

<http://artnodes.uoc.edu>

ARTÍCULO

NODO «ARTE, CULTURA Y CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD»

Emergencia, causalidad y realismo

Manuel DeLanda

Fecha de presentación: octubre de 2009

Fecha de aceptación: octubre de 2009

Fecha de publicación: diciembre de 2009

Resumen

El origen del concepto moderno de emergencia se remonta a mitad del siglo XIX, cuando los filósofos realistas empezaron por primera vez a plantearse las profundas disimilitudes en los campos de la física y la química en torno a la cuestión de la causalidad. El ejemplo clásico de causalidad que ofrece la física es el de una colisión entre dos moléculas u otros objetos rígidos en la que el efecto global es una simple suma. Pero cuando dos moléculas interactúan químicamente, emerge un ente completamente nuevo, como cuando el hidrógeno y el oxígeno interactúan y forman el agua. Se creía que el hecho de que emergieran propiedades y capacidades nuevas a partir de una interacción causal tenía importantes implicaciones filosóficas para la naturaleza de la explicación científica. En concreto, la ausencia de la novedad en las interacciones físicas significaba que la explicación de sus efectos podía reducirse a una deducción a partir de leyes o principios generales. Sin embargo, la síntesis del agua sí produce algo nuevo, algo que emerge a partir de entes que interactúan como causas. Esto condujo a algunos filósofos a la errónea conclusión de que *los efectos emergentes no pueden explicarse*, o, lo que es lo mismo, que un efecto sólo será emergente mientras no se haya encontrado la ley de la cual se deduce. Esta línea de pensamiento pasó a convertirse, a principios del siglo XX, en una filosofía completamente desarrollada, una filosofía basada en la idea de que la emergencia era intrínsecamente inexplicable. Este artículo sostiene que, aunque la primera ola de filósofos emergentistas acertó a ver que el concepto de *emergencia* era una poderosa manera de bloquear el reduccionismo y, por lo tanto, de otorgar a otros campos diferentes de la física el respeto que estos se merecían, se equivocaron acerca de su inherente inexplicabilidad: las propiedades emergentes de un todo surgen a partir de las interacciones causales entre sus partes, interacciones que constituyen un mecanismo explicativo de esas propiedades.

Palabras clave

propiedad emergente, capacidad emergente, explicación, mecanismo, estructura independiente de mecanismos

Abstract

The origin of the modern concept of emergence can be traced to the mid-nineteenth century, when realist philosophers first began to ponder the deep dissimilarities between causality in the fields of physics and chemistry. The classic example of causality in physics is a collision between two molecules or other rigid objects in which the overall effect is a simple addition. However, when two molecules interact chemically, an entirely new entity may emerge, as when hydrogen and oxygen interact to form water. The fact that novel properties and capacities emerge from a causal interaction was believed to have important philosophical implications for the nature of scientific explanation. In particular, the absence of novelty in physical interactions meant that explaining their effects could be reduced to deduction from general principles or laws. However, the synthesis of water does produce something new, something that emerges from the interacting entities acting as causes. This led some philosophers to the erroneous conclusion that emergent effects could not be explained, or, what amounts to the same thing, that an effect is emergent only so long as a law from which it can be deduced has not been found. This line of thought went on to become a full-fledged philosophy in the early twentieth century, based on the idea that emergence was intrinsically inexplicable. This essay argues that while the first wave of “emergentist” philosophers correctly saw that the concept of emergence was a powerful way to block reductionism and, therefore, to give fields other than physics their due respect, they were wrong about its inherent inexplicability: the emergent properties of a whole arise from the causal interactions between its parts, and these interactions constitute an explanatory mechanism for those properties.

Keywords

emergent property, emergent capacity, explanation, mechanism, mechanism-independent structure

«Si dos fuerzas impulsan un cuerpo en dos direcciones, una con tendencia a desplazarlo hacia el norte y la otra hacia el este, en un tiempo determinado, el cuerpo recorrerá exactamente la misma distancia en ambas direcciones que si las dos fuerzas lo hubieran desplazado por separado; de modo que el cuerpo se hubiera detenido en el mismo punto al que hubiera llegado si primero una de estas fuerzas hubiera actuado sobre él, y después lo hubiera hecho la otra [...]. Llamaré *composición de causas* al principio que se manifiesta en todos los casos en los cuales el efecto conjunto de varias causas es idéntico a la suma de sus efectos por separado [...]. No obstante, este principio no prevalecerá ni mucho menos en todos los campos de estudio de la naturaleza. Como es bien sabido, la combinación química de dos sustancias produce una tercera sustancia con propiedades diferentes a las de las dos primeras sustancias tomadas por separado o conjuntamente. No se observa rastro alguno de las propiedades del hidrógeno o del oxígeno en las propiedades de su compuesto, el agua.» (Mill, 1906, pág. 243)

John Stuart Mill inició con estas palabras el debate moderno en torno a la cuestión de la emergencia. Aunque en ningún momento utiliza el término en sí, la anterior cita sí que contiene una de sus definiciones, en concreto la que hace referencia a una propiedad de un todo que es

más que la suma de sus partes. Mill pasa a justificar esta afirmación argumentando que dos causas unidas pueden interferir la una con la otra y contrarrestar sus efectos en vez de sumarlos: un flujo de agua podría llenar un recipiente por un lado al mismo tiempo que, por el otro lado, un desagüe lo vaciara, con lo que el producto de ambos no produciría ningún cambio en la cantidad total de agua almacenada. No obstante, para Mill, esto sólo sería otra versión del principio de composición de causas. Así que la auténtica distinción entre las interacciones física y química no sería tanto que un efecto complejo es una mera suma sino que es completamente diferente o novedoso, como sucede «en el experimento de dos líquidos, los cuales, al mezclarse en determinadas proporciones, se convierten instantáneamente no en una mayor cantidad de líquido sino en una masa sólida» (Mill, 1906, pág. 244). El término *emergente* fue introducido en 1875 por otro filósofo, George Henry Lewes, también en el contexto de una discusión en torno a causas complejas y sus efectos. Cuando dos causas separadas simplemente se unen o se mezclan y producen un efecto conjunto, de manera que podemos ver como su agencialidad actúa en dicho efecto, el resultado es un mero *resultante*, mientras que si existiera novedad o heterogeneidad en el efecto, entonces hablaríamos de un *emergente* (Lewes, 1875, pág. 412).

