

La interdisciplina

desde la teoría de los sistemas complejos

En las relaciones interdisciplinarias se puede esperar la llegada de una etapa superior que sería "transdisciplinaria", la cual no se limitaría a alcanzar interacciones o reciprocidades entre investigaciones especializadas sino que ubicaría estas relaciones en un sistema total sin fronteras estables entre las disciplinas.

J. PIAGET

Para los jóvenes de hoy es difícil concebir un mundo sin computadoras; los procesadores de texto, los controladores de la inyección de carburante en los automóviles y la *web* parecen haber estado siempre aquí. Cuesta trabajo creer que hubo una época en la que no había correo electrónico o *chats*. La generación que presenció la migración de las computadoras de los laboratorios a las universidades y los hogares es testigo de cómo éstas se fueron transformando de enormes cajas que ocupaban salas enteras, con aire acondicionado y control de humedad, a las *laptops* o *pdas* que cualquier *yuppie* o ejecutivo lleva consigo hoy día, y que multiplican por varios factores de magnitud la capacidad de cómputo de sus ancestros. Indudablemente, la reducción del tamaño de las computadoras es posible gracias a los avances tecnológicos y a la propiedad esencial de que la capacidad de cómputo no depende de los materiales de los que está hecha la computadora.

En los años cuarentas del siglo pasado, el modelo 13 de la UNIVAC estaba construido principalmente con elementos electromecánicos como relevadores y bulbos; luego, se prescindió de las partes mecánicas y se utilizaron únicamente dispositivos eléctricos. En la siguiente generación de computadoras, en los años sesentas, los procesadores se fabricaron con compuestos de estado sólido —transistores— como base material, lo que redujo drásticamente el

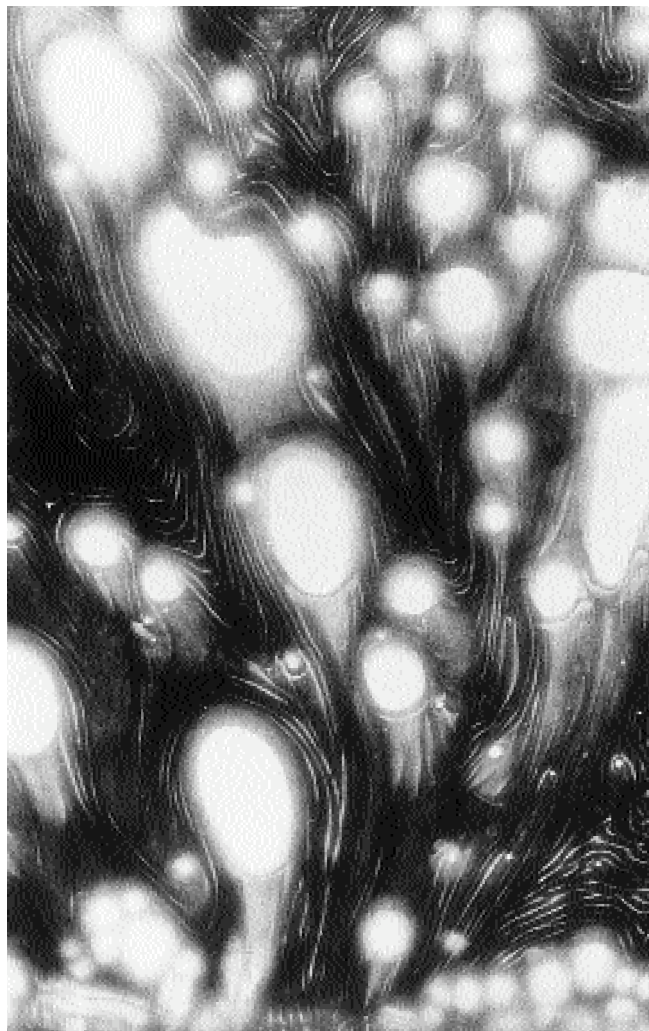
tamaño; hoy, las computadoras comerciales se construyen con chips de silicio. Las sorpresas —o maravillas— del futuro están más cerca de lo que pensamos; ya se ha planteado la posibilidad de hacer procesadores moleculares, basados en las propiedades de complementariedad del ADN, los cuales tendrían una capacidad de cómputo en paralelo tan masiva que, en principio, sería capaz de resolver problemas combinatorios cuya solución pertenece hoy al mundo de las ilusiones. Pero las posibilidades de transformar lo imaginario en realidad no conoce límites, en un futuro lejano —pero no tanto como para que los jóvenes de ahora no tengan esperanza de atestiguarlo— habrá computadoras cuánticas cuya base será la naturaleza discreta de los estados posibles de la materia a nivel ultramicroscópico.

