esté siempre por encima de las entradas a sus madrigueras. Para ello utilizan troncos de árboles de ribera que roen y transportan para consolidar su presa. Como consecuencia de las presas que construyen, los cursos de agua están más regulados y hay un aumento considerable de los ambientes adecuados para los



Esquema 7. El acoplamiento de sistemas/inputs.

bosques de ribera. Con lo cual los castores tienen materia prima abundante para construir sus presas, por lo que la población de castores aumenta y en consecuencia... Este acoplamiento entre inputs y sistemas es conocido en ecología desde las investigaciones de Cowles²⁰ y Cléments²¹ como sucesión ecológica. De hecho sólo tendríamos que sustituir en el esquema 7, inputs por biotopo (responsable de las variables físico-químicas que van a influir en la biocenosis) y S2 por biocenosis (la comunidad de seres vivos), para reconocer una representación apropiada de una sucesión ecológica.

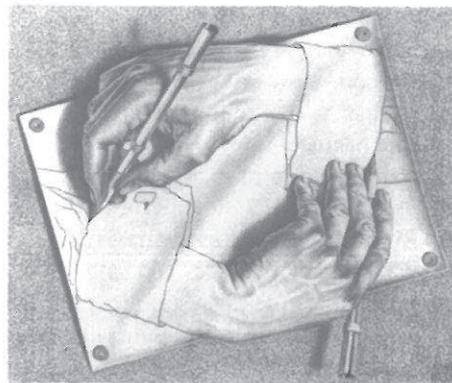
Pero no sólo en ecología se dan estos acoplamientos; es el momento de recordar el efecto *pigmalion*, estudiado y bautizado por Rosenthal y Jacobson²² en una escuela con dieciocho maestras y más de seiscientos cincuenta alumnos:

“antes de comenzar el año escolar, los alumnos debían ser sometidos a un test de inteligencia, y se comunicó a las maestras que, según el test, había un 20% de alumnos que durante el año escolar harían rápidos progresos y tendrían un rendimiento por encima del término medio. Después de la administración del test de inteligencia pero antes de que las maestras entraran por primera vez en contacto con sus nuevos alumnos, se entregaron a las maestras los nombres de aquellos alumnos (en verdad la lista de aquellos nombres se confeccionó enteramente al azar) de quienes podría esperarse con seguridad un desempeño extraordinario según los test. De esta manera, la diferencia entre estos alumnos y los demás chicos estaba solamente en la cabeza de su maestra; al terminar el año escolar se repitió el mismo test de inteligencia administrado a todos los

alumnos, y efectivamente resultaron cocientes de inteligencia superiores al término medio en aquellos alumnos “especiales”; además, el informe del cuerpo docente señalaba que esos niños aventajaban a sus condiscípulos también en conducta, en curiosidad intelectual, en simpatía, etc.²³”

Acoplamientos similares se dan también, como dice Piaget, en el campo e la psicología del conocimiento²⁴:

“Sin embargo, no hay que olvidar un hecho fundamental: y es que la acción modifica sin cesar a los objetos y que estas transformaciones son igualmente objeto de conocimiento. Una de las proposiciones esenciales de K. Marx en sociología es que el hombre actúa sobre la naturaleza con el fin de producir, y al mismo tiempo está condicionado por las leyes de la naturaleza. Esta interacción entre las propiedades del objeto y las de la producción humana se halla también en el campo de la psicología del conocimiento: sólo se conocen los objetos actuando sobre ellos y produciendo en ellos alguna transformación”.



Manos dibujando, de M. C. Escher (litografía, 1948).