Ambos autores veían la diferencia entre la física y la química como factor pivotante en la posibilidad de ofrecer una explicación: mientras que, en el campo de la física, explicar un efecto significa deducirlo de una ley, en el campo de la química la deducción no es posible debido a la existencia de la novedad en el efecto. Para saber qué efecto tendrá la combinación de dos causas, qué molécula se sintetizará a partir de la interacción entre dos átomos diferentes, por ejemplo, será necesario llevar a cabo el experimento. Mill no pensaba que esto tuviera que ser causa de desesperación: a su debido tiempo se descubrirían leyes químicas que harían posible que, por ejemplo, las propiedades del agua pudieran deducirse de las del oxígeno y el hidrógeno. Para Lewes, sin embargo, esta posibilidad implicaba que el agua tenía que dejar de ser un emergente y convertirse en un resultante. En sus propias palabras: «Quizás algún día seamos capaces de expresar el proceso inapreciable en una fórmula matemática; hasta entonces deberemos considerar el agua como un emergente» (Lewes, 1875, pág. 415). Dicho de otro modo, algo es un emergente sólo en la medida en que no puede deducirse de una ley, y deja de serlo en el mismo momento en que disponemos de una ley. Esta es una conclusión poco acertada, basada en un error de comprensión no poco importante con respecto a lo que es una explicación en general y lo que es una explicación causal en particular. Antes de intentar corregir dicho error, daremos unos cuantos ejemplos del tipo de pensamiento filosófico al que este error de comprensión dio pie durante las primeras décadas del siglo xx, una corriente de pensamiento que contribuyó a desacreditar la noción de *emergencia* a lo largo de varias generaciones. La actitud básica que moldea esta filosofía queda reflejada en la siguiente cita de C. Lloyd Morgan en *Emergent Evolution*:

«El elemento esencial de una interpretación mecánica –o si se prefiere, mecanicista– es que esta se expresa en términos de efectos resultantes únicamente, calculables mediante sumas algebraicas. Ignora ese algo más, que debe ser aceptado como emergente. Considera los compuestos químicos solamente como una mezcla mecánica más compleja, sin ningún nuevo tipo de relación entre sus constituyentes [...]. Contra tal interpretación mecánica –dogma mecanicista– surgen las protestas de la evolución emergente. La esencia de este argumento es que tal interpretación es totalmente inadecuada. Hay resultantes; pero también hay emergencia. Bajo un tratamiento naturalista, sin embargo, la emergencia, en todos sus grados ascendentes, es lealmente aceptada, sobre la prueba, con piedad natural.» (Morgan, 1931, pág. 8)

La expresión *piedad natural* pertenece al filósofo Samuel Alexander, quien la acuñó con el fin de hacer hincapié en su opinión de que debería aceptarse la existencia de emergentes bajo la compulsión del hecho bruto, eso es, de modo que no necesitasen de ninguna explicación (Alexander, 1920, págs. 46-47). A pesar de algunas connotaciones místicas que aparecen en la obra de Alexander, como

su disposición de niveles emergentes de grado ascendente en una secuencia de espacio-tiempo, vida, mente, deidad, ni él ni Morgan aceptaron la existencia de entes como una *fuerza vital*, *energía vital* o *entelequia*. De hecho, la noción de *emergencia* fue para ellos una manera de deshacerse de esas otras nociones sospechosas (Alexander, 1920, págs. 64-65; Morgan, 1931, págs. 9-12). El auténtico problema que presenta su posicionamiento, aquello que puso el concepto de *emergencia* bajo sospecha de misticismo, fue el rechazo de una explicación. Los filósofos realistas contemporáneos, por otro lado, han adoptado el concepto de *propiedad emergente* precisamente porque no ven ningún problema en dar cuenta de las propiedades irreducibles por medio de algún mecanismo. En palabras del filósofo Mario Bunge, «ni la posibilidad del análisis implica reducción, ni la explicación de los mecanismos de emergencia explica de forma convincente la emergencia» (Bunge, 1979, pág. 156). La rehabilitación de las explicaciones causales durante las últimas décadas se debe, en parte, al trabajo realizado por filósofos como Bunge, quienes han despojado el concepto de causalidad de sus connotaciones de linealidad y homogeneidad.

El tipo de mecanismo causal que filósofos emergentistas como Morgan y Alexander rechazaron está basado en la causalidad lineal. La fórmula de las relaciones causales lineales es «la misma causa, el mismo efecto, siempre». Es posible obtener diferentes formas de causalidad no lineal cuestionando las diferentes suposiciones que integran esta fórmula. La palabra *misma/o* puede cuestionarse de dos maneras, ya que es posible interpretarla tanto con respecto a la intensidad de la causa («misma intensidad de causa, misma intensidad de efecto») como a la misma identidad de la causa. Empecemos con el posicionamiento que rompe de forma más sencilla con la causalidad lineal, el que pone en tela de juicio la mismidad de la intensidad. Para ello podemos poner como ejemplo la Ley de Hooke, mediante la cual se describe una regularidad en la manera en que los cuerpos sólidos responden a las cargas, como un muelle de metal al que se le acopla un peso determinado. En dicho caso, la causa sería el evento «que cambia la cantidad de peso que el muelle soporta», mientras que el evento «de deformarse» (que se extiende si se estira o que se encoge si se empuja) sería el efecto. La Ley de Hooke puede representarse mediante un gráfico en el que se muestran la carga frente a la deformación y que tiene la forma de una línea recta (lo que explicaría una de las fuentes del significado del término *lineal*). Este patrón lineal describe el siguiente hecho: si doblásemos el peso que el muelle soporta, su deformación también sería el doble; o, expresado de forma más general, un material sujeto a una carga determinada se extenderá o se contraerá en un valor determinado que siempre será proporcional a la carga.

Mientras que algunos materiales como el acero dulce u otros metales industrialmente homogeneizados presentan este tipo de efecto proporcional, otros no lo hacen. En el caso de, por ejemplo, el tejido orgánico, en un gráfico de carga frente a deformación se

muestra una curva en forma de *J*. Tal y como indica un científico de materiales «un suave tirón produce una extensión considerable, mientras que un tirón más fuerte resulta en una extensión adicional relativamente pequeña», hecho que uno puede verificar con facilidad simplemente estirando de su propio labio (Gordon, 1988, pág. 20). Dicho de otro modo, una causa de intensidad baja produce un efecto de intensidad relativamente alto, hasta llegar a un punto después del cual el incremento de la intensidad de la causa produce un efecto de intensidad baja. Otros materiales, como la goma de un globo, muestran una curva en forma de *S* que representa una relación más compleja entre intensidades: incrementar primero la intensidad de la causa no produce casi ningún efecto, como cuando uno empieza a inflar un globo y este se niega a hincharse; no obstante, a medida que la intensidad aumenta se llega a un punto en el que, de repente, el globo de goma cede ante el incremento de la presión del aire y aumenta rápidamente de tamaño hasta llegar a un segundo punto en el que, otra vez, deja de responder a la carga. El hecho de que las curvas en forma de *J* y de *S* sean sólo dos de las muchas posibilidades de ruptura con la proporcionalidad, en el sentido estricto, significa que los términos *lineal* y *no lineal* no son una dicotomía. En vez de ser una oposición única, los patrones no lineales representan una variedad de posibilidades de entre las que el caso lineal no es sino un caso límite.