Lo anterior merece una reflexión más profunda; si la propiedad de cómputo no depende de la naturaleza material de los dispositivos que la sustentan, entonces ¿de qué depende? Entendemos dicha propiedad como la capacidad de implementar y llevar a cabo las instrucciones de cualquier algoritmo finito —un algoritmo es una serie de instrucciones que nos dice cómo se deben de ejecutar operaciones aritméticas y lógicas secuencialmente.

Toda información, en particular los algoritmos y los datos que procesarán, se puede representar en forma de

Elke Köppen, Ricardo Mansilla y Pedro Miramontes





cadenas binarias. En un sistema binario los números se representan como una sucesión de ceros y unos, de la misma manera que en nuestro sistema numérico decimal se usan diez dígitos. Cualquier dispositivo que pueda alternar entre dos estados —prendido-apagado, falso-verdadero, etcétera— permite hacer operaciones entre números binarios. Todo esto hace que el dígito binario —*bit*— sea la unidad básica de almacenamiento y transmisión de información en una computadora. En 1847, George Boole desarrolló en Inglaterra el formalismo matemático, el álgebra booleana, el cual sustenta el diseño de aparatos que reciben información como cadenas de ceros y unos, la procesan y la devuelven también como cadenas binarias. Por esto, en principio, cualquier conjunto de dispositivos que puedan conmutar entre dos estados —como los bulbos, los transistores de estado sólido, las biomoléculas y los espines de los electrones— tendrá la capacidad de cómputo.

Entonces, ¿a qué área de la ciencia pertenece la computación? La respuesta es tan categórica como ambigua: a todas y ninguna. La primera computadora reconocida como tal data de 1834, la Máquina analítica del ingeniero mecánico Charles Babbage. Casi un siglo después, los ingenieros eléctricos diseñaron computadoras, como la ENIAC de 1943, de arquitectura totalmente electromecánica y cuya primera tarea fue hacer los cálculos para fabricar la bomba de hidrógeno. Después, se pasó a la ingeniería electrónica y, como hemos apuntado, llegará el día en que veamos ingenieros biomoleculares e ingenieros cuánticos que nos maravillarán con computadoras cada vez más pequeñas y veloces.

Si hacemos a un lado los detalles de los fierros —*hardware*— y atendemos sólo al control y funcionamiento de las computadoras, entonces la ciencia de la computación, por derecho propio, es distinta de las tradicionales. Ha surgido una disciplina que se brinca las trancas de las demás, tiene su propia dinámica y la articula a través de un lenguaje común con las otras, la matemática. Tan es así que, en la década de los treinta, el eminente matemático inglés Alan Turing sentó las bases de la computación moderna de manera totalmente independiente de la naturaleza material de los dispositivos. En resumidas cuentas, para hacer computadoras puede que sea necesario ser ingeniero, pero para hacer computación es indispensable recurrir a la matemática, ese lenguaje universal y abstracto que el intelecto humano ha desarrollado.

¿Es esto un ejemplo de interdisciplina?, gente con diversas formaciones trabajando en un mismo problema ¿es un caso de práctica interdisciplinaria?, ¿tiene la interdisciplina un lenguaje propio diferente de las disciplinas que entran en juego? Para estar en condiciones de responder estas preguntas es necesario un viaje por la historia y otro en torno al debate contemporáneo acerca de la interdisciplina.

