

Nodo «Arte, cultura y ciencias de la complejidad»

N.º 9 Diciembre de 2009

Sumario

Arte, cultura y ciencias de la complejidad Pau Alsina y Josep Perelló (coords.)	1
Emergencia, causalidad y realismo Manuel DeLanda	4
Paisajes críticos. Robert Smithson: arte, ciencia e industria Nelson Brissac	15
Life Species y Life Species II: modelar sistemas complejos para arte interactivo Christa Sommerer y Laurent Mignonneau	30
POEtic-cubes: atención y emergencia. Hardware bioinspirado para instalaciones artísticas Raquel Paricio y Juan Manuel Moreno	43
Metodologías artísticas en la ecología de los medios Matthew Fuller	51

PRESENTACIÓN

Arte, cultura y ciencias de la complejidad

Pau Alsina

Profesor de los Estudios de Artes y Humanidades de la UOC

Josep Perelló

Profesor agregado del Departamento de Física Fundamental de la Universidad de Barcelona

Fecha de presentación: octubre de 2009

Fecha de aceptación: octubre de 2009

Fecha de publicación: diciembre de 2009

Nunca antes habíamos tenido a nuestro alcance tanta información. Pero el reto reside no sólo en poder disponer de toda esta cantidad ingente de información, sino en saber qué hacer con ella: en cómo transformar la información en conocimiento. Las tecnologías de la información y la comunicación nos permiten recoger, almacenar, monitorizar, cuantificar, procesar y visibilizar gran cantidad de datos de todo tipo, y en prácticamente todos los lugares y momentos. ¿Cómo aprovechar todo este potencial para no caer en la saturación de información dispersa sino, al contrario, más bien para generar conocimiento esclarecedor y productivo? La denominada teoría de los sistemas complejos busca dar explicación a toda esta fenomenología partiendo de las ciencias más rigurosas y a través de modelos que asumen propiedades no lineales, de autoorganización, retroalimentación, heterogeneidad e incertidumbre.

Convivir con este potencial tratamiento de singularidades que construyen totalidades complejas representa todo un reto que las denominadas *ciencias de la complejidad* asumen en su devenir. Estos sistemas complejos describen una realidad compuesta por unos elementos básicos interconectados que como totalidad muestran propiedades que no son extraídas de las propiedades de las partes individuales. Descifrar estas propiedades a gran escala y las pautas

adecuadas de comportamiento de los elementos básicos se ha convertido en una tarea que abarca tanto las ciencias matemáticas como las ciencias naturales o sociales, y que ha contribuido a generar un conjunto de disciplinas transversales que van desde la cibernética a las teorías de la complejidad.

Pero si, por ejemplo, intentamos descifrar el concepto de *emergencia*, directamente vinculado al epicentro de la teoría de los sistemas complejos, vemos como este tiene una larga historia en la que ha ido adquiriendo diferentes significados en los diversos ámbitos del conocimiento donde se ha ido haciendo presente. Si hoy diferentes teóricos hablan de la complejidad como paradigma del nuevo milenio, la emergencia parece a su vez convertirse en la explicación sobre cómo la complejidad ha evolucionado. De la complejidad se dice a su vez que es un fenómeno emergente, y de la emergencia que es lo que los sistemas autoorganizados producen, la razón explicativa de fenómenos tales como los huracanes, la vida misma, los ecosistemas y los organismos complejos como los humanos, por poner algunos ejemplos.

En este sentido la teoría de la complejidad modela los sistemas materiales usando las técnicas propias de las dinámicas no lineales, a través de mostrar las características topológicas de la diversidad

(la distribución de las singularidades, los elementos básicos citados anteriormente) afectando a la serie de trayectorias en el espacio fásico, revelando los patrones (mostrados por los atractores en los modelos), los umbrales y la intensidad necesaria de los disparadores (eventos o parámetros que mueven sistemas hacia umbrales que actúan patrones) de estos sistemas. De esta manera, a través de mostrar la aparición espontánea de indicadores de patrones y umbrales en los modelos de comportamiento de los sistemas complejos, la teoría de la complejidad nos permite pensar los sistemas materiales en términos de su potencia para la autoorganización inmanente.

Estas propiedades emergentes están siendo exploradas también en el ámbito de la praxis artística vinculada a las tecnociencias, en donde esta exploración aspira de alguna manera a la materialización del ideal utópico de la fusión entre arte y vida, y conecta con el problema de la creación en sí misma. El objetivo del presente monográfico es, pues, mostrar estas diferentes aproximaciones artísticas, filosóficas o sociales a la significación de la complejidad y la emergencia en nuestra cultura. Una aproximación humanista a lo que algunos han venido a señalar como cambio de paradigma pero que, de alguna manera, podría inscribirse igualmente en diálogo con la larga tradición de problemáticas en relación con la parte y el todo, lo singular y lo complejo, la materia y la forma, o las ancestrales preguntas sobre la trascendencia y la inmanencia.

El monográfico «Arte, cultura y ciencias de la complejidad» reúne un conjunto de artículos escritos por artistas, teóricos, científicos o ingenieros preocupados por responder a sus preguntas tentativas y por descifrar los misterios, enigmas o rompecabezas inscritos en las ciencias de la complejidad, omnipresentes hoy en día en un sinfín de aplicaciones que rodean nuestra cotidianidad. Iniciamos este itinerario por el mundo de los fenómenos complejos con el artículo del filósofo Manuel Delanda, «Emergencia, causalidad y realismo», donde nos muestra de qué manera la emergencia puede ser considerada como una forma muy eficaz de combatir el reduccionismo, así como su oposición a la idea de que la emergencia no pueda ser explicada sino que, al contrario, debe y puede ser explicada a partir de las interacciones causales entre las partes elementales. Este debe ser el mecanismo explicatorio de sus propiedades emergentes y a gran escala.

A continuación Nelson Brissac en «Paisajes críticos. Robert Smithson: arte, ciencia e industria» nos muestra la relación de la obra de Smithson con los principios de termodinámica, que llevarían durante la mitad del siglo xx a la teoría de los sistemas fuera de equilibrio, al descubrimiento de los fractales como patrón de los objetos naturales o la teoría de los estados críticos autoorganizados, presentes en la teoría de los sistemas complejos. Smithson, tal y como comenta Brissac, interesado por los procesos geológicos e industriales que afectan al paisaje, sintonizó con las grandes cuestiones de su tiempo desarrollando proyectos que llevarían al límite los principios de la dinámica de la materia, de agregación de materiales heterogéneos o de la topología de las estructuras en crecimiento y fuera de equilibrio.

Y si bien Brissac nos muestra cómo Smithson se avanzó e innovó con la, por aquel entonces, incipiente teoría de los sistemas complejos creando sus paisajes críticos, otros creadores actuales como Christa Sommerer y Laurent Mignonneau nos muestran en su artículo «Life Species y Life Species II: modelar sistemas complejos para arte interactivo» la manera en que, con la entrada en escena de las tecnologías digitales, se hace posible explorar muchas de estas ideas y teorías en formación creando aplicaciones experimentales con intención artística. Sommerer y Mignonneau buscan aplicar los principios de la teoría de los sistemas complejos a la creación de piezas artísticas interactivas generadas por ordenador y participadas por la audiencia, que deviene entonces agente básico e interactor. De esta manera procuran testear a su vez si de forma artificial es posible hacer emerger la complejidad en un sistema generado por una computadora.

Ciertamente en relación a la vida podemos decir que la emergencia en sí misma ha sido la causa subyacente de la evolución de los fenómenos emergentes en la evolución biológica, puesto que son las sinergias producidas por los sistemas completamente abiertos lo que permite articular después la misma emergencia o la autoorganización. Pero quizás deberíamos señalar que en relación a la emergencia en el contexto de la vida artificial se parte de un sustrato tecnológico prediseñado, lo que le confiere un estatus diferenciado como «emergencia computacional». En este sentido, podríamos decir que no se trata de una auténtica emergencia, ya que está restringida a su propio modelo computacional tecnológico. Aún así, la vida artificial se escapa del diseño de modelos computacionales humanos y acaba convirtiéndose en algo hasta cierto punto incontrolable, con unas estructuras que no se dejan atrapar en el conocimiento estable, relaciones formales o causalidades de un modo comparable a la evolución biológica. La tecnología sería así una herramienta para crear modelos teóricos abstractos de fenómenos emergentes fuera del propio sistema puramente biológico.

En el artículo «POEtic-cubes: atención y emergencia. Hardware bioinspirado para instalaciones artísticas» Raquel Paricio y Juan Manuel Moreno Arostegui exploran el potencial artístico del hardware bioinspirado, que mimetiza algunas de las principales características de los seres vivos: la filogénesis, la ontogénesis, la epigénesis y la emergencia. Los autores relatan las premisas iniciales de trabajo dirigidas a la creación de entornos que ayuden a una percepción presente de la que podría derivar una conciencia ampliada; y cómo estas premisas iniciales, y el uso de modelos basados en comportamientos bioinspirados, abrieron además la puerta a la observación de estos fenómenos en el comportamiento social, especialmente el concepto de *emergencia*.

En este punto cabría pensar incluso de qué manera las dinámicas culturales del arte en sí podrían ser consideradas un sustrato mucho más factible para la emergencia que los mismos intentos de reproducir artificialmente los procesos emergentes, haciendo posible

que los objetos artísticos en sí sean los que puedan devenir abiertos, emergentes e impredecibles. Irónicamente, podríamos aventurarnos a decir de forma crítica, la emergencia en las prácticas artísticas con vida artificial no está tanto en las mismas simulaciones, sino en la forma en que estas prácticas artísticas cambian lo que nosotros pensamos y sentimos sobre el mundo. De esta manera Matthew Fuller nos invita en su artículo «Metodologías artísticas en la ecología de los medios» a reflexionar sobre la función del arte, sobre las metodologías del arte, en un contexto en el que el arte ya no es sólo arte.

Invitamos al lector, pues, a entrar en diálogo con las diferentes perspectivas que abordamos en el presente monográfico, con las diversas reflexiones y prácticas que se exponen en los artículos de

los autores, a quienes agradecemos sinceramente su inestimable aportación. Agradecemos igualmente el excelente trabajo del equipo de edición técnica de la revista, con las siempre difíciles traducciones y el consiguiente e inevitable vocabulario especializado. Y finalmente, sólo queda mencionar la relación existente entre este monográfico y el proceso de investigación realizado a finales de 2009 a raíz de la primera exposición producida desde el espacio Laboratorio de Artes Santa Mónica, «Culturas del Cambio: átomos sociales y vidas electrónicas», comisariada, con la asistencia de Irma Vila, por los autores del presente escrito.

Pau Alsina y Josep Perelló (coords.)



Esta obra está sujeta a la licencia de **Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 3.0 España** de Creative Commons. Puede copiarla, distribuirla y comunicarla públicamente siempre que cite su autor y la revista que la publica (*Artnodes*); no la utilice para fines comerciales y no haga con ella obras derivadas. La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.es>.

<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 dos 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 está sujeta a la licencia de **Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 3.0 España** de Creative Commons. Puede copiarla, distribuirla y comunicarla públicamente siempre que cite su autor y la revista que la publica (*Artnodes*); no la utilice para fines comerciales y no haga con ella obras derivadas. La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/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.

<http://artnodes.uoc.edu>
ARTÍCULO
NODO «ARTE, CULTURA Y CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD»

Paisajes críticos. Robert Smithson: arte, ciencia e industria

Nelson Brissac

Fecha de presentación: octubre de 2009

Fecha de aceptación: octubre de 2009

Fecha de publicación: diciembre de 2009

Resumen

La obra de Robert Smithson se caracteriza por el interés en los procesos geológicos e industriales que afectan al paisaje. Se trata del artista cuyo trabajo está más relacionado, conceptual y operativamente, con la minería. Smithson concibe el mundo basándose en los principios de la termodinámica, la formación de los minerales y la geología: las leyes de la física establecidas a mediados del siglo XIX en que se fundamenta la industria de la minería y el hierro. Pero su obra coincide con el inicio de una de las revoluciones científicas más profundas del siglo XX: la renovación de la termodinámica, que conduciría a la teoría de los sistemas en desequilibrio, al descubrimiento de los fractales como modelo de los objetos naturales y a la teoría de los estados críticos autoorganizados.

Este artículo presenta dos vertientes paralelas y entrelazadas: la obra de Smithson, relacionada con la geofísica y la industria de la minería, y el desarrollo a partir de los años sesenta de la investigación científica de los sistemas dinámicos y los procesos de autoorganización de la materia: la teoría de la complejidad. En sintonía con las grandes cuestiones de su tiempo, Smithson desarrolló proyectos que llevarían al límite los principios de la dinámica de la materia, de la agregación de materiales heterogéneos y de la topología de las formaciones geológicas en desequilibrio. Analizar su obra a través de la teoría de la complejidad permite comprender el radicalismo anticipatorio e innovador de los proyectos de Smithson, el audaz intento de construir, mediante el arte, un paisaje crítico.

En este artículo se resumen diversas partes de un libro que, con el mismo título, será publicado en Brasil a principios de 2010.