Aquellos casos que ponen en entredicho la misma identidad de las causas y de los efectos en la fórmula «la misma causa, el mismo efecto, siempre» son todavía una forma más contundente de causalidad no lineal. Cuando un estímulo externo actúa sobre un organismo, incluso una simple bacteria, en muchos casos el estímulo actúa de manera que provoca una respuesta por parte del organismo. Una criatura biológica se define internamente por un gran número de complejas series de eventos, algunas de las cuales se cierran en sí mismas formando un bucle causal (como un ciclo metabólico) en el que presentan sus propios estados internos de equilibrio como un todo. Un efecto como el cambio de un estado estable a otro puede en este caso ser el resultado de una variedad de estímulos. A saber, en dicho sistema causas diferentes pueden conducir al mismo efecto. Por razones similares, dos componentes diferentes de un mismo ente biológico, cada uno de ellos con un conjunto diferente de estados internos, puede reaccionar de manera completamente diferente a la estimulación externa. Es decir, la misma causa puede conducir a efectos diferentes dependiendo de la parte del organismo sobre la que actúe. Bunge usa el ejemplo de la auxina, una hormona vegetal que cuando se aplica a las puntas de una planta estimula su crecimiento, pero cuando se aplica a las raíces de la misma lo interrumpe (Bunge, 1979, pág. 49). Aunque las materias orgánicas (tejido, caucho) y las criaturas orgánicas son un buen ejemplo de causalidad no lineal fuerte y débil, la biología no tiene el monopolio sobre la no-linealidad. Pues incluso los procesos meramente físicos pueden comportarse en maneras que exijan una ruptura con la vieja fórmula. En palabras del mismo Bunge:

«El acto de disparar con un arco suele considerarse como la causa del movimiento de la flecha, o, mejor aún, de su aceleración; aunque la flecha no empezará a moverse salvo que cierta cantidad de energía (energía potencial) haya sido previamente almacenada en el arco al doblarlo; la causa (disparar con el arco) desencadena el proceso pero no lo determina por completo. En general, las causas eficientes son sólo efectivas en la medida en que desencadenan, aumentan o reducen los procesos internos; en resumen, las causas (eficientes) extrínsecas actúan, por así decirlo, montadas sobre los procesos internos.» (Bunge, 1979, pág. 195)

Otra manera de expresar esta idea es diciendo que las explicaciones deben tener en cuenta no sólo la capacidad del ente de afectar sino también su capacidad de ser afectado. Esta última, a pesar de depender de la actividad de otro nivel de organización como es la propia de las partes componentes, no es simplemente el lado pasivo de la capacidad activa de afectar sino que es igualmente activa en sí misma. En los casos del tejido orgánico o el caucho, por ejemplo, las curvas de respuesta no lineales se explican por medio de hechos relativos a la microestructura de los materiales que determinan su capacidad para ser afectados por una carga. Una vez llegamos a considerar casos como una bacteria y sus estados estables internos, su capacidad de ser afectados domina sobre su respuesta a las causas externas y estas últimas quedan reducidas a meros desencadenantes. La tercera y última ruptura con la linealidad, la que cuestiona la parte del *siempre* de la fórmula lineal, también depende de esta distinción. En cuanto dejamos de considerar un único ente y pasamos a pensar en poblaciones de dichos entes, la causalidad pasa a ser estadística. Incluso si una población estuviera compuesta de entes del mismo tipo, cada uno de sus miembros presentaría estados internos ligeramente diferentes y, por lo tanto, la misma causa los afectaría de maneras diferentes. La explicación que nos ofrece la proposición «fumar provoca cáncer», por ejemplo, no es que una causa (fumar) siempre produce el mismo efecto (la generación del cáncer), si no que, dado que la capacidad de los fumadores de ser afectados depende en parte de sus propias predisposiciones genéticas, una causa incrementa la posibilidad de que se dé el efecto en una población determinada (Salmon, 1984, págs. 30-34).

Estas observaciones en torno a la naturaleza de la causalidad son importantes porque los compromisos ontológicos de una filosofía pueden predecirse con suma precisión a partir de su concepción de lo que es el vínculo causal. Si la relación entre una causa y su efecto se comprende como reducible a categorías conceptuales o lingüísticas, la filosofía en cuestión es de corte más bien idealista; si la causalidad se reduce a la conjunción constantemente observada de una causa y su efecto, entonces la filosofía es más típicamente empirista o positivista; y si se considera que la causalidad es una relación objetiva de producción entre eventos, es decir, una relación en la que un evento produce otro evento, entonces la filosofía tenderá

a ser de carácter realista o materialista. Los filósofos realistas, por otro lado, deberán tener cuidado al afirmar la independencia de la mente de las relaciones causales, ya que las capacidades de afectar y ser afectado tienen un estado ontológico complejo. Veamos este punto a través de un ejemplo. Un cuchillo considerado como un ente autónomo se define por sus propiedades, como pueden ser la de tener cierta forma o peso, o la de encontrarse en estados diferentes, como el estado de estar afilado. La afiladura es una propiedad objetiva de los cuchillos, una propiedad que siempre es actual: en cualquier momento dado el cuchillo está afilado o no lo está. Sin embargo, la capacidad causal del cuchillo no será necesariamente actual si el cuchillo no está siendo utilizado. De hecho, si no se usase nunca el cuchillo, la capacidad de cortar podría no llegar a ser actual. Por otro lado, cuando la capacidad está actualizada siempre lo está como un doble evento: cortar / ser cortado. Dicho de otro modo, cuando un cuchillo ejerce su capacidad de cortar, la ejerce interactuando con un ente diferente que tiene capacidad para ser cortado. Esto implica un posicionamiento realista no sólo por lo que respecta a la independencia de la mente con relación a las propiedades actuales, sino también con relación a las capacidades causales que son reales pero no necesariamente actuales (Bhaskar, 1997, pág. 51).