Las disciplinas

Después de casi mil años de oscurantismo en los cuales, generación tras generación, la mayoría de los habitantes del mundo que hoy llamamos occidental vivían para rendir vasallaje y pagar impuestos a sus señores locales y diezmos y primicias a los representantes terrenales de un dios vengativo y violento que todo lo ve desde los cielos, en la Europa del siglo XVIII, el Siglo de las Luces, el Renacimiento tiende un puente entre la Antigüedad clásica y la edad

de la razón. Hasta entonces, las supersticiones habían hallado en la ignorancia su mejor caldo de cultivo, propiciando que el poder político, anclado y confundido con el de las jerarquías religiosas, avasallara a los individuos y los sometiera a los peores excesos, sobre la base del miedo generalizado a lo sobrenatural. Mediante la violencia y el crimen cotidiano, el aparato de poder había creado un estado de terror para someter a la gente. La exaltación de la razón por encima de los dogmas en el siglo xvii y su implacable ejercicio crítico fueron un fermento subversivo cuya acción desencadenó una revolución de las conciencias y produjo el racionalismo como doctrina filosófica y como actitud ante la vida.

En Francia, Denis Diderot y Jean le Rond d'Alembert encabezaron el proyecto intelectual más ambicioso de cuantos se habían concebido, *La Enciclopedia*. Diecisiete tomos —en su primera edición— que recogen todo el saber y las ideas de la época. En la monumental obra se hace una clasificación exhaustiva de las artes, las ciencias y los oficios. A partir de ese momento quedan establecidas las fronteras entre distintos aspectos del conocimiento y es posible hablar de disciplina con la connotación moderna, como sinónimo de campo o área de trabajo. Con el tiempo, esta noción se ha transformado y evolucionado de tal forma que en nuestros días conlleva un factor institucional, de gremios académicos —cuando no de mafias—, de intereses y de poder.

Hoy, las disciplinas forman un conjunto abigarrado de ciencias y campos de conocimiento y, en torno a cada una, se aglutinan grupos de profesionales que se identifican corporativamente con ellas. No obstante, las fronteras disciplinarias son borrosas. Por ejemplo, la pregunta acerca de qué son, con precisión, la biología y la sociología, no tiene respuesta. Si tomamos al azar un ejemplar de la prestigiosa revista *Science*, encontraremos artículos de biología estructural computacional, de ecología del bentos marino, de evolución molecular y de biofísica de membranas celulares. ¿Se puede hablar de la existencia de la biología cuando ningún especialista en cada uno de estos temas puede discutir los últimos avances de su campo con los colegas de los otros? En una ocasión, uno de nosotros tenía urgencia de saber cuáles de los nucleótidos son purinas y cuáles pirimidinas, le preguntó al primer biólogo que encontró —que resultó ser un ecólogo de vegetación tropical— quien con gran honestidad respondió que no tenía idea de que son las purinas y las pirimidinas. Otro ejemplo, los matemáticos especialistas en teoría de sistemas dinámicos fo-



man un grupo aparte de los que trabajan teoría de representaciones de grupos y los físicos cosmólogos no se entienden con los acústicos.

El fenómeno de la especialización excesiva y la fragmentación del conocimiento parece haber convertido la intención interdisciplinaria en la búsqueda utópica o nostálgica de la unidad de las ciencias. Para muchos científicos, la ciencia interdisciplinaria es, si acaso, una metáfora. Por su parte, los funcionarios académico-administrativos usan intensamente el término, pero su propósito es mucho menos altruista, lo incorporan al discurso de reforzamiento del poder y del reparto de prebendas entre grupos influyentes de administradores de la ciencia o para reducir presupuestos con el argumento de la falta de recursos.

La discusión acerca de la interdisciplina tuvo su auge en los años setentas del siglo xx y se refleja en la vasta literatura publicada después de esta fecha. En 1970, la Orga-

nización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) convocó a un gran seminario sobre el tema y pronto muchas universidades crearon áreas o centros de estudios interdisciplinarios por excelencia, como los estudios de género, los ambientales y los regionales. Aunque han pasado tres décadas, la búsqueda de una definición única, aceptable para todos, que incluya todas las formas en que se practica, sus motivos y propósitos, y que sirva para delimitar claramente entre lo que es y lo que no es interdisciplinariedad ha resultado infructuosa.