Palabras clave

arte, ciencia, sistemas dinámicos, criticalidad, geología, minería

Abstract

Robert Smithson's work is characterised by his interest in geological and industrial processes affecting the landscape. He is the artist whose work is most closely related, conceptually and operatively, to mining. Smithson conceives the world based on the principles of thermodynamics, the formation of minerals and geology: the laws of physics established in the mid-19th century on which the mining and iron industries are based. But his work coincides with the beginning of one of the most far-reaching scientific revolutions of the 20th century: the renewal of thermodynamics, which would lead to the theory of unbalanced systems, the discovery of fractals as a model for natural objects and the theory of self-organised critical states.

This article presents two parallel and interlinked aspects: Smithson's work related to geophysics and the mining industry, and the development since the '60s of scientific research into the dynamic systems and the self-organisation processes of matter: complexity theory. In tune with the great questions of his time, Smithson developed projects taking the principles of the dynamics of matter, the aggregation of heterogeneous materials and the topology of unbalanced geological formations to the limit. Analysing his work using complexity theory makes it possible to understand the way in which Smithson's projects were radically innovative and ahead of their time: a bold attempt to construct a critical landscape through art.

This article summarises various parts of a book with the same title which will be published in Brazil at the beginning of 2010.

Keywords

art, science, dynamic systems, criticality, geology, mining

Las relaciones entre el arte y la ciencia han incorporado variables nuevas y estimulantes en los últimos años. Aunque, a partir de la modernidad, el arte siempre ha interactuado con el conocimiento científico, algunos acontecimientos recientes han añadido otras dimensiones a este panorama. En los años setenta se inició una auténtica revolución científica con el desarrollo de las teorías de los sistemas dinámicos y complejos. Dicha revolución, iniciada en la física –en la termodinámica–, cambió radicalmente nuestra forma de entender la materia, ahora reconocida como capaz de autoorganizarse, de generar sus propias formas y configuraciones. Se descubrió que los sistemas materiales se crean y evolucionan en los estados alejados del equilibrio.

El hecho de que los procesos en desequilibrio, antes relegados a la categoría de desviaciones despreciables, pasaran a formar parte de las prioridades científicas tendría un profundo impacto cultural, también en la producción artística. Comenzaron a estudiarse intensamente fenómenos físicos críticos, como la turbulencia, las avalanchas y los terremotos, lo cual originó distintos modelos para explicar el comportamiento inestable de estos sistemas. El recurso a métodos matemáticos y geométricos innovadores, además de la utilización de la entonces incipiente tecnología de la información, permitió reconstruir la estructura invisible de los fenómenos turbulentos. Los atractores extraños son el principio organizador de los sistemas en desequilibrio crítico, al borde del caos. El atractor de Lorenz no es solo

una de las imágenes más potentes jamás producidas por la ciencia: después del descubrimiento de la complejidad, de la introducción de la topología y de la geometría variable, la creación artística contaría con nuevos fundamentos.

¿De qué manera han influido estos procesos en el arte contemporáneo? ¿Cómo asimiló la práctica artística los nuevos principios científicos y los fenómenos materiales analizados por ellos? Y viceversa: ¿cómo se armonizaron las cuestiones y los procedimientos desarrollados por el arte con los nuevos enfoques aplicados en el ámbito científico?

En los últimos tiempos se han abierto nuevos frentes de creación artística vinculados a la investigación científica, como el bioarte, la realidad virtual, la inteligencia artificial (proyectos de robótica) y el arte generativo (a partir de sistemas autorregulables y autómatas celulares). Pero es en la física donde el reciente desarrollo de nuevas perspectivas teóricas y experimentales guarda una relación directa con las prácticas artísticas que queremos destacar aquí.

Históricamente, la reflexión sobre la relación entre arte y ciencia ha tenido referentes paradigmáticos. Entre ellos se encuentra la obra de Robert Smithson. La teoría de la complejidad y, en particular, la noción de autoorganización de la materia, la cual engendra intrínsecamente nuevas configuraciones, fue formulada precisamente mientras Smithson realizaba sus obras más importantes, las *earthworks* (como *Spiral Jetty*), pero sobre todo sus proyectos de recuperación de zonas mineras.

Aún están por evaluar las posibles correlaciones entre el trabajo de Smithson y los sistemas dinámicos, más allá de las evidentes asociaciones iconográficas, como las evocadas por las formas en espiral de los atractores extraños. **Resulta evidente la sintonía entre** las cuestiones que se planteaba el artista (la formación de los cristales y los estratos geológicos, la erosión aluvial y las formaciones sedimentarias o la función transformadora de catástrofes naturales como las erupciones volcánicas y los terremotos) y aquellas relacionadas con los mecanismos de la turbulencia que, a mediados de los años setenta, se convertirían en el principal objeto de estudio de la física y que se conocerían como la teoría del caos y de la complejidad.

Smithson partió de la noción tradicional de entropía, entendida como pérdida de energía, para evolucionar hacia la exploración a gran escala de procesos geomorfológicos (erosión, glaciares, movimientos tectónicos) en el mismo momento en que Prigogine iniciaba una reformulación general de la termodinámica, apuntando al papel creativo de la entropía en los sistemas disipativos. **El cambio de perspectiva** consistió en demostrar que lo que establecía el segundo principio de la termodinámica (la entropía de un sistema tiende a aumentar con el tiempo, aproximándose a un valor máximo) solo era válido para sistemas cerrados, en los que la cantidad total de energía siempre se conserva. **Al observarse situaciones en las que flujos intensos** de energía y materia recorren un sistema, cuando este se lleva a estar *distante del equilibrio*, surgen nuevas formas complejas de estabilidad, resultado precisamente del comportamiento dinámico e inestable del sistema.

Para la termodinámica del siglo XIX, llamada por Smithson la ciencia del *universo supuestamente estable de la materia*, la única evolución posible era hacia el equilibrio, la desorganización progresiva, la permanencia en la inmovilidad. **Sin embargo, en los sistemas** donde se producen intercambios constantes de energía y materia con el medio el equilibrio no es posible, ya que ocurren procesos disipativos que producen entropía de forma continua (Prigogine, 1983, pág. 88). **Esto exige una nueva descripción de la naturaleza, del orden** en que esta se genera a partir de condiciones de no-equilibrio. **Nace** así un nuevo campo en la física: **el estudio de la estabilidad de los sistemas** alejados del equilibrio.

En sus primeros trabajos, Smithson ya incorporó el principio del crecimiento de los cristales, especialmente la *teoría de la dislocación de tornillo*, desarrollada a partir de las investigaciones científicas, así como el principio de la dinámica de formación de los estratos geológicos. **Más tarde, la cuestión de la contención, de cómo delimitar** lugares geológicos desordenados, sin límites, implicaría la integración de elementos heterogéneos, la articulación del interior con el exterior. Una problemática que sería prioritaria en la ciencia y la matemática de aquella época y que haría necesario elaborar una herramienta fundamental para el análisis de los sistemas dinámicos: **la teoría de los sistemas** dinámicos y la topología.

Por otra parte, la forma en que Smithson aborda los sistemas dinámicos fluviales, sobre todo los meandros, remite a los fractales. La geometría que describe los patrones irregulares de la naturaleza y la capacidad que tienen esas formaciones de ocupar el espacio, redefiniendo la concepción de límite. **Finalmente, uno de los avances** más importantes, anticipado por Smithson en sus proyectos para los lagos y montañas de residuos de la minería, serían los estudios de los sistemas físicos que encuentran su estado de equilibrio en puntos críticos de inestabilidad, desarrollados por la teoría de la criticalidad autoorganizada.

El punto de partida de Smithson son los procesos elementales de formación de la materia. **Los cristales son elementos de concentración** de materia que sufren transformaciones cualitativas y cuyo espacio interior no permanece indefinidamente igual. **La cristalización supone** una mutación estructural de la materia. **Los cristales sufren cambios** constantes debido a las rupturas y a los desarrollos estructurales, pero externamente los mantiene un sistema ordenador. **Esta cuestión, la** de la estructuración, la consistencia, los límites, sería una constante en la obra de Smithson.

La dislocación es un fenómeno que se produce en la superficie del cristal. **Es un proceso de límites. Es lo que llevó a formular la** teoría de la dislocación helicoidal (*screw dislocations*), que entonces comenzaba a difundirse. **Existen dos tipos básicos de dislocaciones**, en que las moléculas se adhieren a la superficie de un cristal de tal modo que se forman aristas (salientes) o hélices, lo que permite que el cristal continúe creciendo. **Todas las obras de Smithson que** incluyen la figura de la espiral, es decir, todos los proyectos basados en el principio de la deposición, hacen referencia a la dislocación de tornillo. **El artista utilizaría este proceso de formación de la espiral** en cristales, por ruptura del equilibrio estructural, como inspiración para crear las configuraciones en espiral de sus *earthworks*. **Por lo** tanto, el crecimiento de cristales por dislocación ya permite formular los principios topológicos que configurarían sus futuras estrategias constructivas.

Este proceso de dislocación, de creación de una curva, mediante el cual crece el cristal, es considerado por Michel Serres como el proceso mismo de constitución de la materia. **Una ligera inclinación**, un mínimo ángulo, provoca una turbulencia en el flujo laminar. **Desencadena** un movimiento de rotación del que surge la espiral (Serres, 1997, pág. 17). **Las cosas se forman por esa diferencia con respecto** al equilibrio. **Se pasa de la mecánica de sólidos a la hidráulica, a la** mecánica de fluidos, a otra concepción de los procesos de organización de la materia basada en estados distantes del equilibrio. **Toda la** geofísica de Smithson se fundamenta en ese principio de desviación, un desequilibrio que origina la figura de la espiral.

Su serie de obras iniciales con espejos apilados, como *Mirrored Ziggurat* (1966) y *Glass Stratum* (1967), es una referencia directa al crecimiento cristalino por deposición, así como al proceso de estratificación. *Gyrostasis* (1968), hecha en acero, ya se compone de

sólidos triangulares que avanzan en orden decreciente para formar una espiral. También hace referencia al orden cristalino, en que el tiempo queda detenido en una estructura regular de movimiento ascendente en espiral. *Giroestática* hace referencia a una rama de la física que estudia los cuerpos rotativos y su tendencia a mantenerse en equilibrio. Estas primeras formas helicoidales ya se asocian a una forma de extensión de los cristales, el crecimiento a partir de una ruptura, la dislocación de tornillo.



Smithson, *Gyrostasis* (1968)

Desde el punto de vista de Smithson, los procesos geológicos de estratificación son contrarrestados por sucesos que impiden el asentamiento ordenado y estable de la materia. Para él los estratos están desordenados, desestructurados, hechos de afloramientos asimétricos. En medio de este tumulto, los intentos por establecer distinciones se frustran. El geólogo, en sus prospecciones, solo encuentra caos en la materia.

La estrategia de Smithson para tratar las formaciones geológicas es decisiva en su obra. El punto de partida, dada la idea de que la corteza terrestre está compuesta por materia en estado no diferenciado y fragmentado, son los estratos convulsos. Se centra en las configuraciones que resultan de movimientos geológicos o de la explotación

industrial. Lugares, por lo general minas o canteras abandonadas, que evidencian grandes alteraciones topográficas. Formaciones que ya están profundamente afectadas por dinámicas geomorfológicas de muy largo plazo y por excavaciones más recientes. Movimientos, naturales o industriales, de alteración y desequilibrio. Inundaciones, corrimientos, volcanes, glaciaciones, canteras, minas. Espacios heterogéneos y discontinuos.

Smithson elige lugares configurados por masas geológicas en forma de acumulaciones provocadas por glaciares, flujos volcánicos o desbordamientos. Procesos geomorfológicos que tienen lugar durante largos períodos de tiempo: flujos e inundaciones de erosión aluvial (provocados por el agua) y coluvial (provocados por la gravedad). La referencia a tales procesos geomorfológicos inestables determina los principios y el *modus operandi* de sus proyectos. Hacia estudios de la mineralogía de los lugares, analizando su composición y recogiendo muestras. Los levantamientos realizados en estos lugares (*sites*) se presentan después en exposiciones hechas con materiales recogidos, dibujos, mapas, fotos, textos: el no-lugar (*nonsite*).

El recipiente es un dispositivo para mostrar procesos de contención de materiales no consolidados. Como un corte en un terreno sedimentario. Se trata de cajas moldeadas y compuestas por láminas horizontales que imitan los estratos superpuestos en este tipo de formación geológica. En ellas se elimina el material disperso sin suprimir el carácter fragmentado de la masa depositada. En el *nonsite*, el recipiente asegura, de un modo conceptual, estético, la estabilización del lugar, transformándose él mismo en un caos de materiales revueltos por operaciones industriales.

Los *nonsites* reflejan, a través de los procesos de selección, extracción y redistribución de fragmentos de materiales, el modo de prospección y producción mineras. Pero también reproducen la mecánica de contención —que la ciencia analiza a través de la estática de los planos inclinados, del mayor declive, de los meandros y turbulencias— existente en las formaciones sedimentarias, utilizada por las operaciones industriales antes mencionadas para disponer el material no consolidado. La estrategia de los *sites-nonsites* permitió a Smithson formular conceptualmente dos principios fundamentales para el desarrollo posterior de su trabajo: el de la contención, base de los proyectos con materiales no consolidados, y el de los procesos intrínsecos de organización de la materia, del relieve terrestre, que le permitiría trabajar con grandes escalas geológicas.