La causalidad recurrente

Otra reflexión a la que nos debe llevar el anterior esquema es sobre el fenómeno de la causalidad recurrente, ¿los inputs están condicionando S2, o es S2 quien condiciona los inputs? Nos encontramos ante el problema de la recursividad frente a la causalidad lineal de las lógicas de Platón, Aristóteles y Russell. Sin embargo, para la concepción sistémica la recursividad no es un problema, sino una propiedad característica del funcionamiento de los sistemas²⁵, propiedad que, aunque ahora nos parece evidente, tardó en ser asumida y no sin dificultades

“Cuando James Watt a mediados del siglo XVIII empezó a trabajar en los planos de una máquina movida por el vapor, “los entendidos” le advirtieron que semejante artefacto nunca podría funcionar. Por supuesto se podía hacer que la fuerza del vapor impulsara el émbolo de un extremo al otro del cilindro, digamos de derecha a izquierda, pero aquí el proyecto parecía detenerse ante un impedimento, pues para hacer que el émbolo volviera de nuevo al extremo derecho del cilindro era evidentemente necesario cerrar la válvula derecha del vapor y hacer entrar éste en el extremo izquierdo. En otras palabras: el necesario movimiento de vaivén del émbolo exigía, por así decirlo, un spiritus rector exterior a la máquina o, para decirlo más prosaicamente, un operario que abriera y cerrara alternativamente las válvulas de entrada. Pero esta disposición era incompatible con la idea de una máquina que debía trabajar de modo independiente. Sin embargo, Watt encontró una solución que hoy nos parece trivial: hizo del movimiento de vaivén del émbolo su propia guía al confiar el movimiento a la llamada corredera, que como se sabe, gobierna las operaciones de abrir y cerrar las válvulas de vapor. El movimiento del émbolo, sería entonces, por una parte, causa del alternado abrir y cerrarse de las válvulas, pero este efecto a su vez sería la causa del movimiento del émbolo. Para el pensamiento lineal de causa y efecto propio de aquella época este principio de acoplamiento y retroacción que se basa en una causalidad circular (retroacción) era paradójico²⁶”.

Efectivamente, no es hasta 1925 en que aparece el modelo depredador/presa de Volterra-Lotka, (que surge de la colaboración de d'Ancona y Volterra (24), un zoólogo y un matemático) cuando se empieza a tener en cuenta la recursividad en la dinámica de poblaciones.

“Los biólogos se habían percatado hacía mucho tiempo de la importancia de la causalidad de doble vía: A afecta lo que ocurre en B y B afecta lo que ocurre en A. La relación básica del organismo con el medio ambiente muestra precisamente esa circularidad. Pero los biólogos disponían de técnicas matemáticas o lógicas insuficientes para manejar un proceso conceptual tan difícil y los intentos de tratar el asunto con el lenguaje común solían acabar en confusión²⁸”.

Recursividad que, en una nueva vuelta de tuerca, introduce de lleno a la dinámica de poblaciones como ejemplo de comportamiento caótico de un sistema. Efectivamente, nadie se podía imaginar que al retroalimentar la ecuación logística

$$P_{(t+1)} = r P_t (1 - P_t),$$

utilizada para calcular la variación de la población a lo largo del tiempo²⁹, fuese a tener un comportamiento caótico e impredecible³⁰. Sin embargo, para los sistemas la recursividad no solo no es paradójica, sino que es una de sus características esenciales, sobre todo desde el punto de vista de la identidad del sistema, como señala García³¹ citando a Margalef:

“Es la información presente en la organización del sistema, en los propios procesos recursivos, la que restringe las posibilidades futuras del mismo, por lo que el estado presente, portador de información, deja establecidos los límites para los estados futuros³²”.

Y hoy conocemos también la gran relación que tiene nuestra mente con los procesos sinápticos recursivos que se dan en nuestro sistema nervioso y en nuestro cerebro³³. Efectivamente, Foerster³⁴ hace notar que, al estar la sinapsis mediada por la proporción de neurotransmisores existentes en el medio interno de la cisura sináptica, y

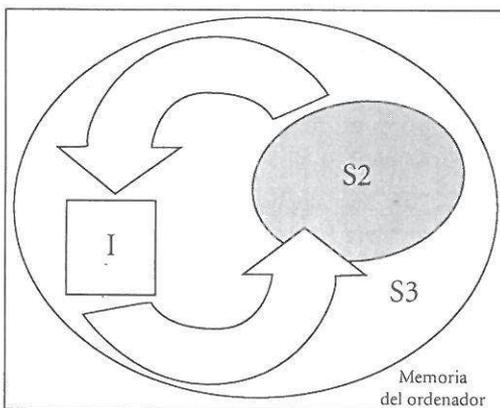
“Dado que disponemos de aproximadamente 100 millones de células sensoriales, pero que nuestro sistema nervioso contiene, en cambio, unos 10.000.000 millones de sinapsis, somos 100.000.000 veces más receptivos frente a modificaciones de nuestro medio interior que frente a modificaciones en nuestro medio exterior”.