Podemos partir de una certeza, la interdisciplina no existe sin las disciplinas y tampoco se puede prescindir de los especialistas. Es más, el desarrollo de las ciencias ha estado marcado por un continuo proceso de diferenciación e integración que genera cambios constantes. Muchos campos interdisciplinarios constituyen formas de especialización que poseen el potencial de, eventualmente, convertirse en nuevas disciplinas. Asimismo, la interacción de varias disciplinas, característica común en la mayoría de las definiciones de interdisciplina, puede presentar toda una gama de posibilidades cuyos casos extremos son la multidisciplina y la transdisciplina.

Si algún hipotético presidente de la República Mexicana decidiera resolver los problemas del estado de Chiapas, entonces mandaría diseñar un proyecto que contemplara mejorar los caminos, la agricultura, la educación, los servicios de salud, etcétera. Para ello se ocuparían ingenieros, médicos, agrónomos y pedagogos —o militares, para no perder el control. El proyecto global es multidisciplinario en su conjunto porque involucra la participación de trabajadores de muchas disciplinas distintas, pero cada campo mantiene su método, lenguaje y perspectivas. La multidisciplina representa una yuxtaposición de disciplinas que es meramente aditiva y no conlleva la integración ni el enriquecimiento mutuo.

En cambio, en la interdisciplina la colaboración traspasa las fronteras disciplinarias y, aunque los especialistas participantes mantienen la identidad de sus ramas, existe la disposición de estudiar lo necesario de las otras con el propósito de sentar las bases para una comprensión mutua. Un médico aprende el sentido de modelar con ecuaciones diferenciales y un matemático entiende cómo se propaga una epidemia, el resultado —la epidemiología matemática— trasciende tanto la medicina como la teoría de ecuaciones diferenciales. Surgen interrogantes nuevas que no se les ocurrían a los investigadores por separado, y se crean o redefinen viejos conceptos como complejidad, caos o frustración, hasta eventualmente llegar a la creación de nuevas especialidades institucionalizadas. La interdisciplina puede considerarse como el resultado de un proceso de sinergia que requiere el concurso de las partes y propicia la emergencia de cosas nuevas.

Así como en la multidisciplina los campos del saber marchan en conjunto pero sin revolveirse y en la interdisciplina la colaboración permite saltar los muros que separan las disciplinas, en la transdisciplina, como su nombre lo indica, las metas son mucho más ambiciosas: la desaparición de las fronteras. Por ahora, esta propuesta es la más progresista y la más cercana de aquella unidad perdida o nunca alcanzada de las ciencias. La transdisciplina penetra el sistema entero de la ciencia y, al eliminar la fragmentación arbitraria, lleva a la búsqueda ya no de leyes particulares de la física, la biología o la sociedad, sino de leyes de la naturaleza (cuadro 1).

La transdisciplina suena bien, pero en la práctica no funciona. Nadie sabe cómo hacer para que las barreras entre las disciplinas desaparezcan. Hay una extensa bibliografía de pensadores que han trabajado mucho esta propuesta pero, como suele suceder cuando los conceptos

Hay polémica y poco consenso cuando se habla de leyes de la naturaleza. El término y su adjetivo natural provocan fuertes debates entre los científicos de las áreas biológicas, físicas, matemáticas y de los campos sociales. Para los últimos, la naturaleza es lo que queda una vez que se sustrae la sociedad y sus manifestaciones, y natural es el opuesto de artificial; consecuentemente, las leyes de la naturaleza no alcanzan a las sociedades. En cambio, para los primeros, naturaleza es un sinónimo de todo o de universo y, consecuentemente, incluye al mundo de la materia inerte, de lo vivo y también de lo social.