Ese dispositivo de estructuración de los estratos es lo que Deleuze denomina *agenciamiento maquínico*. El límite regula los intercambios entre el interior y el exterior, constituyendo una formación heterogénea. Una máquina es una articulación operativa de elementos heterogéneos. Es un dispositivo que adquiere consistencia gracias a su capacidad para integrar en un todo materiales diferenciados. Saca los elementos de sus contextos originales y los convierte en componentes de otros órdenes. Maquínico es la síntesis de heterogéneos como tal. He aquí el principio operativo de la estratificación,

entendida como un sistema distante del equilibrio, sin recurso a una forma preestablecida. **Se trata del conjunto de composición correspondiente a los agenciamientos más complejos de las formaciones geológicas.**

Se trata, por lo tanto, de llegar a la materia en movimiento, fuera de los estratos. **La desestratificación, un proceso de intensificación** que, según la teoría de los sistemas dinámicos, implica moverse alejándose del equilibrio. **A través de este proceso, la materia alcanza la condición de no formada, lo que genera potenciales de autoorganización para construir nuevas configuraciones. La mayor contribución de la teoría de los sistemas dinámicos fue demostrar que dichos fenómenos, que ocurren en condiciones distantes del equilibrio, lejos de ser excepcionales, como hacían pensar los planteamientos científicos tradicionales, son, por el contrario, el principio básico de los procesos físicos. La posibilidad de experimentación existe fuera de los estratos. Detectar procesos y potenciales que existen espontáneamente en la naturaleza y no son segmentados y estratificados. Los estratos se pueden romper, la materia puede fluir sin quedar retenida y consolidada en estratos. En el límite, la propia Tierra solo puede ser definida a partir de un cierto grado de desequilibrio.**

El artista, como el artesano, es quien acompaña el flujo de la materia, llevándola a estados críticos en los que emergen sus potenciales. **Este se contrapone a la estratificación, buscando estados de variación continua que renueven su capacidad de autoorganización.** Este entendimiento de la materia dará lugar a una modalidad particular de ciencia y de arte. **Seguir el flujo de la materia permite a artistas como Smithson aprovechar los potenciales de los materiales y elaborar procedimientos de estructuración completamente distintos de los estandarizados por la industria. Estos serían decisivos en todos sus proyectos posteriores –los movimientos de tierra (*earthworks*) y las propuestas para las zonas de minería–, centrados en la constitución de agregados de materiales heterogéneos en condiciones de no-equilibrio, en la reconfiguración dinámica de paisajes afectados por la explotación industrial.**

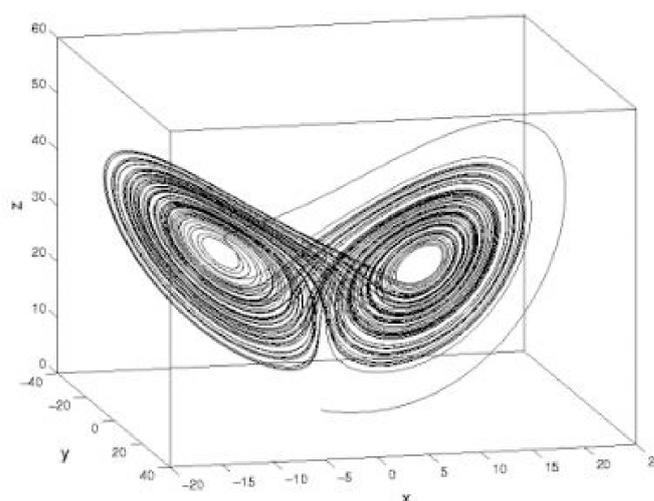
La primera referencia, por lo tanto, es la teoría de los sistemas dinámicos. **El movimiento de los cuerpos, el cálculo de trayectorias,** era abordado en la mecánica newtoniana mediante ecuaciones diferenciales, que indican cómo evoluciona un sistema de un instante a otro posterior, infinitamente próximo. **El espacio de fases consta de ejes de coordenadas en los que están representados todos los estados posibles de un sistema dinámico y cada uno corresponde a un único punto del espacio. Los diagramas de trayectorias representan el comportamiento del sistema. El estudio de las curvas, de las trayectorias, da lugar a un tratamiento cualitativo (topológico) de las soluciones.**

Con frecuencia, el sistema dinámico observado describe trayectorias que acaban rodeando una configuración bien definida del espacio de fases. **Así, por ejemplo, la curva puede describir una**

espiral hasta llegar a un ciclo cerrado y luego quedarse girando permanentemente alrededor de dicho ciclo. **Cuando esto ocurre, el sistema posee un atractor, una zona del espacio de fases hacia la cual acaban desplazándose todos los puntos situados en las proximidades. La dinámica a largo plazo de un sistema está determinada por sus atractores, y la forma del atractor determina el tipo de dinámica que dicho sistema presenta (Stewart, 1995, pág. 127).**

Los atractores son patrones de estabilidad y configuración de los sistemas dinámicos, y pueden encontrarse en diversos sistemas físicos reales. **Un sistema dinámico cuyo comportamiento es regulado por estos estados estables generados endógenamente está caracterizado por ciertos parámetros. La intensidad de dichos parámetros (temperatura, presión, volumen, velocidad, densidad) es lo que define los atractores de los que dispone el sistema y, por ende, el tipo de forma que este puede crear (DeLanda, 2000, pág. 263).**

En los sistemas en estado estacionario existen diferentes posibilidades de aproximación de las trayectorias, con el tiempo, a un punto fijo. **Pese a ello, en determinadas circunstancias el punto no retorna a su posición original y se mueve de forma aparentemente errática dentro del espacio de fases, creando múltiples trayectorias que, en principio, están muy próximas para alejarse posteriormente a una velocidad vertiginosa. Sin embargo, estas órbitas se acaban superponiendo entre sí, quedando confinadas en el espacio de fases: surge así un atractor extraño, que indica trayectorias en un espacio de fases que originan patrones que no son idénticos ni se repiten periódicamente. El atractor extraño, relacionado con los sistemas de turbulencia, configura los sistemas dinámicos en desequilibrio.**



El atractor de Lorenz

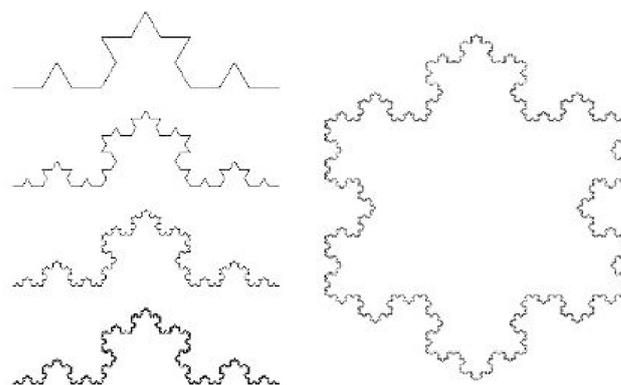
En los atractores extraños las líneas de flujo son sensibles a las condiciones iniciales. **Los puntos inicialmente próximos estarán, transcurrido un intervalo de tiempo, macroscópicamente separados.**

Además, en un sistema dinámico disipativo el volumen se contrae, de tal modo que la dinámica tiende hacia una zona acotada del espacio de fases. **La única forma de que las soluciones se contraigan** en una dirección y se expandan en otra, permaneciendo en una zona finita, es por un proceso de plegamiento en la dirección de la contracción. **Esto es lo que confiere un carácter topológico a tales configuraciones. La topología es el estudio de las propiedades que un objeto conserva en deformación, concretamente curvar, plegar, estirar o apretar, pero no romper o cortar. Esta combinación de estirar y plegar, presente en el sistema de Lorenz, es el fundamento de la topología, la ciencia de la continuidad, de la modulación. Este es el principio del tratamiento de la materia adoptado por artistas como Smithson.**

Las cuestiones relacionadas con los procesos topológicos de consolidación de configuraciones heterogéneas también son tratadas, en la misma época, por la teoría de los fractales. **La geometría fractal** estudia aquellos objetos que no son regulares, sino rugosos, porosos o fragmentados, en la misma medida a todos los niveles. **Se trata de una geometría de la naturaleza que describe sus patrones irregulares y fragmentados. Otro aspecto relacionado con la dimensión es la capacidad, llamada dimensión fractal, la cual indica en qué medida el conjunto en cuestión llena el espacio en que está inmerso. Los fractales ocupan espacio: la dimensión fractal es un número que mide la capacidad de llenar el espacio.**

La geometría de los fractales, aunque fue desarrollada paralelamente a la teoría de los sistemas dinámicos, parte de las mismas preguntas. **¿Cómo comprender sistemas altamente complejos, resultado de procesos no lineales, intermitentes? Configuraciones altamente irregulares, inestables, cuyos patrones y estructuras no son perceptibles a través de la observación directa. No es casualidad que la teoría de los fractales se elaborara a partir del análisis de los dos fenómenos naturales caracterizados por sus interacciones dinámicas y fluctuaciones: los aglomerados (islas, lagos, montañas, nubes) y la turbulencia.**

Los fractales están directamente relacionados con la cuestión del límite. **El contorno de la curva de Koch —modelo de línea costera— se obtiene como límite de una superficie cada vez más recortada. Cada transformación añade una pequeña área a la parte interna de la curva, pero el área total permanece finita y no es mucho mayor que el triángulo inicial. No obstante, la curva en sí es infinitamente larga. Surge una extensión infinita dentro de un espacio finito. Esto es un fractal: una curva de longitud infinita que, a pesar de ser continua en todos sus puntos, no se puede distinguir en ningún punto. El grado de irregularidad, la dimensión fraccionada, depende de la eficacia del objeto en la ocupación del espacio. El contorno de la curva de Koch, cuya extensión infinita se comprime en un área finita, ocupa el espacio. Así se define la contención: algo con extensión infinita pero concentrado en un área limitada. Esta definición se corresponde con la de atractor de un sistema dinámico.**



Curva de Koch

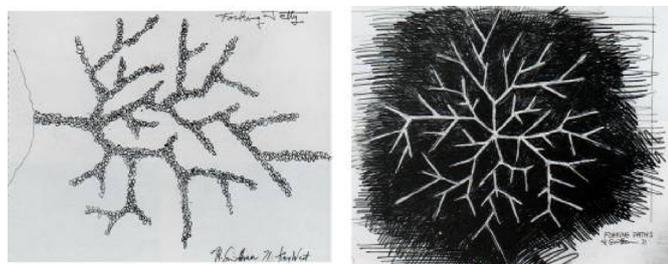
El conjunto de trabajos realizados en el período 1969-1971 constituyó el repertorio conceptual y operativo que Smithson aplicaría, a mayor escala, en sus *earthworks*. **Estos proyectos fueron laboratorios** en los que el artista elaboró los procedimientos que desarrollaría en todas sus obras posteriores, incluidas las propuestas relativas a las zonas mineras. **En ellos se distinguen dos vertientes relacionadas con distintos procesos físicos y geológicos: las obras de flujo, de dislocación, y las obras de contención, de consolidación.**

Las obras de dislocación y dispersión remiten a fallas geológicas, placas tectónicas, terremotos, plegamientos, erupciones volcánicas, glaciares e inundaciones. **Todo aquello que altera la disposición laminar de los estratos y la permanencia del relieve. La serie de corrientes consta de operaciones de flujo. Se trata de las propuestas de Smithson más relacionadas con la mecánica de fluidos. Las obras de aglutinación y consolidación, en contraposición a los procesos de difusión y dispersión, ya son proyectos en los que destacan las dinámicas de atracción, nucleación y aglomeración. El material dispersado, transformado en heterogéneo, se une para formar nuevas configuraciones, en este caso moleculares y distintas de las estructuras rígidas, cristalinas, resultantes de los procesos elementales de formación de la materia. Se forman cuencas sedimentarias, taludes fluviales, islas, relieves metamórficos. Configuraciones compuestas por materiales heterogéneos, desprovistas de toda cohesión, inestables.**

Las formaciones que resultan de dinámicas intensivas suscitan el problema de la estabilización. **¿Cómo se estabilizan estas estructuras? Los proyectos de islas, como *Meandering Island* (1971), tienen como punto de partida la cuestión de la demarcación de la costa, de la contención de una determinada masa en relación con el agua. Conceptualmente, esta serie es opuesta y complementaria a las obras de flujo, de corrientes y erosión. En este caso se trata de lo contrario: de los dispositivos de retención, de la agregación de material no consolidado. De buscar mecanismos de estabilización.**

Proyectos como *Forking Jetty* y *Forking Island* (1971) consisten en crear conjuntos de muelles en forma de ramificaciones. **Los diseños**