Volvamos ahora a la cuestión de la emergencia a fin de ofrecer una definición de la misma: una propiedad de un todo será emergente si se produce mediante interacciones causales entre sus partes componentes. Estas interacciones, por medio de las cuales las partes ejercen sus capacidades de afectar y ser afectadas, constituyen el mecanismo de emergencia que yace detrás de las propiedades del todo. Una vez adoptamos una visión más compleja de la causalidad, ya no hay razón alguna para concebir un reloj u otros dispositivos sencillos como mecanismos de emergencia. Algunas partes componentes, por ejemplo, pueden formar parte de bucles de retroalimentación en los cuales una parte que se encuentre afectada por otra puede, a su vez, reaccionar y afectar a la primera; otros componentes pueden permanecer no afectados hasta que el nivel de actividad que los rodea alcance un umbral crítico, momento en el cual pueden entrar en acción; y otros componentes pueden producirse o destruirse durante una interacción. Este nivel de complejidad es típico de muchos mecanismos químicos. En otros casos, un mecanismo de emergencia puede comprender partes interactuantes que operan a escalas diferentes y que presentan diferentes grados de organización: algunas partes pueden ser relativamente grandes y tener una estructura interna, por lo que sus interacciones con otras partes pueden simplemente provocar un efecto que será parte de su repertorio interno de comportamientos, mientras que otras partes pueden ser pequeñas, sencillas y existir como partes de poblaciones que contribuyen a la emergencia del todo mediante efectos que son de carácter estadístico. Esta compleja coexistencia de componentes a menudo puede encontrarse en aquellos mecanismos que son responsables de las propiedades de órganos como los riñones.

Así pues, no hay nada en la definición de *mecanismos de emergencia* que limite su complejidad. La única limitación conceptual que se desprende de esta definición es que las partes componentes no deben fusionarse en una totalidad íntegra. En otras concepciones de todos irreducibles se asume que las propiedades de las partes están determinadas por las respectivas funciones que desempeñan en el todo, de manera que, de separarse de este, sus respectivas identidades variarían. Sin embargo, a fin de desempeñar una función en un mecanismo, las partes deben tener sus propiedades características –separarlas del todo sólo impide que ejerzan sus capacidades– y permanecer separadas para poder interactuar. Esto puede resumirse afirmando que la irreducibilidad debe ir acompañada de la descomponibilidad. Otra manera de expresar esta limitación es exigiendo que las relaciones entre las partes no sean relaciones de interioridad en las cuales la misma identidad de los términos esté determinada por sus relaciones. El rechazo de la explicación de las propiedades holísticas mediante mecanismos suele estar arraigada en la suposición de la interioridad de las relaciones. En palabras de Hegel: «Esto es lo que constituye el carácter del mecanismo, a saber, que cualquiera que sea la relación obtenida a partir de las cosas combinadas entre sí, esta relación será ajena a dichas cosas en tanto que no tiene nada que ver con la naturaleza de las mismas, e incluso si parecen venir unidas por una similitud de unidad, esta no es más que composición, mezcla, agregación, etc.» (Hegel, 1999, pág. 711). En lugar de ello, como el filósofo realista Gilles Deleuze ha enfatizado, necesitamos concebir las partes de un mecanismo en términos de relaciones de exterioridad, de manera que «una relación pueda cambiar sin que cambien los términos» (Deleuze *et al.*, 2002, pág. 55). Los términos *interioridad* y *exterioridad* no deberían confundirse con términos espaciales como *interno* y *externo*: órganos como los riñones, el corazón o el hígado pueden ser internos al cuerpo, aunque interactúen entre sí a través de sus propias superficies o membranas externas, excretando sustancias bioquímicas o sintiéndolas por medio de receptores incorporados. Sus relaciones íntimas no se explican por su necesaria constitución mutua sino por su coevolución contingente.

He mencionado más arriba que la actitud de resignación agnóstica o de piedad natural hacia la emergencia estaba basada en una concepción errónea de la naturaleza de la explicación. Una concepción lineal de los mecanismos, una concepción que incluye relojes pero que no incluye motores de vapor, transistores o termostatos es sólo un aspecto de ese error de concepción. El otro aspecto está relacionado con el concepto de *ley general* y con la idea de que explicar un efecto significa deducirlo de una ley general. Los dos aspectos están relacionados, ya que si tomamos como caso típico la fórmula lineal «la misma causa, el mismo efecto, siempre», entonces es fácil confundirla con una fórmula lógica como «si C, entonces necesariamente E». Incluso Mill, el más lúcido de los primeros emergentistas, pensaba que el caso más general era aquel en el que dos causas

lineales tienen un efecto aditivo –con la excepción de los efectos químicos o biológicos que eran un caso especial– y que, por lo tanto, la explicación exigía una deducción (Mill, 1906, págs. 430-432). Pero como acabamos de ver, la no-linealidad es la norma, mientras que la linealidad es la excepción. Por otro lado, el segundo aspecto constituye un problema adicional que supondría un obstáculo para la concepción correcta de la explicación, incluso si aceptáramos la no-linealidad. Este otro problema está relacionado con los compromisos ontológicos que implica el concepto de *ley*. Para un positivista, es decir, para alguien que cree en la existencia independiente de la mente de todo aquello que puede observarse directamente, el término *ley* hace referencia a las ecuaciones que describen una regularidad causal; eso es, ecuaciones que son directamente observables cuando se encuentran escritas en una hoja de papel. Para un realista, por otro lado, el término hace referencia a los patrones inmanentes de ser y manifestarse en interacciones causales objetivas, independientemente de que estas no sean directamente observables (Bunge, 1979, págs. 22-23). La cuestión, así pues, es si el mismo concepto de *ley*, un concepto que podría argüirse que constituye un fósil teológico integrado en la ciencia moderna, es adecuado para pensar sobre esos patrones inmanentes. Analicemos más detalladamente este problemático concepto.

En su estudio sobre el carácter de la ley física, Richard Feynman argumentó que la ley de la gravedad cuenta con tres versiones completamente diferentes. En primer lugar hay la más habitual, que se expresa en términos de fuerzas y aceleraciones; en segundo lugar tenemos una versión más reciente, en la que se usan campos; y, por último, la menos conocida, que se expresa en términos de singularidades tales como los valores máximos y mínimos de algún parámetro. Como positivista, Feynman creía que la tarea de la física no era explicar el funcionamiento interno del mundo, sino simplemente elaborar descripciones compactas que fueran útiles a la hora de realizar predicciones y que incrementaran el grado de control que tenemos sobre los procesos de laboratorio. Sin embargo, y en tanto que las tres versiones de la ley de la gravedad nos conducen a realizar las mismas predicciones, resulta inútil especular cuál de las tres «realmente» explica el proceso gravitacional. ¿Realmente existen fuerzas que actúan como causas y que cambian la velocidad de los cuerpos celestes? O, ¿de verdad contiene la realidad campos gravitacionales? O, aún más extraño, ¿es todo cuestión de singularidades? Para Feynman, no hay respuesta a estas preguntas (Feynman, 1997, págs. 50-53). Los filósofos realistas, por otro lado, no tienen que regirse por proscripciones positivistas; así que, cuando se trata de leyes, pueden tomarse en serio la realidad de los patrones inmanentes incluso cuando esto significa tener que enfrentarse al exceso de opciones ofrecidas por la multiplicidad de versiones de una misma ley. Si tenemos en cuenta que muchos entes físicos se comportan como partículas discretas (los tipos de entes a los que se les pueden aplicar fuerzas) y como campos continuos, las primeras

dos versiones no suponen problema alguno. Dicho de otro modo, la divergencia de nuestros modelos identifica una divergencia objetiva en la realidad. Pero, ¿cómo hemos de entender la tercera versión? Es decir, ¿qué se supone que son las singularidades? La respuesta sencilla es que las singularidades definen la estructura objetiva de un espacio de posibilidades. Para ver qué implicaciones encierra esta definición, deberemos explorar, aunque de forma breve, la historia de esta versión de la mecánica clásica, lo que conocemos con el nombre de *versión variacional*.