Puestas así las cosas, se ve difícil que una parte convenga a la otra —naturaleza tiene diez y ocho entradas en el diccionario de la Real Academia— por lo que lo mejor es dejar en claro que existen diferencias. Sin embargo, el ánimo conciliatorio no debe de impedirnos hacer algunas precisiones. Las leyes de la naturaleza física son universales y son obedecidas por todos, incluyendo a los humanos y sus agrupaciones. Por ejemplo, no hay quien o quienes se sustraigan de los efectos de las leyes de la gravitación, del electromagnetismo o la termodinámica. Con estas leyes no existe posibilidad de cohecho, extorsión o influentismo. No hay juez, jurado o apelación posible.

Cuadro 1	La naturaleza de la naturaleza.
----------	---------------------------------



no son claros, la forma del lenguaje domina al fondo del asunto. Se elaboran complicados discursos acerca de la necesidad de un metalenguaje, una especie de esperanto intelectual, que borre las fronteras y que permita una especie de libre comercio entre las disciplinas. Lindo ¿no? Pero a un médico no le vamos a hablar de metafísica si queremos salir vivos del quirófano. El problema es que aun la gente que cotidianamente trabaja de manera interdisciplinaria, y que sería la indicada para hacer propuestas constructivas, le da pereza fundamentarla conceptual y epistemológicamente. Una cosa es ser interdisciplinario en la práctica y otra ponerse a teorizar sobre esta actividad.

La asociación de interdisciplina y complejidad

Frecuentemente, los términos de interdisciplina y complejidad están asociados. Pero si el primero se presta a

confusión, peor sucede con lo complejo, que es una de las palabras cuyo significado en la ciencia difiere de su uso habitual en el lenguaje cotidiano —otros ejemplos serían gravedad y caos. Complejo no es sinónimo de complicado y, por lo mismo, complejidad no lo es de complicación o de dificultad. Por complejidad entendemos un estado peculiar de organización de la materia cercano a la transición orden-desorden. Cuando se habla del par dialéctico simplicidad-complejidad se debe entender que ello ocurre porque la complejidad se encuentra en algún lugar entre dos simplicidades; por ejemplo, entre el orden cristalino y el desorden azaroso. En las discusiones acerca de la complejidad, también es frecuente un uso extremadamente libre y erróneo de otros términos asociados. Tal es el caso de caos. La identificación del caos con el azar, lo aleatorio o el desorden, es incorrecta y anula su riqueza conceptual y dinámica. Justamente, en la teoría de los sistemas com-

plejos, la existencia de un comportamiento a la vez determinista y globalmente impredecible es uno de los aspectos más asombrosos y característicos.

Un sistema complejo consta de componentes individuales que interactúan y, como producto de ello, pueden modificar sus estados internos. El número de componentes es suficientemente grande para que su estudio al estilo de Newton —resolviendo una ecuación diferencial por cada grado de libertad— sea imposible, y suficientemente pequeño para que el formalismo de la mecánica estadística —donde promediar proporciona sentido al uso de variables macroscópicas— no sea válido. La interacción no es lineal y, habitualmente, ésta resulta de dinámicas antagónicas. Un sistema complejo es reconocible por su comportamiento en él suele haber autoorganización, frustración y evolución hacia la zona crítica, leyes de potencia espacio-temporales y, fundamentalmente, emergencia de patrones.

La emergencia es el proceso de nacimiento de estructuras coherentes y discernibles que ocurren como resultado de la interacción de los componentes individuales de un sistema complejo. Es un comportamiento colectivo que no se puede deducir de las propiedades o rasgos de los componentes del sistema. Los fenómenos emergentes pueden ser espaciales —emergencia de formas o patrones geométricos— o temporales —de conductas o funciones nuevas. A menudo, la emergencia de patrones es el rasgo distintivo entre un sistema complejo y uno complicado. En el primero, es más importante la relación entre sus componentes que la naturaleza material de los mismos.

Clases de universalidad dinámica

El hecho de que sistemas de naturaleza muy distinta exhiban el mismo comportamiento, independientemente de los detalles particulares de sus componentes —como en las computadoras—, sugiere la existencia de principios organizativos que actúan en el nivel mesoscópico; esto es, entre la dinámica microscópica y la macroscópica. En el año 2000, David Pines y Robert Laughlin designaron como propiedades protegidas de la materia al resultado de estos principios organizadores, y protectorados al conjunto formado por los componentes microscópicos, los principios mesoscópicos y las propiedades universales macroscópicas —por cierto, estas nociones coinciden con la propuesta del principio esclavizador de Hermann Haken en 1978.