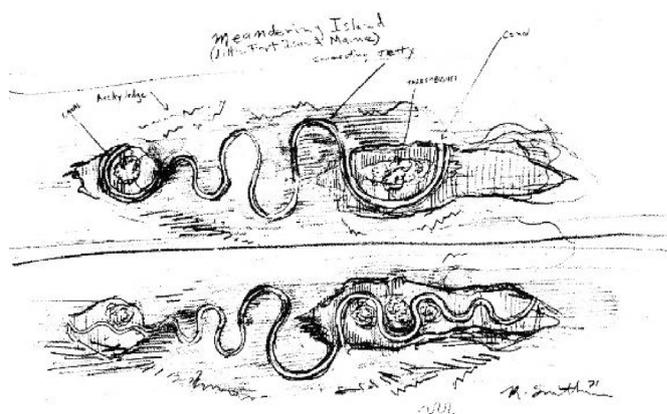
de los muelles retoman modelos de la geomorfología fluvial, como las redes de las cuencas de drenaje. **Concebidos para zonas de litoral o lagos, sin referencias topográficas concretas, es la propia disposición de los muelles, en sucesivas bifurcaciones, lo que configura la zona: por el medio, entre las islas existentes, haciendo surgir una conformación agregada, sin dentro ni fuera, sin límites. Es un dispositivo que recuerda las configuraciones formadas por dendritas, un mecanismo de constitución de agregados. El resultado son estructuras que se ramifican, con dimensión fractal. Es un mecanismo a través del cual esas formaciones naturales adquieren estabilidad, un modo de asegurar la consistencia y sustentación de agregados heterogéneos. Este principio de estructuración por prolongación ramificada sería aplicado por Smithson en sus proyectos de muelles para excavaciones y lagunas de residuos.**



Smithson, *Forking Jetty y Forking Island* (1971)

Otra serie de proyectos parte de los meandros, una morfología habitual en ríos y lagos. *Meandering Island* (1971) es un continuo de canal y muelle que forma una única línea ondulante, un meandro. El límite entre tierra y agua se vuelve mucho más complejo. Ya no está delimitada la localización de la costa, la separación entre el litoral y el interior. **El principio básico de este proyecto, la conjunción de canal y muelle en formato circular o meándrico, sería desarrollado más tarde en las propuestas para lagunas de residuos de la minería.**

La intensidad de los flujos fluviales es variable, entre lo laminar y lo turbulento, dando lugar a distintos modelos de lecho de los ríos. **Los meandros son curvas sinuosas causadas por un flujo relativamente más lento, que forma áreas de erosión y deposición sedimentaria. Los meandros originan una configuración sumamente compleja del paisaje: la distribución de la tierra y el agua, disponiendo el material en distintas configuraciones. Estabilizan la corriente fluvial, reduciendo su velocidad, y la dinámica de la erosión, asegurando la constitución o preservación de las formas del relieve, tales como las colinas o islas, que presentan elevaciones o declives. Los meandros indican que el flujo ha alcanzado un estado de estabilidad crítica. Es una de las formas de constitución de configuraciones heterogéneas estables en condiciones de no-equilibrio. Y he aquí la pregunta que se formula Smithson: ¿cómo estabilizar un terreno inestable?**



Smithson, *Meandering Island* (1971)

En este conjunto de trabajos, Smithson elaboró un repertorio basado en la estructuración del terreno a partir de sus propias líneas de movimiento, de las articulaciones creadas por los flujos y corrientes, principio que utilizaría posteriormente en sus proyectos para las zonas de explotación minera. **Los conceptos y procedimientos establecidos en la serie de islas reaparecen en los proyectos para las lagunas de contención. Las islas y las lagunas presentan la misma configuración, solo que invertida. La definición de costa también le permitiría desarrollar distintos tipos de muelles. Concibe todos ellos tomando como base el principio de acumulación sedimentaria, de deposición de materiales, de atarquinamiento. El problema de la medición de la línea de un litoral—la geometría de fractales, nacida prácticamente en la época en que Smithson llevaba a cabo esos proyectos— está relacionado con la comprensión de la formación y la estabilización de aglomerados cuyos bordes son extremadamente indefinidos, irregulares e inestables.**

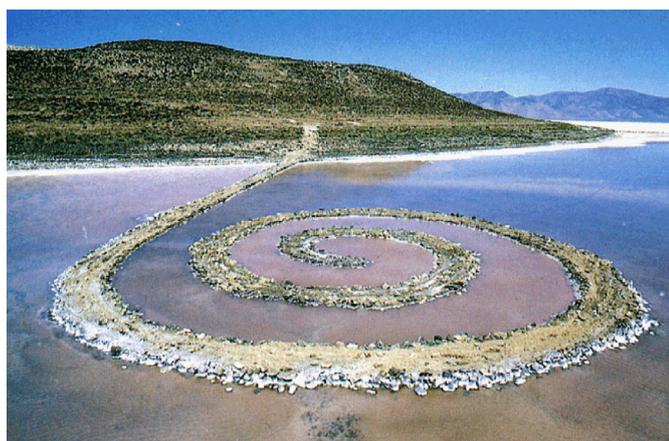
El carácter fractal es una característica importante de la línea que constituye tales agenciamientos. **Es una línea de orientación múltiple que pasa entre los puntos, entre las figuras y los contornos. Es una línea que no delimita nada, que no acota ningún contorno, que no deja de desviarse, cambiando constantemente de dirección. Esta línea que no demarca un contorno es esencial en la constitución de los conjuntos heterogéneos de materias no formadas. Permite abordar de otro modo la cuestión de la contención, de los límites, entendidos siempre por la geometría y la ingeniería como muro de contención, una frontera. Esta línea giratoria escapa completamente a la geometría. Contiene en su interior y llena el espacio a través de su propio movimiento. Es lo que provoca la turbulencia, el comportamiento caótico de los sistemas dinámicos.**

Spiral Jetty (muelle espiral, 1970) es la *earthwork* más conocida de Smithson y está considerada una de las obras más relevantes del arte contemporáneo. **El Gran Lago Salado (Great Salt Lake), en Utah, es una planicie aluvial, una zona de meandros. Esta morfología, una sinuosidad en el lecho de un río o lago, será una referencia funda-**

mental en los últimos proyectos de Smithson, concebidos para lagos de meandros. **Los meandros, creados mediante un complejo proceso** dinámico de erosión y deposición sedimentaria, son conformaciones muy inestables. **Las crecidas y descensos alteran constantemente** las propiedades físicas de los materiales.

El formato de la obra es una espiral logarítmica –o creciente– que varía a intervalos a medida que crece hacia fuera. **La espiral, la forma más recurrente** de los trabajos de Smithson, hace referencia a modos de estabilización estructural en los procesos dinámicos de no-equilibrio. **La espiral contrasta fuertemente con los formatos rígidos e inertes:** círculo, triángulo, rectángulo o cuadrado. **Aparece en formas naturales,** como en moluscos y galaxias, y tiene propiedades fractales. Es la forma relacionada con los procesos más complejos, en los cuales la persistencia no depende solo de la estabilidad, donde las relaciones con el exterior condicionan la conservación de la estructura. **Este tipo de forma es la correspondiente a los sistemas alejados del equilibrio.**

La espiral establece un vector hacia el exterior y, al mismo tiempo, se pliega hacia dentro. **Es una figura en la que todos los puntos del espacio son ocupados simultáneamente. Se produce una ocupación del espacio a modo de torbellino. No crea un contorno: se forma un espacio vectorial compuesto por una línea que cambia continuamente de dirección. La espiral favorece el aumento de tamaño: crece acumulando espacio** (Wagensberg, 2004, pág. 197). **Incorpora el espacio próximo a su área relativamente reducida utilizando la menor energía posible, lo que le proporciona una mayor estabilidad. Al hacer que la frontera se amplíe constantemente, la espiral genera una interacción compleja, apoyada en el punto crítico, entre el interior y el exterior. La espiral es la forma más estable en condiciones alejadas del equilibrio.**



Smithson, *Spiral Jetty* (muelle espiral, 1970)

En lugar de quedar capturada en una forma inerte, estática, en que todo movimiento y energía se disipan, tal como se mostraba en *Gyrostasis*, aquí la espiral es entendida como un elemento del proceso de crecimiento de los cristales, de trama cristalina. **Un instante en**

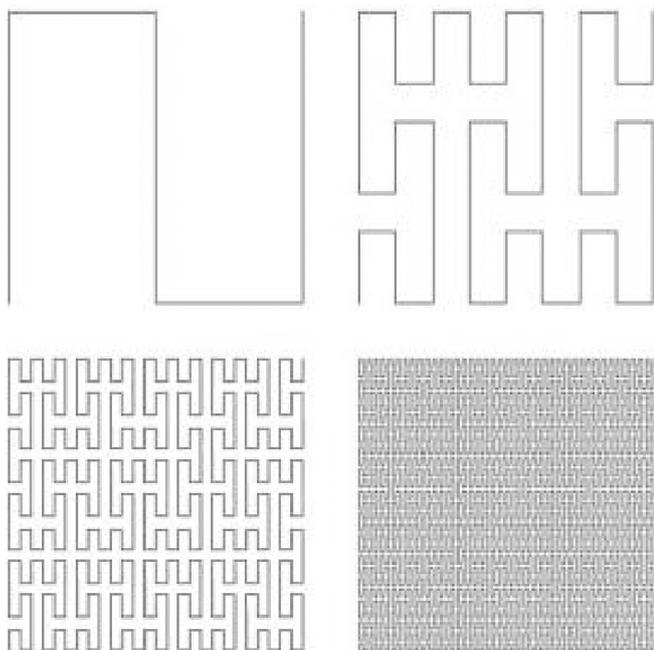
una continuidad deposicional. **Una configuración que se multiplica,** manteniendo la autosimilitud, por todas las escalas del minúsculo cristal de sal hasta el paisaje completo del lago, incluido el propio *Spiral Jetty*. **Una estructura con un patrón que se manifiesta de forma escalonada:** simetría recursiva, desarrollada en los años setenta para construir fractales que presentan autosimilitud a todas las escalas. Esto inscribiría a Smithson en el mismo campo de investigación de la teoría de los sistemas dinámicos no lineales, de los fractales, de la turbulencia y del caos.

La sustentación de *Spiral Jetty* es problemática, ya que se produce un choque continuo contra tendencias desagregadoras. **En vez de tratarse de una forma en suspensión, de energía disipada, es una estructura que tiene que conservarse enfrentándose permanentemente a fuerzas erosivas, a la acción corrosiva de la sal. Está inscrita en un proceso dinámico, multiescala, de evolución de la materia, del paisaje. Este enfoque se radicalizaría en los proyectos para minas,** donde existen corrientes continuas, pendientes con inclinación crítica y acumulación de residuos a lo largo de muchos años. *Spiral Jetty* llevó al límite el principio de una estructura que se crea lejos del equilibrio, en un sistema dinámico intensivo y no lineal. **Para abordar, a gran escala, los propios procesos de deposición de los materiales, Smithson tendría que trabajar en lugares donde se acumulan grandes masas de materiales no consolidados: las zonas mineras.**

Pero ello requiere entender la dinámica de los sistemas geológicos. **Las redes fluviales son el esqueleto del paisaje. Entender la evolución de las redes de escorrentía ha sido uno de los mayores retos de la geomorfología. Se han llevado a cabo diversos estudios sobre la formación de las redes fluviales y la influencia de los ríos en el paisaje, fundamentales para comprender los últimos proyectos de Smithson relacionados con las lagunas y cuencas de contención de residuos. En estas obras se muestra la formación de las cuencas hidrográficas mediante procesos dinámicos con estructura fractal y basados en el gasto mínimo de energía. Dicho de otro modo, las redes de ríos son entendidas como un sistema alejado del equilibrio, en estado de criticidad autoorganizada.**

Se trata de un proceso de autoorganización del paisaje. **Los cambios en la elevación son equilibrados por los flujos de sedimentos y el levantamiento geológico. La dinámica presenta un umbral crítico, un nivel de transporte de sedimentos, más allá del cual se intensifica el proceso de erosión. El sistema alcanza una elevación crítica. Las redes fluviales tienen las mismas características que los sistemas dinámicos críticos: estructuras fractales, ausencia de variación de escala y equilibrio puntuado. La organización del paisaje tiene lugar del modo siguiente: las perturbaciones iniciales actúan en el estado de máxima inestabilidad del relieve, creando las condiciones locales para una erosión profunda, que hace que se exceda el umbral de erosión debido al aumento de los declives. La red evoluciona hacia un estado de criticidad autoorganizada con relieve fractal** (Rodríguez-Iturbe, 2001, pág. 386).

Los meandros poseen características fractales. El **modelo de red fluvial** remite a la curva de Peano. **Se trata de una curva que llena completamente un plano. Una línea que describe curvas en el interior de un plano, de modo que pasa por cada punto del mismo sin cruzarse nunca: una analogía directa de la curva de los atractores en un sistema dinámico. Es un ejemplo de límite: sus áreas se penetran tan profunda y uniformemente que la tierra y el agua comparten todos los puntos en igual proporción. El lado interior y exterior se penetran entre sí. Existe una correspondencia continua entre los puntos del perímetro y el interior: una dimensión topológica. La curva de Peano indica que el patrón de formación de meandros en los ríos es un fractal. La línea fractal de las márgenes de los ríos en meandro penetra el interior y el exterior, estableciendo el límite de conjuntos de agregados: un recurso estructurador que Smithson utiliza en muchos de sus proyectos. La curva de Peano sirve como modelo para analizar la estructura fractal de las formaciones en meandro y de las acumulaciones de material agregado.**



Curva de Peano

La inestabilidad es inherente a los meandros fluviales. **Los sistemas meándricos** presentan comportamientos diversos, desde un comportamiento altamente estable y ordenado hasta un comportamiento inestable y caótico. **Una de las propiedades no lineales de desarrollo de los meandros es la aparición de cortes (*cut-offs*): la erosión y deposición continuas provocan la formación de un meandro muy pronunciado, cada vez más acentuado, que acaba cerrándose. Entonces es cuando el río abandona esa rama muerta para seguir**

un recorrido más corto, formando un meandro abandonado, aislado del resto de la corriente fluvial.