Pero no sólo eso; si nuestro sistema nervioso funcionase de una forma lineal y simple,

siguiendo por ejemplo el modelo del arco reflejo, el número de sinapsis precisas no sería mucho mayor que el de células sensoriales ¿Qué hacen por tanto un número tan sobredimensionado de sinapsis? ¿Qué utilidad tienen? La respuesta es que se trata de sinapsis recursivas (inhibidoras o activadoras) entre distintas capas de neuronas, que reciben el nombre de redes neuronales. En la actualidad se están diseñando sistemas de computación que imitan el funcionamiento de dichas redes. Son estructuras de computación masiva y paralela (con conexiones recurrentes) compuestas por unidades no lineales individuales (como las neuronas) en las que el conocimiento se establece mediante un proceso de aprendizaje y se almacena en función del peso, es decir, del número y la importancia, de las interconexiones (sinapsis), muchas de ellas recurrentes, entre los elementos (neuronas) de la red³⁵.

Volviendo otra vez a nuestro modelo, lo que proporciona los inputs es un programa, que se encuentra en la memoria del ordenador, y que consiste en realidad en una secuencia de números. Estaríamos en una situación similar a la que se dio entre S1 y TP, de manera que a S2 e I podríamos considerarlos constituyentes de un nuevo sistema (ver esquema 8), el S3, que engloba como subsistemas a S2 e I.

Esta situación de encaje de unos sistemas en otros no deja de evocarnos la concepción del universo estructurado por niveles de orga-



Esquema 8. Un nuevo sistema.

nización de Tansley³⁶. Además, esta interacción mutua entre los inputs “externos” y el sistema complejo S3 nos sugiere los supuestos de la Hipótesis Gaia, que considera la Tierra y los seres vivos que contiene como un sistema vivo integrado, cuyos diversos componentes interactúan y se influyen mutuamente³⁷.

La concepción sistémica y el análisis de las prácticas docentes

Esta discusión sobre la supervivencia, y por lo tanto evolución y cambio de los sistemas, es pertinente desde el momento en que consideramos a la cognición humana como un sistema complejo y además con una autoconciencia de sus variables de identidad. Si el medio en el que actúa una persona le provoca cambios que no se pueden asimilar con un simple proceso de *regulación* del sistema y que atentan contra lo que el sujeto entiende que es su propia identidad (VI) se pueden dar tres posibles respuestas:

Una de ellas será un cambio en la intervención de ese individuo sobre el medio para tratar de condicionar los inputs (I) de manera que el PT no tenga problemas a la hora de devolver valores coherentes con las variables de identificación (VI).

Otra posible respuesta será un cambio cognitivo (reestructuración fuerte, asimilación...), es decir, un cambio del PT para evitar que la transformación produzca valores de las variables de identificación (VI) que caigan fuera de lo aceptable.

Por último, y esto es muy difícil, podría producirse un cambio en las variables de identificación (VI) del individuo. Seguiría siendo una reestructuración fuerte o una acomodación, pero con una componente traumática, porque afectaría a la propia identidad, lo que le daría un carácter distinto.