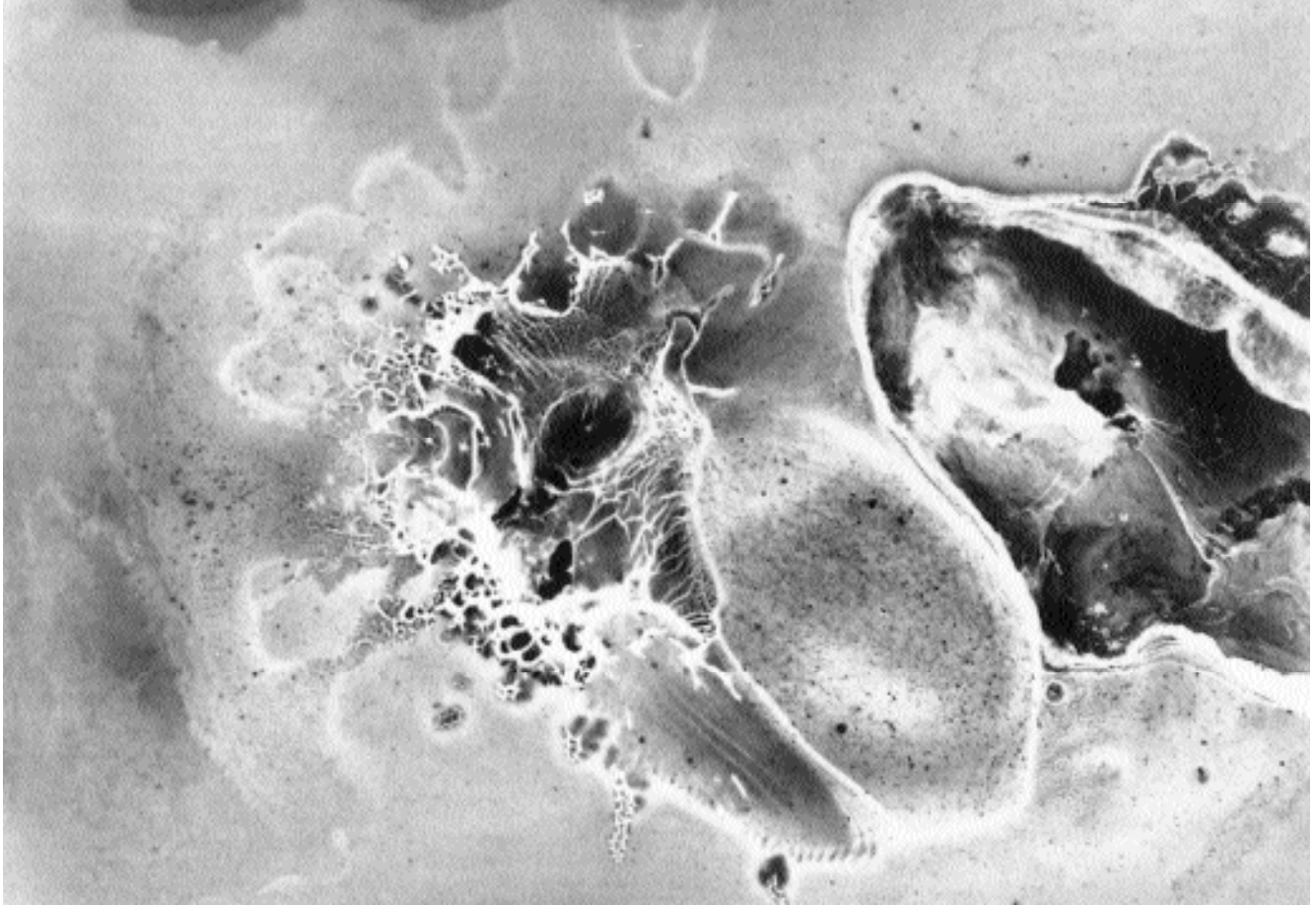
Es posible encontrar ejemplos de protectorados en diferentes niveles de organización de la materia; desde los que mencionan Pines y Laughlin —superconductividad, superfluidez en líquidos bosónicos, etcétera— hasta algunos que trascienden el ámbito de la materia inerte para adentrarse en el mundo de lo vivo.