¿Es posible detectar evidencias de criticalidad autoorganizada en meandros de ríos? **La criticalidad autoorganizada se da cuando el sistema alcanza un estado en el que tiene lugar un reajuste repentino que posibilita la reorganización. Un corte, que aísla el meandro del curso del río, reduciendo su sinuosidad en dicho punto, impone orden y hace regresar el curso del río a su atractor. La presencia de múltiples cortes y la variación de sinuosidad pueden ser evidencias de un comportamiento complejo e indicar la incidencia de criticalidad autoorganizada en sistemas de meandros. A mayor sinuosidad relativa, mayor es el número de cortes de meandro, que pueden ser múltiples y próximos al umbral crítico, lo que constituye un indicio de autoorganización. Un estado crítico de sinuosidad autoorganizada, con procesos de múltiples cortes (Hooke, 2003).**

Volvamos a la minería. **Existen parámetros que permiten enfrentarse a los problemas geotécnicos de extracción mineral relacionados con la conformación y estabilidad de taludes de excavación y la disposición de residuos en montañas y/o presas de contención. Estos procedimientos incluyen, además del diseño de la estructura del depósito mineral, modelos de dimensionamiento e inclinación de los taludes. Es decir, una geometría de contención de los cuerpos sedimentarios orientada a la estabilización del terreno. Dicha geometría está determinada sobre todo por el ángulo de inclinación del talud. El mejor formato –por ejemplo, de cono para las excavaciones– es aquel que optimiza la explotación minimizando al mismo tiempo los riesgos de inestabilidad y corrimientos. Debe buscarse un contorno óptimo, ya que el menor ángulo –excavaciones y montañas más verticales– es el más económico. La excavación y el apilamiento deben realizarse buscando la mayor inclinación posible del talud sin exacerbar el potencial de inestabilidad de la estructura.**

Smithson incorporaría en sus obras una serie de procedimientos de manipulación de residuos y estériles resultantes de los procesos de labor minera. **Estudios de comportamiento de los materiales, técnicas de disposición y estructuras de contención, junto a la arquitectura de las lagunas de residuos y montañas de estériles. Las diversas planificaciones del proyecto de tales estructuras indican un intento de aunar los requisitos técnicos y funcionales con la invención estética a partir de parámetros científicos: la estabilidad crítica de las montañas de materiales heterogéneos, los mecanismos de contención creados por la escorrentía (meandros) y, especialmente, las posibilidades de estabilización que ofrecen las distintas formas de organización del material.**

Existe el presupuesto, comprobable en una escala temporal restringida, de que las formaciones rocosas en las que se produce la explotación minera son compactas, estables. **El paisaje a recuperar, en su caso, tendría cimientos definidos y permanentes. Pero Smithson trabaja en otra escala de espacio-tiempo, que incluye el proceso de formación de esas rocas, los movimientos geomórficos, los deslizamientos de las capas sedimentarias. Un espectro temporal**

en que el subsuelo es dinámico, móvil, en proceso de configuración permanente, un proceso que continúa incluso después de cesar las actividades de extracción mineral.

Llegamos así a la encrucijada decisiva del itinerario de Smithson. ¿Qué posibilidad hay, partiendo de configuraciones sumamente degradadas por la minería, de reencontrar la dinámica del paisaje, las curvas de su movimiento evolutivo? **Su estado crítico autoorganizado.** Algunas actividades industriales, como la explotación minera, pueden alejar abruptamente a los sistemas naturales de su estado crítico. En general, los intereses económicos son opuestos al comportamiento de los sistemas naturales no alterados, autoorganizados en estado crítico. **¿Cuáles son las dinámicas, entre las que se encuentran esos procesos altamente no lineales, en las que Smithson efectivamente enmarca sus propuestas?**

¿Sería posible, a partir de la idea de Deleuze de que basta con tocar las montañas a partir de sus pliegues para que vuelvan a ser lo que son, flexibles, dinámicas y transitorias (Deleuze, 1992, pág. 194), elaborar estrategias opuestas al modo en que la minería trata las montañas, imponiendo formas como bancadas e inclinaciones en reposo? Idear operaciones, al igual que un artesano, que lleven la materia a estados extremos, distantes del equilibrio, en los que emergen todas sus propiedades potenciales. **Contribuir a que el paisaje alcance el estado crítico, en el límite de declive de las pendientes, donde los procesos autoorganizados puedan activarse y se generen nuevas configuraciones. Recuperar un paisaje industrial significa seguir la dinámica, el flujo de la materia, el *phylum* maquínico, hasta el estado en que esta se autoorganiza. Smithson asumió este paisaje crítico.**

Realizó diversos estudios de las conformaciones topográficas causadas por la explotación industrial del paisaje. **En particular, estudios relacionados con proyectos de minas de excavación, lagunas de residuos y montañas de estériles de la actividad minera. Elaboró una clasificación de las distintas configuraciones que conforman el paisaje mineral, que asociaría a sus propias formas: espirales, conos, semi-círculos y crecientes. Un vocabulario de modelos, como meandros y ensanches, muelles curvos o que parten de un núcleo central. Pero no se trata de una operación meramente geométrica. Estas formas se corresponden con los procesos dinámicos de cada proyecto.**

Los modelos espaciales presentes en las obras de Smithson, normalmente estructuras construidas y no derivadas de la propia dinámica de los materiales, no tienen, obviamente, características de autoorganización, relaciones de proporcionalidad y distribución sin variación de escala: no son fractales. Solo indican, a través de sus patrones, los procesos que se están produciendo. Sin embargo, esas formas pueden incorporar ciertas propiedades fractales, sobre todo la función de estructurar aglomeraciones de elementos heterogéneos. Tienen un carácter marcadamente topológico.

Es en función de la estabilización de dichas estructuras heterogéneas en condiciones de no-equilibrio como debe entenderse el carácter fractal de las formas (desde las espirales hasta los crecien-

tes) que aparecen en los procesos naturales y que Smithson utiliza en sus proyectos. **¿Qué tipo de estabilidad confiere el carácter fractal a un cuerpo constituido por materia inorgánica? La fractalidad es un modo de crecer, de ocupar el espacio, manteniendo al mismo tiempo cierta continuidad entre las diferentes partes. Los fractales maximizan la superficie limítrofe: llenan el espacio pasando por el mayor número posible de puntos del entorno. Las formas fractales son las más adecuadas para proporcionar estabilidad a configuraciones materiales en condiciones distantes del equilibrio.**

En vez de la espiral, dos figuras aparecen reiteradamente en los proyectos de Smithson para minas de excavación y lagunas de residuos: **la hélice y los crecientes. En el fondo de las minas hay pilotes en forma de rayos helicoidales que convergen hacia el centro o se dispersan desde el núcleo, como una rueda giratoria. En las lagunas de residuos, los muelles curvos abarcan el material fluido. La forma radiada de las minas es reforzada por pilotes crecientes, que enfatizan el movimiento centrípeto. ¿Qué modalidad morfológica, es decir, qué tipo de dinámica acabaría prevaleciendo en los proyectos de Smithson?**

La hélice se deriva de la simetría circular. **En la naturaleza, la hélice es la translación de un movimiento circular, como sucede en los remolinos, torbellinos y tornados. Se corresponde con la aparición de formas estables compatibles con determinadas condiciones de movimiento (rotación) pero relacionadas con el principio de fricción. Un creciente es la forma que se produce cuando un círculo tiene el segmento de otro círculo eliminado de su borde, de lo que resulta una forma delimitada por dos arcos de distinto diámetro. Es una elipse que intersecta un semicírculo. En los proyectos para lagunas de residuos, el creciente está relacionado con cambios de forma debidos a la acumulación o pérdida de material, la cuestión de la contención, de la ocupación del espacio. Son formas que se mantienen al límite del equilibrio por la compensación entre gasto de energía y rozamiento, en intensidad mínima.**

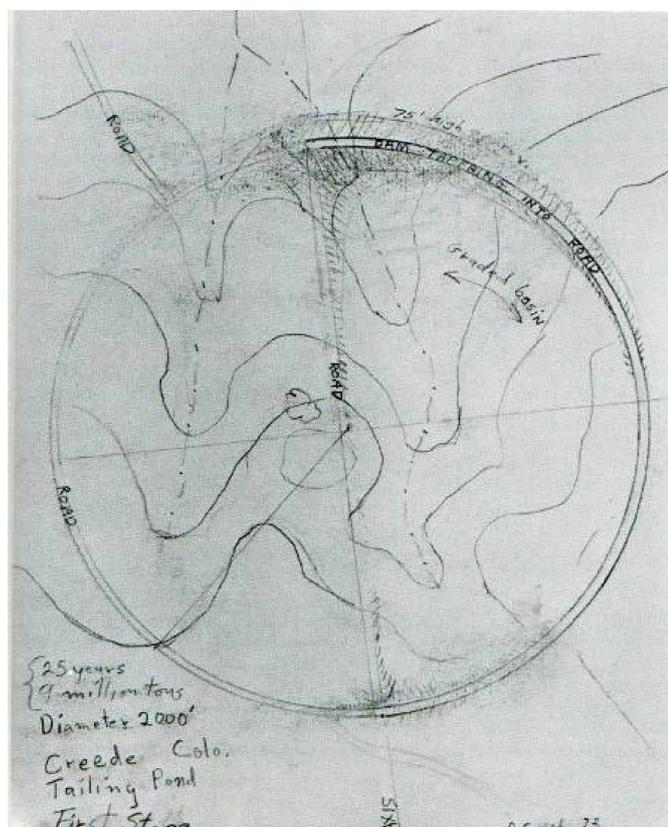
Smithson utiliza este patrón morfológico derivado de un importante fenómeno geomorfológico: **el creciente es la forma que, en los ríos que fluyen a través de meandros, adquieren los depósitos de sedimentos. Con frecuencia los meandros, acentuados por la erosión, quedan aislados del curso del río y se convierten en lagos, que también adquieren la configuración de crecientes. La forma creciente y la morfología de los meandros están interrelacionadas. El creciente es el patrón que sigue de forma natural la deposición sedimentaria fluvial. Es una de las formas propicias para la constitución de configuraciones heterogéneas estables en condiciones de no-equilibrio.**

Al proponer la configuración de crecientes, Smithson indica la aparición de un corte (*cuf-off*) en un sistema con tendencia a la inestabilidad, donde los centros de concavidad varían sin cesar. **La intensificación de la escorrentía de modo que se acentúe la curvatura en ese punto, hasta que se cierre, convirtiéndose en un lago aislado. Un estado de sinuosidad crítica autoorganizada, con procesos continuos de cortes. Por lo tanto, la autoorganización del paisaje minero, que**

solo es posible si se mantiene el flujo constante de agua y material, si el sistema se mantiene en estado de no-equilibrio. **Es decir, durante** las actividades de extracción y procesamiento. **Para poder implantar** plenamente esta estrategia, Smithson tendría que realizar un proyecto para lagunas de residuos de minas operativas.

Tailing Pond (laguna de residuos, 1973) es un proyecto para una laguna de retención del material que fluye con el agua utilizada en el proceso de extracción del hierro, desarrollado para una compañía minera de Creede, una región de tradición minera de Colorado. Esta compañía estaba construyendo un nuevo depósito de residuos mineros de hierro. **Las deposiciones del hierro suelen ser densas y fangosas. Dado que entre los desechos hay restos de minerales valiosos, ese flujo se almacena en depósitos no consolidados, disponibles para su reutilización.**

Este es el único proyecto de Smithson concebido para su ejecución durante las actividades extractivas, obedeciendo a los nuevos requisitos de un plan de operación de largo plazo. **Se trata, por lo tanto, de una configuración que estaría formada y sustentada por un flujo continuo de materia (agua y residuos) procedente del exterior (de la zona de procesamiento de la mina), una estructura disipativa. De todos sus proyectos, es el que representa en mayor medida las características constitutivas de los sistemas dinámicos de no-equilibrio.**



Tailing Pond (laguna de residuos, 1973)

La realización del proyecto se planifica por etapas. **En una primera fase se construye una presa semicircular, seccionada por un corte, que forma un área cerrada, como un meandro aislado. En el interior de esta área se forma una cuenca que se eleva gradualmente, depósitos que se van constituyendo a través de la escorrentía en meandros, un relieve sinuoso. Los planos indican que esta configuración podría aumentarse, ampliándose la presa hasta el otro lado, a fin de completar el círculo. Un proceso de gran escala temporal: pasarían 25 años hasta su finalización.**

Este parece haber sido el proyecto más complejo de Smithson, aquel en el que más se aproximó a la idea del paisaje como un sistema dinámico de no-equilibrio. **Hubo propuestas anteriores con situaciones de gran presión que fueron lanzadas en un estado desestructurado e indiferenciado, como las minas de excavación transformadas en lagos. Aquí, por el contrario, estamos ante un sistema altamente disipativo, basado en la escorrentía continua producida por el procesamiento del mineral. ¿Qué intensidad tendría el flujo en este tipo de mina? ¿Qué tipo de estructura podría resultar de ese largo proceso de formación de la laguna de residuos? ¿Cómo se depositarían los residuos en el interior de esa configuración? ¿El flujo característico de las formaciones meándricas (sus procesos de erosión, deposición y cortes constitutivos de zonas aisladas más estables) le permitiría al material organizarse en la laguna de retención? ¿Podría esta topografía, fuertemente desestructurada por las actividades industriales, encontrar un estado crítico, estabilizado al límite del caos?**