En una descripción de los distintos tipos de relaciones constructivas que puede presentar un alumno/a, Rafael Porlán³⁸ coincide a grandes rasgos con el recorrido que hemos hecho basándonos en el modelo de sistema generado en el ordenador. Dice así:

“De hecho se pueden presentar cuatro tipos de relaciones constructivas de menor a mayor complejidad (Kelly, 1995; Norman 1982 y Toulmin 1972)³⁹:

a) El alumno puede simplemente rechazar la información porque no reúna alguno de los requisitos hasta ahora descritos (no responda a sus demandas, no sea comprensible, sea excesivamente compleja, etc.)

b) El alumno puede incorporar la información a su estructura de significados produciendo leves modificaciones, tanto en dicha información como en sus propios esquemas. Es el caso de informaciones que confirman las predicciones del individuo o que aportan datos complementarios sobre un fenómeno conocido. Digamos que en estos casos la integración de la información no requiere de grandes reestructuraciones porque encaja con facilidad. La información modifica cuantitativamente el esquema, pero no cualitativamente. Este proceso se da de manera continua y provoca un efecto de ajuste fino (Norman 1982)³⁹ mediante el cual los esquemas evolucionan lenta y continuamente para adaptarse a la experiencia.

c) El alumno, en ciertos casos, puede incorporar la información produciendo modificaciones importantes en la misma (asimilación) y en los esquemas (acomodación).

Es el caso de esquemas que acumulan fuertes anomalías internas, y que, al abordar una problemática potente, y enfrentados a informaciones muy relevantes y significativas, entran en procesos cualitativos de reestructuración que afectaran también a los esquemas adyacentes.

d) por último, el alumno puede enfrentarse en determinadas ocasiones de su vida a experiencias problemáticas que afecten a zonas amplias y muy significativas de su estructura de significados. No se trata ya de la activación de uno o varios esquemas, sino de una parte sustancial de su teoría personal. Nos referimos a problemáticas vinculadas a intereses muy básicos. Si además la teoría personal presenta anomalías y conflictos de carácter general, el sujeto entra en una situación de crisis que le obligará a reorganizar radicalmente el mundo de sus significados y realizar un cambio revolucionario en el conjunto de sus concepciones personales. (Candy 1983)⁴⁰.

La concepción sistémica resulta pertinente desde el punto de vista de la formación de profesores. Si propugnamos el cambio desde un modelo didáctico a otro, ¿cuáles son las características que definen un determinado modelo didáctico, es decir, sus variables de identidad (VI)? ¿Es posible el cambio de modelo didácti-

co de un profesor/a concreto, o ese cambio va a afectar a sus VI personales y por lo tanto va a resultar difícil (si no imposible) que se de? Una concepción sistémica, desde el punto de vista de la formación de profesores, siempre va a resultar de gran ayuda para tratar este tipo de problemas.

Pero también resulta esencial y de gran ayuda en la docencia misma, donde permite ver las cosas de otra manera y encontrar soluciones distintas, permitiendo a veces darnos cuenta de que lo que se veía como problema, en realidad no lo es. Tomemos el caso del control del aula. La enseñanza tradicional se caracteriza por un control del aula rígido (el objetivo del profesor/a con ese control es regular los inputs que recibe del sistema aula para que le resulten aceptables). Sin embargo, en una enseñanza alternativa se intenta romper con este aula artificial y el resultado son aulas más ruidosas que las habituales, incluso aunque estén funcionando bien⁴¹, lo que causa mucha ansiedad en los profesores que inician un proceso de cambio, y que asocian el aula silenciosa a una adecuada destreza profesional en el control de la misma⁴².

Es fundamental, en estos casos, que los profesores se den cuenta de que el aula es un sistema complejo, con múltiples interacciones, incontrolables muchas de ellas, lo que no impide que pueda tener una dinámica global adecuada, pero que estará lejos de la que se considera habitual en los centros. En la página siguiente incluimos una breve descripción de una secuencia de trabajo sobre esta temática en un curso de formación del profesorado.

En definitiva, resulta crucial tomar conciencia del carácter sistémico del aula¹³, de su inevitable complejidad, que en esta se dan procesos de sucesión y se alcanzan situaciones de clímax⁴⁶, caracterizadas por rutinas⁴⁷ bien desarrolladas y establecidas, en las que el profesor/a juega un importante papel. Todo ello es fundamental para orientar el desarrollo profesional de los profesores y, también, resulta útil a la hora de reconsiderar el papel y el tratamiento de los contenidos⁴⁸ en el aula, así como para organizar la secuenciación de actividades⁴⁹.