La versión variacional es bien conocida en una de sus formas. En 1662 Pierre de Fermat sugirió que la luz se propaga entre dos puntos para minimizar el tiempo de recorrido. La idea básica de dicho posicionamiento puede explicarse de la siguiente manera: si supiéramos los puntos de inicio y final de un rayo de luz, y si pudiéramos formar el conjunto de todos las trayectorias posibles que unen a estos dos puntos (trayectorias rectas, trayectorias torcidas, trayectorias onduladas), entonces nos sería posible saber cuál de estas posibilidades es la que la luz actualiza seleccionando la que lleva el menos tiempo posible. En los siglos siguientes, otros «principios de mínimos» se fueron añadiendo al de Fermat (el de acción mínima, el del mínimo esfuerzo, el de resistencia mínima, el de energía potencial mínima). Pero la auténtica innovación fue el desarrollo, en el siglo XVIII, de una manera de extender esta idea al mundo de las funciones diferenciales, la tecnología matemática básica subyacente en la mayoría de modelos de la física clásica. A saber, el cálculo de variaciones creado por el matemático Leonard Euler. Antes de Euler, el problema principal era encontrar una manera de especificar el conjunto de caminos posibles de modo que el conjunto fuera lo más incluyente posible; es decir, que contuviera todas las posibilidades. Esto se llevó a cabo «parametrizando» los caminos, es decir, generando los caminos por medio de la variación de un único parámetro (Lemons, 1997, pág. 7). No obstante, existe un gran número de problemas físicos en los cuales las posibilidades no pueden parametrizarse mediante un conjunto discreto de variantes. El método de Euler solucionó este problema haciendo uso de los recursos del cálculo diferencial. Sin detenernos ahora en detalles técnicos, estos recursos le permitieron especificar de manera rigurosa el espacio de posibilidades y localizar los puntos máximo, mínimo y de inflexión (es decir, todas las singularidades) de las funciones que unen a los puntos de inicio y final (Lemons, 1997, págs. 17-27).

A mediados del siglo XIX, los distintos procesos que habían sido objeto de estudio por parte de la física clásica (ópticos, gravitacionales, mecánicos, electrostáticos) recibieron una forma variacional y, a consecuencia de ello, fueron unificados bajo un único principio de mínimos: la tendencia a minimizar la diferencia entre la energía cinética y la potencial. Dicho de otro modo, se descubrió que el espacio de posibilidades de todos los procesos clásicos estaba estructurado por una simple singularidad. La unificación de todos los campos conocidos de la física bajo una única ecuación de la cual podían derivarse

efectos de manera deductiva condujo algunos círculos filosóficos a dudar de la utilidad de la noción de mecanismo causal: si podemos predecir el resultado de un proceso usando métodos variacionales, entonces ¿qué sentido tiene dar una explicación causal? Pero como el mismo Euler había argumentado un siglo antes, las explicaciones en términos de singularidades y causas (o de causas finales y efectivas) no son mutuamente excluyentes sino que son complementarias. En sus propias palabras:

«En tanto que el tejido del universo es de la mayor perfección y la obra de tan sabio creador, nada en absoluto tiene lugar en el universo sin que una regla de máximo o mínimo aparezca. Por consiguiente, no hay duda alguna de que todo efecto en el universo puede ser explicado tan satisfactoriamente a partir de causas finales, con la ayuda del método del máximo y el mínimo, como a partir de las mismas causas efectivas [...]. Por lo tanto, dos métodos para el estudio de efectos en la naturaleza se abren ante nosotros, uno por medio de causas efectivas, que habitualmente suele llamarse *el método directo*, y el otro por medio de causas finales. [...] Deberíamos hacer un esfuerzo especial para ver que ambas maneras de abordar la solución al problema se abren ante nosotros; ya que no sólo una solución refuerza a la otra, sino que, más aún, el acuerdo entre las dos soluciones nos proporciona la mayor de las satisfacciones.» (Euler)

A finales del siglo XIX empezaron a aparecer singularidades en otras ramas de las matemáticas, como en el estudio de espacios topológicos, espacios abstractos en los que las nociones habituales de longitud, área y volumen no tienen sentido alguno. El matemático Henri Poincaré, por ejemplo, investigó las relaciones entre los máximos y los mínimos del cálculo variacional y las singularidades topológicas de reciente descubrimiento. En concreto, utilizó la topología para investigar la estructura del espacio de las posibles soluciones para modelos matemáticos específicos. Dado que estos modelos se utilizan para predecir los estados futuros de un proceso físico particular, con cada solución a la ecuación representando un estado, el espacio de todas las soluciones se conoce como *espacio de estado* (o *espacio físico*). Poincaré descubrió que la estructura del espacio de estado está definida por diferentes tipos de singularidades. Algunas tienen la forma topológica de un punto, de manera muy parecida a los máximos y mínimos del cálculo variacional. La existencia de una singularidad puntual en el espacio de estado de un proceso define una tendencia a estar en un estado estable o de equilibrio, eso es, o bien en un estado de no-cambio o en uno en el que el cambio ocurre de manera uniforme (como en el flujo continuo de un líquido). Las singularidades en la forma topológica de un bucle cerrado (ciclos límite) definen oscilaciones estables, es decir, la tendencia de un proceso a tener un ritmo preciso y a volver a ese mismo ritmo cuando se vea afectado por impactos externos (Barrow-Green, 1997, págs. 32-33). Poincaré incluso alcanzó a ver

las singularidades más exóticas a las que hoy nos referimos como *extrañas* o *caóticas* (Stewart, 1989, págs. 70-71).