La cuestión es cómo se organizará el material, el modo de deposición sedimentaria, una vez que existan las condiciones de límite, tal como ocurre en los meandros. **Las propuestas para minas de excavación, los crecientes y esa laguna de residuos preveían operar con material no consolidado, afloraciones y residuos. La estabilización será determinada por las deposiciones inestables del lugar explotado. El problema consiste en cómo estabilizar esas estructuras de no-equilibrio. Encontrar formas que llenen el espacio, articulando el mayor número posible de puntos del interior y el exterior, haciendo más densa la superficie limitrofe. Así, en el campo industrial, vemos que se dan procesos en que la materia puede autoorganizarse, que surgen configuraciones que se contraponen a la estructuración mecánica del terreno.**

Para Smithson, la estabilidad debe conseguirse conservando el estado de no-equilibrio propio de la materia, del paisaje. **Esto supone enfrentarse a una masa inestable, sedimentaria, poco cohesionada, capaz de moverse. Se trata de darle consistencia a esos conjuntos heterogéneos. Es un proceso de consolidación realizado no mediante la imposición de una estructura, sino mediante fluctuación e intensificación: modulación. Un espacio en el que el flujo reencuentra su camino curvilíneo y arremolinado, a lo largo del cual crece y se desplaza.**

La explotación minera se lleva a cabo sobre un terreno estratificado. Es una operación que genera inestabilidad (excavaciones con paredes verticales, montañas de material no compactado, vertederos, barrancos en curva). **Todos los procedimientos industriales están**

dirigidos a estabilizar el suelo mediante estructuras de contención. No obstante, Smithson trabaja precisamente con la inestabilidad. Las propuestas de este artista, en su mayoría, van en dirección contraria a la ingeniería: **mantener la mina abierta, reforzar los procesos a largo plazo de reacomodación de los sedimentos, hasta cierto punto aleatorios e imprevisibles.**

Smithson crea configuraciones que dependen del movimiento de los sedimentos para consolidarse, de un sistema dinámico de

corrientes, de una evolución en curvatura variable. **Introduce en las montañas y lagunas de residuos formas de espiral, creciente y hélice que se estabilizan en condiciones de no-equilibrio. En contra de lo que estipulan las políticas de recuperación de las zonas mineras, cuyo objetivo es aliviar las tensiones del relieve, el paisaje solo se reconfigura en un estado crítico, al borde del caos. Smithson trabaja en un paisaje crítico.**

Bibliografía

- ADDISON, P. (1997). *Fractals and Chaos*. Londres: Institute of Physics Publishing.
- BAK, P. (1996). *How nature works. The science of self-organized criticality*. Copernicus / Springer-Verlag.
- BEARDSLEY, J. (mayo de 1978). «Robert Smithson and the Dialectical Landscape». *Arts Magazine*.
- BEARDSLEY, J. (1989). *Earthworks and Beyond*. Nueva York: Abbeville.
- BERGÉ, P.; POMEAU, Y.; DUBOIS-GANCE, M. (1995). *Dos ritmos ao caos*. São Paulo: Editora Unesp.
- BONTA, M.; PROTEVI, J. (2004). *Deleuze and Geophilosophy*. Edimburgo: Edinburgh University Press.
- BRAUN, E. (1996). *Caos, fractales y cosas raras*. México: Fondo de Cultura Económica.
- BUCHANAN, M. (2000). *Ubiquity. Why Catastrophes Happen*. Nueva York: Three Rivers.
- CACHE, B. (1995). *Earth Moves: the Furnishing of Territories*. Cambridge: MIT Press.
- COHEN, J.; STEWART, I. (1994). *The Collapse of Chaos*. Londres: Penguin Books.
- COOKE, L. (2005). «A position of elsewhere». En: L. COOKE; K. KELLY (eds.). *Robert Smithson: Spiral Jetty*. University of California Press.
- DELANDA, M. (1991). *War in the Age of Intelligent Machines*. Nueva York: Zone Books.
- DELANDA, M. (1992). «Nonorganic Life». En: *Incorporations*. Nueva York: Zone 6, Urzone/MIT Press.
- DELANDA, M. (2000). *A Thousand Years of Nonlinear History*. Nueva York: Swerve.
- DELANDA, M. (2002). *Intensive Science and Virtual Philosophy*. Nueva York: Continuum.
- DELANDA, M. (2005). «Space: Extensive and Intensive, Actual and Virtual». En: I. BUCHANAN; G. LAMBERT (coord.). *Deleuze and Space*. Toronto: University of Toronto Press.
- DELEUZE, G. (1966). *Le bergsonisme*. París: PUF.
- DELEUZE, G. (1968). *Différence et répétition*. París: PUF.
- DELEUZE, G. (1988). *Foucault*. São Paulo: Brasiliense.
- DELEUZE, G. (1991). *A Dobra - Leibniz e o barroco*. São Paulo: Papyrus.
- DELEUZE, G. (1992). *Conversações*. São Paulo: Editora 34.
- DELEUZE, G.; GUATTARI, F. (1992). *O que é a filosofia*. São Paulo: Editora 34.
- DELEUZE, G.; GUATTARI, F. (1997). *Mil Platôs*. São Paulo: Editora 34.
- GLEICK, J. (1989). *Caos - A criação de uma nova ciência*. São Paulo: Campus.
- GRAZIANI, R. (2004). *Robert Smithson and the American Landscape*. Cambridge: Cambridge University Press.
- GREBOGI, C.; OTT, E.; YORKE, J. (1987). «Chaos, Strange Attractors, and Fractal Basin Boundaries in Nonlinear Dynamics». *Science*, v. 238.
- GRIBBIN, J. (2004). *Deep Simplicity*. Londres: Penguin Books.
- GUERRA, A. J. (2005). «Processos erosivos em encostas». En: A. J. GUERRA; S. B. CUNHA (coord.). *Geomorfologia*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

- HENDRICKS, S. B. (1955). «Screw dislocations and the charge balance as factors of crystal growth». *American Mineralogist*, v. 40, págs. 139-146.
- HERGARTEN, S. (2002). *Self-Organized Criticality in Earth Systems*. Nueva York: Springer-Verlag.
- HOBBS, R. (1981). *Robert Smithson: Sculpture*. Nueva York: Cornell University Press.
- HOOKE, J. (2003). «River meander behaviour and instability: a framework for analysis». *Transactions*. Institute of British Geographers.
- HOOKE, J. (nov. de 2007). «Complexity, self-organization and variation in behaviour in meandering rivers». *Geomorphology*, v. 91.
- JENSEN, H. J. (1998). *Self-Organized Criticality. Emergent Complex Behavior in Physical and Biological Systems*. Cambridge University Press.
- KAUFFMAN, S. (1993). *The Origins of Order*. Nueva York: Oxford University Press.
- KAUFFMAN, S. (1995). *At Home in the Universe. The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*. Oxford: Oxford University Press.
- KONDEPUDI, D.; PRIGOGINE, I. (1998). *Modern Thermodynamics. From Heat Engines to Dissipative Structures*. Chichester: John Wiley & Sons.
- KRAUSS, R. R.; BOIS, Y. A. (1996). *L'informe: mode d'emploi*. París: Centre Georges Pompidou.
- KWINTER, S. (1996). «Flying the Bullet, or When Did the Future Begin?». En: *Rem Koolhaas: conversations with students*. Nueva York: Princeton Architectural Press.
- KWINTER, S. (2001). *Architectures of Time*. Cambridge: MIT Press.
- LAMBERT, G. (2005). «What the Earth Thinks». En: I. BUCHANAN; G. LAMBERT (coord.). *Deleuze and Space*. University of Toronto Press.
- LEWIN, R. (1992). *Complexity: Life on the Edge of Chaos*. Nueva York: Macmillan.
- LOCZY, L.; LADEIRA, E. (1976). *Geologia Estrutural e Introdução à Geotectônica*. São Paulo: Edgard Blucher.
- MAINZER, K. (1994). *Thinking in Complexity. The Complex Dynamics of Matter, Mind and Mankind*. Berlín: Springer-Verlag.
- MANDELBROT, B. (1983). *The Fractal Geometry of Nature*. Nueva York: Freeman and Company.
- MANDELBROT, B. (1989). *Objetos fractais*. Lisboa: Gradiva.
- MATURANA, H.; VARELA, F. (1998). *A árvore do conhecimento*. São Paulo: Palas Athena.
- MORRIS, R. (1995). *Continuous Project Altered Daily*. Cambridge: MIT Press.
- NICOLIS, G.; PRIGOGINE, I. (1989). *Exploring Complexity*. Nueva York: Freeman and Company.
- OWENS, C. (1992). *Beyond Recognition*. Berkeley: University of California Press.
- PHILLIPS, B. (2005). «Building the Jetty». En: L. COOKE; K. KELLY (eds.). *Robert Smithson: Spiral Jetty*. University of California Press.
- PRIGOGINE, I. (1983). *¿Tan sólo una ilusión? Una exploración del caos al orden*. Barcelona: Tusquets Editores.
- PRIGOGINE, I. (1991). *El nacimiento del tiempo*. Barcelona: Tusquets Editores.
- PRIGOGINE, I. (1993). *As leis do caos*. São Paulo: Editora Unesp.
- PRIGOGINE, I. (1996). *O fim das certezas. Tempo, caos e as leis da natureza*. São Paulo: Editora Unesp.
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. (1979). *La nouvelle alliance*. París: Gallimard.
- REYNOLDS, A. (2003). *Robert Smithson - Learning from New Jersey and Elsewhere*. Nueva York: MIT Press.
- ROBERTS, J. L. (2004). *Mirror-Travels, Robert Smithson and History*. Yale University Press.
- RODRIGUEZ-ITURBE, I.; RINALDO, A. (2001). *Fractal river basins: chance and self-organization*. Cambridge University Press.

- RUELLE, D. (1993). *Acaso e caos*. São Paulo: Editora Unesp.
- SCHIFTER, I. (1996). *La ciencia del caos*. México: Fondo de Cultura Económica.
- SERRA, R. (1994). *Writings, Interviews*. Chicago: The University of Chicago Press.
- SERRES, M. (1977). *Hermès IV – La Distribution*. París: Éditions de Minuit.
- SERRES, M. (1993). *Les origines de la géométrie*. París: Flammarion.
- SERRES, M. (1996). *Atlas*. París: Flammarion.
- SERRES, M. (1997). *O nascimento da física no texto de Lucrecio*. São Paulo: Editora Unesp.
- SHAPIRO, G. (1995). *Earthwards*. Berkeley: University of California Press.
- SIMONDON, G. (1989). *Du mode d'existence des objets techniques* (Aubier).
- SIMONDON, G. (1995). *L'individu et sa genèse physico-biologique*. Grenoble: Jérôme Millon.
- SMITH, P. (1998). *Explaining Chaos*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SMITHSON, R.; FLAM, J. (ed.) (1996). *Robert Smithson. The Collected Writings*. University of California Press.
- STEWART, I. (1991). *Será que Deus joga dados? A nova matemática do caos*. Rio de Janeiro: Zahar.
- STEWART, I. (1995). *Os números da natureza*. Lisboa: Rocco.
- STEWART, I. (1998). *De aquí al infinito*. Barcelona: Editora Crítica.
- TURCOTTE, D. (julio de 1995). «Scaling in geology: landforms and earthquakes». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 92.
- TURCOTTE, D. (1997). *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- WAGENSBERG, J. (2004). *La rebelión de las formas*. Barcelona: Tusquets Editores.
- WALDROP, M. (2001). *Complexity. The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. Nueva York: Simon and Schuster.

Cita recomendada

BRISSAC, Nelson (2009). «Paisajes críticos. Robert Smithson: arte, ciencia e industria».

En: «Arte, cultura y ciencias de la complejidad» [nodo en línea]. *Artnodes*. N.º 9. UOC.

[Fecha de consulta: dd/mm/aa].

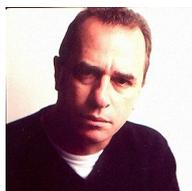
<http://artnodes.uoc.edu/ojs/index.php/artnodes/article/view/n9_brissac/n9_brissac>

ISSN 1695-5951



Esta obra está sujeta a la licencia de **Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 3.0 España** de Creative Commons. Puede copiarla, distribuirla y comunicarla públicamente siempre que cite su autor y la revista que la publica (*Artnodes*); no la utilice para fines comerciales y no haga con ella obras derivadas. La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.es>.

Las imágenes referentes a las obras de Smithson están autorizadas por el Estate of Robert Smithson, cortesía de la James Cohan Gallery, 533 West 26th Street, New York, NY 10001, EEUU.

CV**Nelson Brissac Peixoto**

Profesor de Tecnologías de la inteligencia y diseño digital de la Pontificia Universidad Católica de São Paulo (PUC-SP)
 nbrissac@artecidade.org.br

Nelson Brissac Peixoto es filósofo y trabaja en cuestiones relativas al arte y el urbanismo. Es profesor del curso de posgrado de Tecnologías de la inteligencia y diseño digital de la Pontificia Universidad Católica de São Paulo (PUC-SP, Brasil).