Secuencia de trabajo

¿Qué queremos decir con esto de que el aula es un sistema singular y complejo? Para tratar esta cuestión en cursos con profesores se les puede pedir que elaboren un listado de variables del alumno que sean importantes, durante un momento dado, para su rendimiento académico en el aula, y por lo tanto motivo de atención para el profesor/a. Con facilidad, el número de variables que a juicio de los profesores/as son relevantes supera ampliamente la quincena, y en la puesta en común intentamos reducirlas algo. El tipo de listados que aparecen son similares a este:

- ¿Al alumno le gusta el tema que estamos trabajando?
 - ¿Se distrae?
 - ¿Es trabajador?
 - ¿Colabora en el grupo?
 - ¿Toma apuntes?
 - ¿Consulta los libros de la biblioteca de aula?
 - ¿Arma follón?
- ... Y varias más por el estilo, supongamos que quince

Supongamos también (para simplificar) que sean variables que puedan tener sólo dos valores: sí/no. Cada alumno/a podría encontrarse entonces en cualquiera de los $2^{15} = 32.748$ estados posibles, que serían estados a tener en cuenta desde el punto de vista de su rendimiento académico.

Pero en el aula no solo hay un alumno/a, hay hasta 30 (antes de la LOGSE eran 40), ¿Qué pasa entonces? Como el estado de un alumno puede influir en el resto de los alumnos/as, el número de estados distintos en que me puedo encontrar el sistema aula de un momento para otro es de $(2^{15})^{30} = ¡Vaya! Se desbordó la calculadora, y eso que era científica.$

Vamos a intentar reducir el número de variables al máximo, y quedarnos con las más importantes, por ejemplo 7, entonces $2^7 = 128$ estados, lo que parece un número más manejable. Ciertamente fijarse en si un alumno/a está en alguno de esos 128 estados debe ser más fácil que fijarse en si está en alguno de los 32.748 de antes.

Veamos que pasa en el aula con sus treinta compañeros, $(2^7)^{30} = 1,64 \times 10^{63}$ bueno, al menos si me fijo *sólo* en siete variables, no se desborda la calculadora. De manera que de un momento al siguiente el aula puede adoptar uno entre los $1,64 \times 10^{63}$ estados posibles.

¿Se trata de un número grande?, efectivamente a la vista está que se trata de un número grande: 1.645.504.557.321.206.042.154.969.182.557.400.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000 pero es que además supera ampliamente el límite de Bremermann⁴³ para nuestro cerebro.

“Basándose en simples consideraciones físicas de la teoría cuántica, Bremermann hace la siguiente conjetura: no existe un sistema artificial o viviente, de proceso de datos, que pueda procesar más de 2×10^{47} bits por segundo y por gramo de su masa”⁴⁴

Si nuestro cerebro tiene unos 1500 gramos $1500 (2 \times 10^{47}) = 3 \times 10^{50}$, esa sería su capacidad máxima de computación, claramente insuficiente para gestionar un aula. Se trata evidentemente de un número imposible, y eso que al final nos quedamos solo con siete variables. “*Cojamos toneladas de computador y siglos de tiempo, y solo sumaremos unas pocas unidades al exponente*”⁴⁵.