Las tendencias hacia diferentes tipos de estabilidad (estable, periódica, turbulenta), y cuya existencia predijeron las singularidades matemáticas, han sido confirmadas en experimentos de laboratorio. Estas tendencias desempeñan un papel importante a la hora de explicar las propiedades emergentes de los procesos puramente físicos. Esto es de gran importancia, pues los primeros emergentistas, desde Mill hasta Morgan, pensaban que la química marcaba un umbral de complejidad por debajo del cual no había efectos emergentes. Las burbujas de jabón y los cristales, por ejemplo, adquieren sus formas estables gracias a que el proceso que los produce tiende hacia un estado de equilibrio, el estado que minimiza la energía superficial o la energía de enlace, respectivamente. De forma similar, los patrones circulatorios periódicos que caracterizan ciertas corrientes eólicas (como los vientos alisios o el monzón) y los flujos subterráneos de lava que conducen placas tectónicas se explican a partir de la existencia de una tendencia hacia un estado periódico estable en el proceso en el que se originan. El hecho de que la misma tendencia aparezca en procesos físicos, cuyos detalles son totalmente diferentes, muestra que la función explicativa de las singularidades es diferente a la de las causas. Cuando se da un proceso físico típico, es posible reconocer los mecanismos causales específicos que producen efectos concretos, y estos mecanismos varían de un tipo de proceso a otro: los mecanismos ópticos son diferentes de los gravitacionales y estos últimos son diferentes de los electrostáticos. Sin embargo, el hecho de que debajo de estos mecanismos se halle la misma tendencia a minimizar parte de la cantidad, muestra que la singularidad es independiente del mecanismo.

Basándonos en esto, podemos concluir que explicar un efecto emergente implica describir no sólo un mecanismo concreto sino también las singularidades que estructuran el espacio de posibilidad que yace detrás de las tendencias estabilizadoras que se manifiestan en esos mecanismos. En el caso de los mecanismos, ha sido importante distinguir entre la causalidad lineal y la no lineal, a fin de responder a aquellas críticas que han expuesto que los efectos homogéneos de la causalidad lineal imposibilitan una explicación causal de la emergencia. Una distinción similar deberá también hacerse en el caso de las estructuras independientes de los mecanismos, para así responder a la idea de que la explicación es la deducción de una ley general y que, por consiguiente, la emergencia implica la ausencia de dicha ley. El espacio de estado de las ecuaciones diferenciales lineales está estructurado por una única singularidad puntual, mientras que las ecuaciones no lineales pueden tener muchas singularidades de tipos diferentes. Dado que la tendencia a dirigirse a una singularidad es totalmente determinista, nos bastaría con conocer la estructura de un espacio de estado lineal para deducir cuál sería el estado final de un proceso. No obstante, si tenemos en cuenta que las singularidades son múltiples y que cada una de ellas tiene su propia esfera de influencia

o *cuenca de atracción*, este conocimiento no será suficiente. Existen varias tendencias posibles y varios resultados posibles, de manera que la posibilidad actualizada es, en gran medida, producto de la historia del proceso. Dicho de otro modo, el estado actual no puede deducirse únicamente de la ecuación porque depende del camino histórico que el proceso ha seguido.

Al igual que las capacidades para afectar y ser afectado, las tendencias también pueden ser reales incluso si no son actuales; aunque podría darse el caso de que algún tipo de restricción que actuase sobre un proceso pudiera evitar que una tendencia se manifestase, esto no haría que la tendencia fuese menos real, ya que esta se actualizaría en el mismo momento en que se eliminara la restricción. El hecho de que tanto las tendencias como las capacidades puedan ser únicamente potenciales, por otra parte, los hace ser similares en estatus a los conceptos modales, como los de *posibilidad* o *necesidad*, lo que causa enormes dificultades a los filósofos realistas. Además, y tal y como muestra la primera frase de la cita de Leonard Euler arriba mencionada, los realistas deben enfrentarse a los sentimientos místicos que produce el concepto de singularidad, siendo este un sentimiento que no difiere en exceso de ese otro creado por el concepto de emergencia. Maupertuis, contemporáneo de Euler, llegó incluso a pensar que las singularidades proporcionaban una prueba matemática de la existencia de un dios racional, lo que nos muestra que debemos tomar las precauciones necesarias para evitar convertir las singularidades en algo trascendente y, por consiguiente, limitarnos estrictamente a mantener su estado ontológico inmanente. Así pues, mientras que son los científicos y los matemáticos los que realizan la mayor parte del trabajo en torno a los mecanismos causales y a las singularidades independientes de los mecanismos, son los filósofos los que deberán ser responsables de elucidar el estado modal de las capacidades y las tendencias, así como de que se respete la inmanencia.

En el caso de las tendencias, es posible pensar las cuestiones modales basándose en el estudio de las tendencias físicas realizadas en laboratorios o bien basándose en el estudio de las tendencias de las soluciones a ecuaciones realizadas por los matemáticos. El espacio de estado, por ejemplo, está poblado por diferentes entes con estados modales diferentes. El espacio mismo está compuesto por puntos, y cada uno de ellos representa un posible estado en el proceso que se está modelando. En cualquier momento de la historia del proceso, el estado actual de dicho momento será uno de estos posibles puntos y, a medida que el proceso cambie de estado, el punto dibujará una curva o una trayectoria en el espacio de estado. Estas trayectorias representan una serie actual de estados del proceso, es decir, un trozo de la historia actual del proceso. Por último, y además de los posibles puntos y trayectorias actuales, también están las mismas singularidades. Albert Lautman, seguidor de Poincaré, fue el primero en enfatizar los diferentes estados ontológicos que existen entre las singularidades—cuya realidad matemática depende

únicamente de los campos de vectores o direcciones que define la ecuación diferencial— y las trayectorias que se generan a partir del uso que se hace de la integración con el fin de encontrar soluciones específicas. En palabras del mismo Lautman:

«La interpretación geométrica de la teoría de las ecuaciones diferenciales evidencia claramente dos realidades absolutamente distintas: existe el campo de direcciones y los accidentes topológicos que de repente pueden surgir en dicho campo, como por ejemplo la existencia de [...] puntos singulares a los cuales no se les adjunta dirección alguna; y existen las curvas integrales con la forma que asumen en el entorno de las singularidades del campo de direcciones. [...] La existencia y distribución de singularidades son nociones relativas al campo de vectores definidos mediante la ecuación diferencial. La forma de las curvas integrales es relativa a la solución de esta ecuación. Los dos problemas son, con toda seguridad, complementarios, ya que la naturaleza de las singularidades del campo se define por la forma de las curvas en su entorno. Asimismo, no es menos cierto que el campo de vectores por un lado y las curvas integrales por el otro sean dos realidades matemáticas esencialmente distintas.» (Lautman)