Es organizador y comisario de Arte/Cidade (www.artecidade.org.br), proyecto de intervenciones urbanas en São Paulo, desde 1994. Publicaciones: *A sedução da barbárie*, Brasiliense, 1982; *Cenários em ruínas*, Brasiliense, 1987; *América*, Companhia das Letras, 1989; *Paisagens Urbanas*, Ed. Senac, 1996; *Brasmitte*, catálogo, 1997; *Arte/Cidade - Intervenções Urbanas*, Ed. Senac, 2002, y *Paisagens Críticas - Robert Smithson: arte, ciência e indústria*, Ed. Senac / Educ, en imprenta. También se dedica a investigar las dinámicas territoriales en la región sureste de Brasil y las relaciones entre arte e industria.

Rua Marquês de Paranaguá 66, apt 71
 01303-059 São Paulo (Brasil)

<http://artnodes.uoc.edu>

ARTÍCULO

NODO «ARTE, CULTURA Y CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD»

Life Spacies y Life Spacies II: modelar sistemas complejos para arte interactivo

Christa Sommerer y Laurent Mignonneau

Fecha de presentación: octubre de 2009

Fecha de aceptación: octubre de 2009

Fecha de publicación: diciembre de 2009

Resumen

Basándonos en la idea de que la interacción y la comunicación entre entidades de un sistema son las fuerzas que impulsan la aparición de estructuras más complejas y elevadas en la vida, proponemos aplicar principios de la teoría de sistemas complejos a la creación de obras de arte interactivas, generadas por ordenador y basadas en la participación del público, y comprobar si la complejidad puede surgir en un sistema artificial generado por ordenador.

Palabras clave

Life Spacies, arte interactivo, modelado, teoría de sistemas complejos

Abstract

Based on the idea that interaction and communication between entities of a system are the driving forces behind the emergence of higher and more complex structures in life, we propose applying the principles of complex system theory to the creation of interactive, computer-generated and audience-participatory artwork and testing whether complexity within an artificial computer-generated system can emerge.

Keywords

Life Spacies, interactive art, modelling, complex system theory

1. Introducción

La creación de vida virtual en ordenadores acaba planteando la cuestión de cómo surgió la vida en la tierra y de cómo podría haberse desarrollado partiendo de unidades o partículas más simples hacia estructuras cada vez más complejas o sistemas completos de estructuras que parecen seguir una cierta pauta interna de organización. Ésta es también la pregunta clave en la nueva «ciencia de sistemas complejos». La primera parte de este artículo analiza algunas de las teorías y principios de sistemas complejos y luego propone aplicarlos a la creación de una obra de arte interactiva, generada por ordenador y basada en la participación del público.

2. Ciencia de sistemas complejos

La ciencia de sistemas complejos ha surgido como campo de investigación en la última década. Estudia «cómo las partes de un sistema suscitan los comportamientos colectivos de ese sistema y cómo interactúa el sistema con su entorno. Los sistemas sociales formados (parcialmente) por personas, el cerebro formado por neuronas, las moléculas formadas por átomos y el tiempo meteorológico que se forma a partir de corrientes de aire constituyen ejemplos de sistemas complejos. El campo de los sistemas complejos atraviesa todas las disciplinas tradicionales de la ciencia así como la ingeniería, la gestión empresarial y la medicina. Se centra en ciertas preguntas sobre partes, todos y relaciones. Estas preguntas son relevantes para todos los campos tradicionales [...] Hay tres enfoques interrelacionados para el estudio moderno de los sistemas complejos: 1) cómo las interacciones suscitan pautas de comportamiento, 2) de qué maneras se pueden describir los sistemas complejos y 3) el proceso de formación de sistemas complejos a través de la formación y evolución de pautas.»¹

3. Definir la complejidad

Aunque no hay una definición exacta de lo que es un sistema complejo, hoy en día se asume que cuando un conjunto de partículas o agentes autónomos en evolución interactúan, el sistema global resultante muestra propiedades colectivas emergentes, una evolución y un comportamiento crítico que poseen características universales.

Estos agentes o partículas pueden ser moléculas complejas, células, organismos vivos, grupos de animales, sociedades humanas, empresas industriales, tecnologías que compiten, etc. Todas ellas son agregaciones de materia, energía e información que muestran las siguientes características:

- Se vinculan entre sí.
- Aprenden, se adaptan y organizan.
- Mutan y evolucionan.
- Expanden su diversidad.
- Reaccionan ante sus vecinos y el control externo.
- Exploran sus opciones.
- Se reproducen.
- Se organizan en una jerarquía de estructuras de orden superior.

Hallar un principio común tras las fuerzas organizativas de los sistemas naturales resulta una tarea compleja, y parece que haya tantas teorías como teóricos. Mencionaremos brevemente algunas de las numerosas teorías sobre sistemas complejos. Edmonds² nos ha permitido extraer información valiosa sobre los diversos enfoques y definiciones de teoría de sistemas complejos.

3.1. Complejidad de información algorítmica (AIC) – La definición de KCS

La definición más conocida de complejidad es la de KCS (Kolmogorov-Chaitin-Solomonoff),³ que describe la complejidad de información algorítmica (AIC) situándola en algún punto entre el orden y la aleatoriedad; es decir, que la complejidad aumenta cuando P_{min} (el algoritmo más corto que puede generar una secuencia de dígitos, S) alcanza una extensión equivalente a la de la secuencia que hay que procesar. Cuando el algoritmo alcanza este límite de incompreibilidad, la secuencia se define como aleatoria. La definición de KCS distingue entre estructuras «altamente ordenadas» y «altamente complejas».

3.2. Definición del número de partes de Hinegardner y Engelberg

Puede que la medida más sencilla de complejidad sea la sugerida por Hinegardner y Engelberg:⁴ el número de partes distintas. La medida

-
1. BAR-YAM, Yaneer (2000). «What is the study of complex systems?» [artículo en línea]. *New England Complex System Institute*. <<http://necsi.org/guide/whatis.html>>
 2. EDMONDS, B. (1999). *Syntactic Measures of Complexity*. Tesis doctoral presentada en la Universidad de Manchester, Reino Unido.
 3. KOLMOGOROV, A.N. (1965). «Three Approaches to the quantitative definition of Information». *Problems of Information Transmission*. N.º 1, págs. 1-17; SOLOMONOFF, R.J. (1964). «A Formal Theory of Inductive Inference». *Information and Control*. N.º 7, págs. 1-22, 224-254; CHAITIN, G. J. (1966). «On the Length of Programs for Computing Finite Binary Sequences». *Journal of the Association of Computing Machinery*. N.º 13, págs. 547-569.
 4. HIINEGARDNER, R.; ENGELBERG, H. (1983). «Biological Complexity». *J. Theoret. Biol.* N.º 104, págs. 7-20.

de Hinegardner y Engelberg nos recuerda los diagramas «expandidos» de las piezas de maquinaria. Ofrecen algunas indicaciones de complejidad pero obvian lo que quizás sea lo más importante: la «organización» y los «niveles de organización».⁵

3.3. Complejidad topológica de J. Crutchfield

La complejidad topológica descrita por Crutchfield⁶ es una medida del tamaño del modelo numérico mínimo (que suele ser alguna clase de autómatas finitos) en el lenguaje formal mínimo en el que posee un modelo finito. Así que la complejidad del modelo se «objetiva» al considerar sólo modelos mínimos pero también se vincula a la jerarquía fija de los lenguajes formales.

3.4. Complejidad computacional

Hoy en día la complejidad computacional es un área muy estudiada con muchos resultados formales.⁷ La teoría de la complejidad se basa en la investigación sobre teoría de la computabilidad llevada a cabo a partir de los años treinta por, entre otros, Alan Turing, Alonzo Church y Stephen Kleene. En aquel entonces, las consideraciones primordiales eran la formalización de la noción de ordenador (como la máquina de Turing o el cálculo lambda de Church) y si tales ordenadores podrían resolver algún problema matemático.

3.5. Teoría descriptiva de la complejidad

En 1969 Fagin⁸ decidió estudiar espectros (un espectro de una frase de primer orden es el conjunto de cardinalidades de sus modelos finitos) y el problema de Asser (1955): «¿Se cierra la clase de espectros al complementarse?». En 1970 sus investigaciones se ampliaron a los espectros generalizados (es decir, espectros existenciales de segundo orden en los que no se han cuantificado todos los símbolos de relación). Probablemente, el resultado más importante de Fagin fue su caracterización de los NP como la clase de espectros generalizados (1974). Actualmente el interés en este tema ha crecido exponencialmente, debido sobre todo al vínculo estrecho (que Fagin fue el primero en insinuar) entre la teoría de modelos finitos y la teoría de la complejidad.⁹ De hecho, hay un

área consolidada dentro de la teoría de modelos finitos que trata explícitamente esta relación, y es la teoría descriptiva de la complejidad.

3.6. Entropía de Shannon

La entropía de Shannon¹⁰ puede entenderse como la capacidad de captar un mensaje que se transmite a través de un canal dada la variedad de mensajes posibles. El planteamiento es que cuanto más cuesta entenderlo, más información proporciona el mensaje. Esa idea no se planteó como una medida de complejidad pero los autores posteriores la han utilizado como tal.

3.7. Complejidad de Goodman

Goodman¹¹ ha diseñado una categorización detallada de predicados extralógicos basados en la expresividad. Por ejemplo, se considera que un predicado general es más complejo que uno simétrico, ya que incluye a éste último como ejemplo específico. Del mismo modo, un predicado triádico es más complejo que uno diádico. Goodman desarrolla este punto de partida. En principio, al encontrarse ante dos teorías que se sustentan sobre el mismo número de pruebas experimentales, habría que elegir la más sencilla usando esta medida. La complejidad de una frase compleja es sencillamente la suma de las complejidades de los predicados que la componen, sea cual sea la estructura de la frase.

3.8. Complejidad de Kemeny

En el campo de la «simplicidad», Kemeny¹² atribuye complejidad integral a tipos de predicados extralógicos. Lo hace basándose en el algoritmo del número de modelos finitos no isomórficos que posee un predicado. Y partiendo de esta idea otorga a los predicados extralógicos una complejidad que podría emplearse para decidirse entre diversas teorías sustentadas por igual. Posee un estilo y una orientación similares a los del indicador de Goodman de la sección 3.7.

5. SMITH, C.U.M. (1990). *Elements of Molecular Neurobiology*. Chichester: Wiley.

6. CRUTCHFIELD, J.P. (1994). «The Calculi of Emergence: Computation, Dynamics and Induction». *Physica D*. N.º 75, págs.11-54.

7. VON NEUMANN, J. (1956). «The general and logical theory of automata». J.R. Newman (editor). *The World of Mathematics*. Nueva York: Simon and Schuster. Vol. 4, págs. 2070-2098; PAPANIMITRIOU, C. H. (1994). *Computational Complexity*. Reading, MA: Addison Wesley; FAGIN, R. (1973). «Contributions to the Model Theory of Finite Structures». Tesis doctoral presentada en la Universidad de California en Berkeley.

8. *Ibid.*, R. Fagin.

9. BANZHAF, W. (1994). «Self-Replicating Sequences of Binary Numbers: The Build-up of Complexity». *Complex Systems*. N.º 8, págs. 215-225.

10. SHANNON, C. E.; WEAVER. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, IL: University of Illinois Press.

11. GOODMAN, N. (1966). *The Structure of Appearance*. Indianapolis: Bobbs-Merrill.

12. KEMENY, J.G. (1953). «Two Measures of Complexity». *The Journal of Philosophy*. N.º 52, págs. 722-733.

3.9. Complejidad de Horn y complejidad de redes

La complejidad de Horn de una función proposicional es la extensión mínima de una fórmula de Horn (en sus variables operativas) que define tal función. Esta complejidad fue definida por Aanderaa y Börger¹³ como medida de la complejidad lógica de las funciones booleanas. Se vincula polinómicamente a la complejidad de redes o circuitos, que es el número mínimo de puertas lógicas necesarias para implementar una función lógica.¹⁴

3.10. Complejidad de la medida efectiva (EMC)

Grassberger¹⁵ define la «complejidad de la medida efectiva» (EMC) de una pauta como el comportamiento asintótico de la cantidad de información exigida para predecir el siguiente símbolo en términos de granularidad. La EMC puede entenderse como la dificultad de predecir los valores futuros de una serie estacionaria, al medirse por el tamaño de expresión regular del modelo exigido. Badii y Politi¹⁶ adoptan un enfoque similar.

3.11. Número de descripciones no equivalentes

Si un sistema puede modelarse de muchos modos distintos e irreconciliables, entonces siempre tendremos que aceptar un modelo incompleto de tal sistema. En tales circunstancias, es posible que el sistema muestre un comportamiento que sólo prediría otro modelo, por lo que tales sistemas son, de un modo fundamental, irreductibles. En consecuencia, Rosen¹⁷ y Pattee¹⁸ consideraron que la presencia de múltiples modelos no equivalentes era la característica clave de la complejidad. Casti¹⁹ amplía este enfoque y define la complejidad como el número de descripciones no equivalentes que puede generar un observador de un sistema con el que interactúa. El observador debe elegir una familia de descripciones del sistema y una relación de equivalencia entre ellas, de manera que la complejidad es el número de clases de equivalencia en las que se divide la familia, dada la relación de equivalencia.