Notas y referencias bibliográficas

- 1 LOVELOCK, J. (1972). Gaia as seen through atmosphere. En *Atmospheric Environment*. Vol. 6.
- 2 BERTALANFFY, L.V. (1956). General System Theory. En *Main currents in modern thought*, Vol. 11, nº 4: pp. 75-83.
- 3 MASON, S. F. (1997). La filosofía de la naturaleza de Alemania, en pp. 114-131 de Mason, S. F. (1985). *La Ciencia del siglo XVIII. Historia de las Ciencias III*, nº 1106. Madrid: Col. El libro de bolsillo. Alianza Editorial.
- 4 PEÑALVER, C. (1989). La perspectiva sistémica y su relación con la Gestalt, el Pragmatismo y el Estructuralismo. En *Investigación en la Escuela*, 9: pp. 3-16.
PEÑALVER, C. (1988). El pensamiento sistémico: del constructivismo a la complejidad. En *Investigación en la Escuela*, 5: pp. 11-16.
- 5 LÉVI-STRAUSS, C. (1974). *Antropología estructural*. Barcelona: Paidós.
- 6 WEINBERG, G. M. (1987). Una aproximación por computadores a la teoría general de sistemas. En KLIR, G. J. (compilad.) *Tendencias en la teoría general de sistemas*, pp. 118-168. Madrid: Alianza Universidad.
- 7 ASHBY, W. R. (1987). Sistemas y sus medidas de información. en KLIR, G. J. (compilad.) *Tendencias en la teoría general de sistemas*, pp. 95-118. Madrid: Alianza Universidad.
- 8 NEUMAN, J. V. y MORGENSTERN, O. (1980). *Theory of games and economic behavior*. Princeton, N. J.: Princeton University Press.
- 9 LUDWING, G. (1986). Microsistemas, macrosistemas y determinismo. En *Proceso al azar*. Barcelona: Tusquets editores.
PRIGOGINE, I. (1986). Enfrentandose con lo irracional. en *Proceso al azar*. Barcelona: Tusquets editores.
- 10 GLEICK, J. (1988). *Caos. La creación de una ciencia*. Barcelona: Seix Barral.
- 11 SAUSSURE, F. (1985). *Curso de lingüística general*. Madrid: Akal.
- 12 MEADOWS, D.H.; D.L.; RANDERS, J. y BEHRENS III, W.W. (1972). *Los límites del crecimiento. Informe al club de Roma*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- 13 PORLÁN, R. (1987). El maestro como investigador en el aula. Investigar para conocer, conocer para enseñar. En *Investigación en la Escuela*, 1.
- CAÑAL, P. y PORLÁN, R. (1986). Bases para un programa de investigación en torno a un modelo didáctico de tipo sistémico e investigativo. En *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1). pp. 54-60.
- GARCIA, J.E. (1988). Fundamentos para la construcción de un modelo sistémico del aula. en PORLÁN, R; GARCÍA, E.; Y CAÑAL, P. (compilad.) *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*. Sevilla: Díada Editoras.
- BREUSE, Ed. (1986). Formación de los docentes centrada en la persona. en ABRAHAM, Ada; et. alt. (compilad.) *El enseñante también es una persona*, pp. 180-190. Barcelona: Gedisa.
- TIKUNOFF, W. Y. (1979). Context variables of a teaching learning event focus on teaching Citado en PORLÁN, R. (1987). El maestro como investigador en el aula. Investigar para conocer, conocer para enseñar. En *Investigación en la Escuela*, 1.
- VYGOTSKI, L. S. (1979). El juego en el desarrollo del niño. En *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. II parte, p. 141. Barcelona: Grijalbo.
- ELKONIN, D. B. (1980). (compilad.) *Psicología del juego*. Madrid: Pablo del Río Editor.
- BALLENILLA, F. (1989). Los juegos de simulación de sistemas: un recurso didáctico necesario. En *Investigación en la Escuela*, 8.
- 14 Aunque los diagramas causales son los idóneos para hacerse una idea intuitiva del funcionamiento de un sistema, los de Forrester, más complicados y menos intuitivos, tiene la ventaja de que se pueden formalizar matemáticamente a partir de las variables de flujo, lo que permite elaborar ecuaciones que describen el comportamiento del sistema, y así tratarlo computacionalmente. Es precisamente un diagrama de Forrester la base del informe al Club de Roma.
- 15 Se trata de diagramas similares a los de Forrester pero adaptados al estudio de los ecosistemas y no a los sistemas económicos.
- 16 WEINBERG, G. M. (1987). Una aproximación por computadores a la teoría general de sistemas. En pp. 151 y 154 de KLIR, G. J. (compilad.) *Tendencias en la teoría general de sistemas*, pp. 118-168. Madrid: Alianza Universidad.
- 17 Idem, p. 127.
- 18 Idem, p. 157.
- 19 Idem, p. 159.