Esta distinción equivale a decir que el estado ontológico de las singularidades no puede ser el mismo que el de las trayectorias. Es decir, que las singularidades no pueden ser actuales. ¿Significa esto que a las singularidades únicamente debería concedérseles el estado modal de las posibilidades, como es el caso con todos los otros puntos que constituyen el espacio de estado? No, porque cuando observamos el comportamiento de las trayectorias cuando estas se dirigen a una singularidad, nos damos cuenta de que se van acercando cada vez más a ella pero no llegan nunca a alcanzarla. En términos de Poincaré, las trayectorias se dirigen a la singularidad de manera asintótica. Esto significa que, a diferencia de todos los otros puntos no singulares, la singularidad nunca se convierte en actual. Influenciado por Lautman, así como por los trabajos de otro de los primeros emergentistas como Henri Bergson, Gilles Deleuze introdujo una nueva categoría modal con la finalidad de definir el peculiar estado ontológico de las singularidades, a saber, la categoría de lo virtual. En sus propias palabras:

«Lo virtual no se contrapone a lo real sino a lo actual. Lo virtual es plenamente real en tanto que es virtual [...]. Lo virtual debe definirse estrictamente como parte del objeto real—como si el objeto tuviera una de sus partes en la dimensión virtual en la que ha quedado sumido, como si se tratara de una dimensión objetiva [...]. La realidad de lo virtual está constituida por las relaciones y los elementos diferenciales, así como por los puntos singulares que les corresponden. La realidad de lo virtual es estructura. Debemos evitar otorgar a los elementos y relaciones que forman esa estructura una actualidad que no tienen y extraer de ellos una realidad que sí tienen.» (Deleuze, 1994, págs. 208-209)

Esta idea nos proporciona una primera descripción de la estructura de los espacios de posibilidad implicados en las tendencias. Esto, sin embargo, todavía no explica la estructura singular de los espacios asociados con las capacidades, una estructura de la que apenas tenemos conocimiento alguno. A diferencia de las tendencias, que suelen estar limitadas en número incluso en el caso de no-linealidad, las capacidades son potencialmente infinitas en número, pues no sólo dependen de la potencialidad que un ente pueda tener para afectar, sino que también dependen de la potencialidad de otra cantidad innumerable de entes para ser afectados. Para volver a uno de los ejemplos anteriores, un cuchillo tiene la propiedad actual de estar afilado y la capacidad virtual de cortar. Si, en vez de un objeto fabricado, nos imaginamos una piedra obsidiana afilada cuya existencia se remonta a antes del inicio de la vida, podríamos adscribirle la misma capacidad de corte, siendo esta una capacidad ocasionalmente ejercida sobre rocas de menos dureza que pudieran haber caído sobre ella. Pero una vez aparecieron en este planeta seres vivos de tamaño suficiente como para ser cortados por la piedra, esta, de repente, adquirió la capacidad de matar. Esto significa que, sin cambiar ninguna de sus propiedades, el espacio de posibilidad asociado con las capacidades de la piedra se incrementa. Este incremento repentino de un espacio de posibilidades es incluso más sorprendente cuando tomamos en consideración las interacciones no entre una piedra y un ser vivo sino entre diferentes especies de seres vivos, o de seres vivos como nosotros y un número incluso mayor de objetos tecnológicos. Una manera de plantearnos un estudio sobre la estructura de estos espacios de posibilidad más complejos es ir más allá de los modelos matemáticos y centrarse en simulaciones informáticas. Incluso cuando estas últimas usan ecuaciones, suelen desplegar una población entera de ecuaciones y, más importante todavía, escenificar interacciones entre las correspondientes soluciones. En otros casos, las ecuaciones se reemplazan con reglas formales más flexibles, aunque siempre en poblaciones y siempre con la mirada puesta en lo que emerge de dichas interacciones. Quizás algún día el uso imaginativo de estas tecnologías de realidad virtual pueda ayudarnos a trazar la estructura de la auténtica virtualidad asociada con las capacidades (DeLanda, 2009).

Concluamos este artículo con algunas observaciones acerca de las implicaciones epistemológicas de las propiedades emergentes y las singularidades. Cuando una propiedad particular emerge a partir de las interacciones entre los componentes de un todo, y cuando la propiedad está dotada de una estabilidad asintótica, esta propiedad se convierte en lo suficientemente duradera como para poderse utilizar como factor en una explicación. Dicho de otro modo, una propiedad estable es típicamente indiferente a los cambios que se dan en los detalles de las interacciones en las que se origina dicha propiedad, siendo esta capaz de cambiar dentro de unos límites y sin afectar a la misma propiedad emergente. La indiferencia ontológica, a su vez, se traduce en irrelevancia epistemológica: cuando damos una

explicación del resultado obtenido a partir de las interacciones entre todos diferentes, no necesitamos proporcionar ningún dato acerca de sus partes componentes. O lo que es lo mismo, la inclusión de datos sobre sus componentes se convierte en una redundancia causal, ya que las propiedades emergentes de dos todos que interactúan entre sí sería la misma independientemente de dichos datos (Garfinkel, 1981, págs. 58-62). Así pues, cuando se explica la emergencia de un ente meteorológico complejo como una tormenta, tenemos que describir los todos emergentes que interactúan y a raíz de los cuales se origina dicho ente –todos tales como flujos periódicos de aire, gradientes de temperatura o presión– pero sin proporcionar dato alguno sobre las poblaciones moleculares, que son las partes componentes de los flujos de aire o de los gradientes de intensidad. Un gran número de combinaciones de colisiones diferentes entre esas moléculas conducirían al mismo gradiente de temperatura o a la misma corriente de aire, por lo que cualquier descripción de dichas colisiones sería totalmente redundante en la explicación del mecanismo de emergencia de una tormenta.

Dado que muchos entes materiales presentan varios niveles de la relación parte-todo –los átomos componen moléculas que, a su vez, componen macromoléculas como las proteínas, o las células componen tejidos que, a su vez, componen órganos y organismos–, la relativa indiferencia de los todos estables a los cambios, por lo que respecta a los detalles de sus propias partes interactuantes, explica por qué funcionan los modelos parciales de la realidad. Esto puede ilustrarse con modelos procedentes de dos campos de la física que operan a escalas diferentes. En el siglo XIX, el campo de la termodinámica fue capaz de crear exitosos modelos de todos, por ejemplo motores de vapor, usando entidades tales como los gradientes de temperatura y presión como factores causales. En estos modelos puede darse por sentado tanto la tendencia emergente de un gradiente a autoeliminarse, como su capacidad de accionar un proceso al autoeliminarse. La suposición fue que, en algún otro momento, algún otro campo explicaría estas tendencias emergentes y capacidades. Eso fue precisamente lo que sucedió: hacia finales del mismo siglo nació el campo de la mecánica estadística, desde el cual se explicó por qué los gradientes se comportan de la manera que lo hacen en términos de interacciones entre los miembros de las poblaciones moleculares. Esto muestra la interacción entre la ontología y la epistemología. Por un lado, las propiedades emergentes proporcionan un medio a la realidad para que esta pueda entrar en un devenir de final abierto, con la generación de nuevos todos a medida que se da una proliferación de tendencias y capacidades. Por otro lado, esta divergencia objetiva explica la divergencia de los campos científicos, es decir, explica el hecho de que, en vez de converger en un único campo al que todos los demás han quedado reducidos, el número de nuevos campos está en constante crecimiento.