En adelante, para acentuar el carácter emergente de las propiedades protegidas, y también con el propósito de alejarnos de una nomenclatura con un fuerte sabor imperialista —protectorado fue el nombre usado por los colonialistas europeos durante buena parte del siglo xx para disfrazar su política intervencionista—, los llamaremos clases de universalidad dinámica. Así, la capacidad de cómputo resulta ser una de tales clases.

Otro ejemplo es el crecimiento fractal. Como se sabe, los fractales son objetos geométricos cuya dimensión topológica es diferente de la del espacio de dimensión mínima que los aloja —cero para un punto, uno para una curva, dos para regiones planas y tres para objetos sólidos. De manera que muchos fractales tienen dimensión fraccionaria, lo que significa que llenan más espacio que el de la unión numerable de sus componentes.

Cuando una partícula de polvo se pega a otra, y una tercera se agrega a las dos originales, y así sucesivamente, comienza a formarse un agregado ramificado, pues las ulteriores partículas que se suman tienen mayor probabilidad de hacerlo en una rama periférica que de llegar al centro del cúmulo. El cuerpo que se forma es un fractal con una dimensión que se puede calcular numéricamente con facilidad. Sucede que el objeto así formado es indistinguible de los que resultan del crecimiento de una colonia de la bacteria *Bacillus subtilis* en un plato de Petri, o de la migración de partículas metálicas en un medio coloidal bajo la acción de un campo eléctrico o de la inyección de un líquido en un medio también líquido pero de mayor densidad —agua en glicerina. Entonces, esto es una clase de universalidad dinámica. Lo más relevante del asunto es que el modelo matemático que describe el comportamiento de uno de los integrantes de la clase, describe por igual a los demás. En este ejemplo particular dicho modelo se llama agregación limitada por difusión.

El poder epistemológico del concepto de clase de universalidad dinámica es algo que vale la pena destacar. Si se puede obtener un comportamiento macroscópico común en muchos sistemas, independientemente de sus composiciones microscópicas, entonces la descripción matemática más parsimoniosa del que sea el más sencillo



de modelar, en principio, es válida para todos. De hecho, esta es la razón por la cual los modelos matemáticos existen, funcionan, y lo hacen muy bien; son el retrato de un arquetipo, de una clase de universalidad dinámica.

Por consiguiente, no hay razón para extrañarse de que un modelo matemático originalmente formulado para algún problema de dinámica de poblaciones, sea también efectivo en epidemiología o para la propagación de rumores; tampoco que las herramientas de la mecánica estadística sean las mismas que las de la economía global, o que la conducta de agregados neuronales se parezca a la del comportamiento social de las especies gregarias de insectos.

Complejidad y disciplinas

Si los sistemas que integran una clase de universalidad dinámica son indistinguibles desde la óptica de la matemática que los describe, entonces, las barreras disciplinarias son demolidas —al menos demolibles— y es posible plan-

tear, desde la teoría de los sistemas complejos, nuevas perspectivas para la interdisciplina.

Puede ser que eventualmente los sistemas y su estudio demanden interdisciplina y que el resultado sea exitoso, pero la teoría de los sistemas complejos hace desaparecer las fronteras entre disciplinas, con lo que trasciende la interdisciplina. La discusión de inter, multi o transdisciplina pierde sentido, no sólo al ser derribados los muros entre disciplinas, sino por la emergencia de leyes y principios generales que se pueden estudiar cobijados bajo clases de universalidad dinámica. Entonces, la unidad de la ciencia se dará, naturalmente, en la medida en que sea posible identificar tales clases y el metalenguaje al que aspiran quienes proponen la transdisciplina será, desde luego, el de la matemática.