Las singularidades también muestran esta interacción. Su existencia tiene la consecuencia ontológica de que muchos mecanis-

mos diferentes, como los mecanismos estudiados por la mecánica clásica, puedan compartir una única explicación de su estabilidad asintótica. Pero también tiene la consecuencia epistemológica de explicar por qué las soluciones a ecuaciones matemáticas pueden mostrar un comportamiento que es isomórfico en relación al de esos mecanismos. Los positivistas, por supuesto, pueden argüir que las singularidades son simplemente constructos teóricos que pueden ser útiles a la hora de dar a la física clásica una forma unificada, aunque esto equivaldría a adoptar una actitud de piedad natural hacia el poder explicativo de los modelos matemáticos. Si, en contraposición a esto, pensamos en la estructura de un espacio de posibilidad como si fuera un ente virtual que es tan real como un ente actual, entonces el isomorfismo comportamental entre modelos y los procesos que estos modelan pueden explicarse como el producto de una coactualización de esa estructura. Dicho de otro modo, la independencia de los mecanismos que define a las singularidades significa no sólo que estas singularidades pueden actualizarse de forma divergente en un gran número de mecanismos materiales diferentes sino que también pueden hacerlo en los mecanismos formales que caracterizan a las ecuaciones diferenciales. Cuando

la capacidad explicativa de los modelos matemáticos se explica de esta manera, pasamos a tener que afirmar la existencia autónoma no de leyes inmutables y eternas sino de una virtualidad real inmanente que cambia y crece según van surgiendo nuevas tendencias y capacidades (DeLanda, 2002).

La idea de un mundo material que emerge a partir de estas consideraciones no es la de un mundo compuesto por una materia que actúa como un receptáculo inerte para aquellas formas que provienen del exterior, eso es, una materia tan limitada por lo que respecta a sus poderes causales que deberíamos ver la pluralidad de formas que sostiene como si se tratara de un milagro inexplicable. Tampoco se trataría de una materia obediente que responde a leyes generales y que debe todos sus poderes a esas leyes. Se trata más bien de una materia activa dotada de sus propias tendencias y capacidades, involucrada en su propia evolución, divergente y de final abierto, y cuya animación proviene del interior de los patrones inmanentes del ser y el devenir. Este otro mundo material puede ciertamente inspirarnos respeto, aunque no nos exige que lo aceptemos con piadosa resignación. Este es el tipo de realidad por el que bien merece la pena ser un realista.

Bibliografía

- ALEXANDER, Samuel (1920). *Space, Time, and Deity*. Vol. 2. Londres: MacMillan.
- BARROW-GREEN, June (1997). *Poincaré and the Three Body Problem*. Providence: American Mathematical Society.
- BHASKAR, Roy (1997). *A Realist Theory of Science*. Londres: Verso.
- BUNGE, Mario (1979). *Causality and Modern Science*. Nueva York: Dover.
- DELANDA, Manuel (2002). *Intensive Science and Virtual Philosophy*. Londres: Continuum Press. Cap. 4.
- DELANDA, Manuel (2009). *Philosophy, Emergence, and Simulation*.
- DELEUZE, Gilles (1994). *Difference and Repetition*. Nueva York: Columbia University Press.
- DELEUZE, Gilles; PARNET, Claire (2002). *Dialogues II*. Nueva York: Columbia University Press.
- EULER, Leonard. Citado en Stephen P. TIMOSHENKO (1983). *History of Strength of Materials*. Nueva York: Dover. Pág. 31.
- FEYNMAN, Richard (1997). *The Character of Physical Law*. Cambridge: MIT Press.
- GARFINKEL, Alan (1981). *Forms of Explanation*. New Haven: Yale University Press.
- GORDON, James E. (1988). *The Science of Structures and Materials*. Nueva York: Scientific American Books.
- HEGEL, Georg. W. F. (1999). *The Science of Logic*. Amherst, Nueva York: Humanity Books.
- LAUTMAN, Albert. Citado en Gilles DELEUZE (1990). *Logic of Sense*. Nueva York: Columbia University Press. Pág. 345.
- LEMONS, Don. S. (1997). *Perfect Form. Variational Principles, Methods and Applications in Elementary Physics*. Princeton: Princeton University Press.
- LEWES, George Henry (1875). *Problems of Life and Mind*. Vol. 2. Londres: Trübner & Co.
- MILL, John Stuart (1906). *A System of Logic. Ratiocinative and Inductive*. Londres: Longmans, Green, and Co.

- MORGAN, C. Lloyd (1931). *Emergent Evolution*. Nueva York: Henry Holt.
- SALMON, Wesley C. (1984). *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*. Princeton: Princeton University Press.
- STEWART, Ian (1989). *Does God Play Dice: The Mathematics of Chaos*. Oxford: Basil Blackwell.

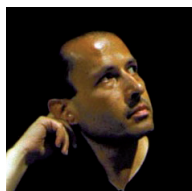
Cita recomendada

DELANDA, Manuel (2009). «Emergencia, causalidad y realismo». En: «Arte, cultura y ciencias de la complejidad» [nodo en línea]. *Artnodes*. N.º 9. UOC. [Fecha de consulta: dd/mm/aa].
 <http://artnodes.uoc.edu/ojs/index.php/artnodes/article/view/n9_delanda/n9_delanda>
 ISSN 1695-5951



Esta obra se publica –si no se indica lo contrario– bajo una licencia Reconocimiento 3.0 España de Creative Commons. Puede copiarlos, distribuirlos, comunicarlos públicamente, hacer obras derivadas y usos comerciales siempre que reconozca los créditos de las obras (autoría, nombre de la revista e institución editora) de la manera especificada por los autores o por la revista. La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/es/deed.es>.

CV



Manuel DeLanda

Departamento de Arquitectura de la Universidad de Pensilvania

Es autor de cinco libros de filosofía, *War in the Age of Intelligent Machines* (1991), *A Thousand Years of Nonlinear History* (1997), *Intensive Science and Virtual Philosophy* (2002), *A New Philosophy of Society* (2006) y *Philosophy, Emergence, and Simulation* (2009). **Conduce dos seminarios** en el Departamento de Arquitectura de la Universidad de Pensilvania (Filosofía de la historia: teorías de autoorganización y dinámica urbana y Filosofía de la ciencia: reflexiones sobre estructuras y materiales). También es profesor en el Pratt Institute en Brooklyn y en el SciArc en Los Angeles, y ocupa la cátedra Gilles Deleuze en el European Graduate Center en Suiza.



Universitat Oberta
de Catalunya

www.uoc.edu