Resulta ingenuo pensar que las especialidades van a desaparecer con esta propuesta —incluso no creemos que esto sea conveniente— pero a la luz de la teoría de los sistemas complejos las fronteras entre el estudio de lo vivo y lo inerte, de lo natural y lo social, desaparecen. El

principio unificador es la matemática de los sistemas no lineales.

Existe un rechazo injustificado de ciertos círculos académicos hacia la matemática. Se afirma, con más desconocimiento que mala fe, que ésta constituye una serie de métodos cuantitativos cuando es también una ciencia de las cualidades. Es verdad que el medir es una de las operaciones primarias para relacionar la realidad física con el mundo de abstracciones que forman el universo matemático, pero restringir los alcances de esta ciencia a la búsqueda del rigor en las mediciones corresponde a la visión positivista baconiana según la cual sólo es objeto de estudio lo que puede registrarse empíricamente —es decir, medirse.

Las grandes teorías de la ciencia se han construido sobre bases matemáticas y esto no tiene que ver con la pretensión de exactitud en las mediciones sino con las posibilidades de plantear hipótesis sobre cómo ocurre algo en la naturaleza, de construir un esquema mental imaginativo que abra la puerta a la teorización y llevar las consecuencias en el ámbito de los formalismos matemáticos. En palabras de José Luis Gutiérrez, “matematizar una disciplina es [...] penetrar los objetos de estudio con las herramientas para el pensamiento que nos proporciona la matemática, es buscar en ellos lo esencial y acotar lo con-

tingente, es aprender a reconocer las relaciones estructurales o dinámicas entre sus diversos elementos para deducir lo que no es evidente”.

El éxito de la matemática como lenguaje de la ciencia está directamente vinculado con su inagotable capacidad para descubrir pautas y estructuras donde la observación directa y la estadística —justificadora de prácticamente cualquier cosa— sólo puede acumular datos. Es cierto que la matemática también sirve para contar y medir, pero dichas tareas no son sino una ínfima parte de la enorme riqueza que tiene como método, herramienta y lenguaje.

Colofón

En la época del positivismo de los albores del siglo xx, se emprendieron en México campañas alfabetizadoras porque se consideraba que todo individuo debería saber leer y escribir para tener acceso a la cultura y a las líneas del progreso de su tiempo, en pocas palabras, para ser un hombre de su tiempo. Ahora, en los albores del xxi, eso ya no basta, es necesario que todo individuo que quiera vivir su tiempo conozca las herramientas mediante las cuales la naturaleza nos revela sus secretos, los cuales se encuentran cifrados en lenguaje matemático. ☸



Elke Köppen, Ricardo Mansilla

Centro de Investigaciones Interdisciplinarias
en Ciencias y Humanidades,
Universidad Nacional Autónoma de México.

Pedro Miramontes

Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional Autónoma de México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, R. 2003. *Los protectorados en la naturaleza: el caso de la filotaxia*. Tesis de licenciatura en física. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Cocho, G. y P. Miramontes. 2000. “Patrones y procesos en la naturaleza. La importancia de los protectorados”, en *Ciencias*, núm. 59, pp. 12-23.

Klein, Julie Thompson. 1990. *Interdisciplinarity; theory, and practice*. Wayne State University, Detroit.

Laughlin, R. B. y D. Pines. 2000. “The theory of everything”, en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, núm. 97, pp 28-31.

Mainzer, K. 1994. *Thinking in complexity*. Springer-Verlag, Berlin.

Stanley, E. 1999. “Scaling, universality, and normalization: three pillars of modern critical phenomena”, en *Reviews of Modern Physics*, núm. 71, pp. S358-S366.

Ramírez, Santiago (coord.). 1999. *Perspectivas en las teorías de sistemas*. Siglo XXI Editores-CEIICH, UNAM, México.

IMÁGENES

P. 5: Josef Istler. *Fokalk*, 1945. Pp. 6 y 12: Milos Korecek. *Fokalk*, 1945 y 1944. Pp. 7 y 9: Hugo Taborsky. *Autorretrato III, II y I*, 1933. P. 11: Frantisek Povolny. *Fotográfico*, 1933.