4. Propiedades de sistemas complejos

La búsqueda de las propiedades de los sistemas complejos está intrínsecamente ligada a la definición de complejidad. Diversos investigadores han emprendido la tarea de definir tales propiedades. Como ocurre en las definiciones de complejidad (sección 3), no existe una «lista» común de propiedades capaz de describirlas por completo.

4.1. Variedad

En un sistema complejo es probable que haya comportamientos y propiedades más variados. Por lo tanto, la variedad es un indicador de complejidad (aunque no siempre, ya que en ocasiones se hace necesario un sistema muy complejo para mantener el equilibrio). La variedad puede medirse con un simple recuento de los tipos, la extensión de valores numéricos o la mera presencia de cambios repentinos.

4.2. Dependencia

Heylighen²⁰ sugiere que la complejidad se incrementa cuando la variedad (distinción) y la dependencia (conexión) de partes o aspectos aumentan, y lo hacen en varias dimensiones. Entre ellas se incluye al menos las tres dimensiones espaciales ordinarias, la estructura geométrica, la dimensión de escala espacial, la dimensión de tiempo o dinámica, y la dimensión de escala temporal o dinámica. Para mostrar que la complejidad ha aumentado en conjunto, basta con mostrar que –si todo es igual– la variedad y/o la conexión han aumentado en al menos una dimensión.

4.3. Irreductibilidad

La irreductibilidad es una fuente de complejidad. Nelson²¹ afirma que la irreductibilidad es un factor clave en sistemas complejos, y también se encuentra un enfoque similar en los escritos de Anderson,²² que

13. AANDERAA, S.O.; BRÖGER E. (1981). «The equivalence of Horn and network complexity of Boolean functions». *Acta Informatica*. N.º 15, págs. 303-307.

14. SAVAGE, J. E. (1987). *The Complexity of Computing*. Melbourne, FL: Krieger Publishing Company.

15. GRASSBERGER, P. (1986). «Towards a Quantitative Theory of Self-Generated Complexity». *International Journal of Theoretical Physics*. N.º 25, págs. 907-938.

16. BADI, R.; POLITI, A. *Complexity: hierarchical structures and scaling in physics*. Cambridge: Cambridge University Press.

17. ROSEN, R. (1977). «Complexity and system descriptions». En: W.E. HARNETT (editor). *Systems: Approaches, theories, Applications*. Dordrecht, Holanda: D. Reidel. Págs. 169-175.

18. PATTEE, H. (1977). «Dynamic and Linguistic Modes of Complex Systems». *International Journal of General Systems*. N.º 3, págs. 259-266.

19. CASTI, J.L. (1986). «On System Complexity: Identification, Measurement and Management». En: J. CASTI; A. KARLQUIST (editores). *Complexity Language and Life: Mathematical Approaches*. Berlín: Springer. Págs. 146-173.

20. HEYLIGHEN, F. (1996). «The Growth of Structural and Functional Complexity during Evolution». En: F. HEYLIGHEN; D. AERTS. *The Evolution of Complexity*. Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic Publishers.

21. NELSON, R.J. (1976). «Structure of Complex Systems». *Philosophy of Science Association*. N.º 2, págs. 523-542.

22. ANDERSON, P.W. (1972). «More is Different». *Science*. N.º 177, págs. 393-396.

señala la importancia del tamaño para el comportamiento cualitativo, y Wimsatt,²³ quien afirma que la evolución de múltiples funciones superpuestas limitará la simplificación en biología.

4.4. Capacidad de sorprender

Los sistemas muy simples y por lo tanto bien entendidos no poseen la capacidad de sorprender, por lo que se considera una propiedad esencial de los sistemas complejos.²⁴

4.5. Ruptura de la simetría

Heylighen²⁵ afirma que entonces la complejidad puede caracterizarse por la falta de simetría o «ruptura de simetría», por el hecho de que ninguna parte o aspecto de una entidad compleja puede proporcionar información suficiente para predecir real o estadísticamente las propiedades de las demás partes. Esta idea vuelve a enlazar con la dificultad de modelado asociada a sistemas complejos.

4.6. Complejidad como elemento relativo al marco de referencia

Edmonds²⁶ destaca que la complejidad depende necesariamente del lenguaje utilizado para modelar un sistema. Afirma que la complejidad efectiva depende del marco elegido a partir del cual se contempla/modela el sistema de estudio. La importancia de la escala para modelar fenómenos también conduce a Badii y Politi²⁷ a centrar su caracterización de la complejidad basándose solamente en tales efectos jerárquicos y de escala.

4.7. Punto medio entre orden y desorden

En ocasiones la complejidad se sitúa en un punto medio entre el orden y el desorden. Edmonds²⁸ señala que la definición de complejidad como punto medio entre orden y desorden depende del nivel de representación: lo que parece complejo en una representación

puede parecer ordenado o desordenado en una representación a una escala distinta.

4.8. Complejidad a través del cambio de estado

La investigación de sistemas complejos denomina cambio de estado a la transición entre las zonas de pautas de actividad sencilla y pautas de actividad compleja. Kauffman²⁹ ha modelado un hipotético sistema de circuitos de moléculas que pueden apagarse o encenderse las unas a las otras para catalizar o inhibir uno de sus productos. Como consecuencia de esta catálisis o cierre colectivo e interconectado, se catalizan más moléculas complejas, que vuelven a ejercer de catalizadores de moléculas aún más complejas. Kauffman afirma que la vida puede darse en el propio cierre catalítico, siempre y cuando se alcance una diversidad molecular significativa. El estado de suspenso entre la estabilidad y la flexibilidad suele denominarse «el borde del caos».

4.9. La vida al borde del caos

Langton y Packard³⁰ observaron el comportamiento de autómatas celulares. Descubrieron que, aunque los autómatas celulares obedecen reglas simples de interacción del tipo descrito por Wolfram,³¹ pueden desarrollar pautas complejas de actividad. Como estas pautas dinámicas y complejas se desarrollan y recorren el sistema entero, surgen estructuras locales a partir de reglas de actividad local, lo que es un rasgo típico de los sistemas complejos. Langton y Packard plantearon la hipótesis de que el tercer estadio de comunicación elevada es también el mejor lugar para la adaptación y el cambio, y de hecho sería el mejor lugar para proporcionar el mayor número de oportunidades para que el sistema desarrollara estrategias dinámicas de supervivencia. Además sugieren que este estadio atrae a sistemas en evolución. Posteriormente, bautizaron a la fase de transición de este tercer estadio como «la vida al borde del caos».³²

23. WIMSATT, W. (1972). «Complexity and Organisation». En: K. SCHAEFFNER; R. COHEN (editores). *Studies in the Philosophy of Sciences*. Dordrecht, Holanda: Reidel. Págs. 67-86.

24. *Ibid.*, B. Edmonds.

25. *Ibid.*, R.J. Nelson.

26. *Ibid.*, B. Edmonds.

27. *Ibid.*, R. Badii, A. Politi.

28. *Ibid.*, Edmonds.

29. KAUFFMAN, S. (1995). *At Home in the Universe. The Search for Laws of Complexity*. Nueva York: Oxford University Press. Págs. 23-112.

30. LANGTON, C. (1992). «Life at the edge of chaos». En: C. LANGTON [et al.]. *Artificial Life II: Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity*. Reading, MA: Addison-Wesley. Vol. 10, págs. 41-91.

31. WOLFRAM, S. (1986). *Theory and Applications of Cellular Automata*. Singapur: World Scientific Press.

32. *Ibid.*, C. Langton.

5. Aplicación de principios de sistemas complejos a la creación de obras de arte interactivas y generadas por ordenador en internet

Para resumir, podemos ver que aunque hay varias definiciones y ejemplos distintos de sistemas complejos (Kolmogorov-Chaitin-Solomonoff, Hinegardner y Engelberg, Crutchfield, Papadimitriou, Grassberger, Badii y Politi, Pattee, Casti, Heylighen y la perspectiva general y completa de Edmonds), de hecho no existe una teoría de sistemas complejos unificada, ni un «manual» como tal sobre cómo crear sistemas complejos. Por otra parte, los modelos de Kauffman y Langton y Packard sugieren sistemas complejos adaptativos, sistemas en el «borde del caos» en los que los cambios internos pueden describirse siguiendo una distribución de ley potencial. Estos sistemas se encuentran en el punto de máxima aptitud computacional, máxima adecuación y máxima capacidad de evolucionar.

Como ambicionábamos crear una obra compleja e interactiva que pudiera cambiar constantemente, adaptarse y evolucionar cuando los usuarios interactuaran con el sistema, los enfoques de Kauffman³³ y Langton y Packard³⁴ con relación a la complejidad, es decir, los que se centraban en la complejidad evolutiva, nos parecieron los más adecuados para nuestros objetivos.

6. Life Species y Life Species II: modelar complejidad para arte interactivo

Life Species y Life Species II se basan en nuestro objetivo de crear una obra de arte interactiva que muestre algunos de los rasgos de los sistemas complejos.

6.1. Life Species

Life Species fue encargada por el ICC-NTT InterCommunication Museum de Tokio, donde se presentó la primera versión en la primavera de 1997.³⁵ A través de una página web especial de Life Species, gente de todo el mundo podía interactuar con el sistema: los visitantes podían crear su propia criatura artificial tan sólo escribiendo un mensaje de correo y enviándolo a la página web de Life Species (figura 1). Entonces la criatura «nacía» en el entorno tridimensional interactivo de Life Species, en el interior del museo ICC-NTT.

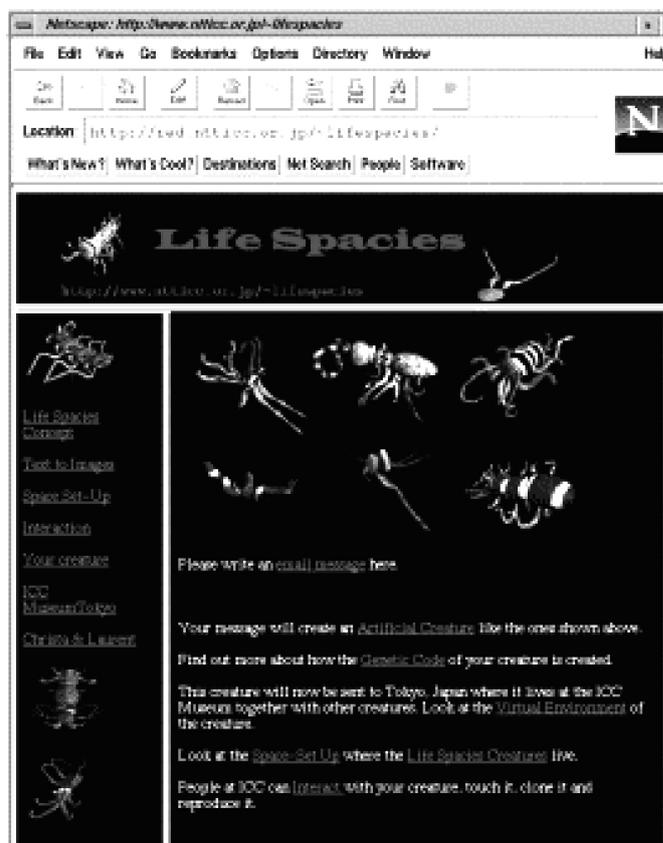


Figura 1. Página web de Life Species

En el museo de Tokio, el sistema interactivo consistía en dos sitios de interacción independientes unidos mediante una línea de datos, lo que permitía a los visitantes en ubicaciones remotas mostrarse e interactuar dentro del mismo espacio virtual tridimensional. Como en la instalación interactiva de telepresencia Time_Lapse, los visitantes del museo se introducían en un complejo mundo de paisajes tridimensionales en pleno desarrollo que reaccionaba ante los movimientos corporales y los gestos de los visitantes, como se muestra en la figura 2.

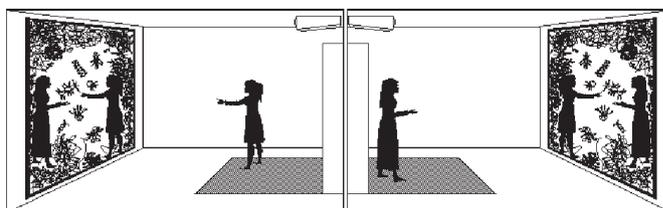


Figura 2. Sistema interactivo Life Species en el museo de Tokio

33. *Ibid.*, S. Kauffman.

34. *Ibid.*, C. Langton.

35. SOMMERER, C.; MIGNONNEAU, L. (1997). «Life Species». En: *ICC Concept Book*. Tokio: NTT-ICC Tokyo. Págs. 96 -101.

Los dos sitios de interacción estaban formados por un suelo blanco de 4 x 2,1 metros situado delante de una caja de luz y una pantalla de proyección de 4 x 3 metros. Como en Time_Lapse, se utilizó una técnica de luminancia para extraer la imagen y el contorno de cada usuario desde el fondo. A continuación estas imágenes se introducían en el entorno tridimensional virtual. Como consecuencia de este proceso de introducción e integración, cada usuario se veía a sí mismo y al otro usuario en tres dimensiones dentro de un mundo de plantas artificiales. Entonces los visitantes del museo podían interactuar los unos con los otros, provocando el crecimiento de plantas tridimensionales a través de sus gestos, y encontrarse con las criaturas tridimensionales procedentes de la página web de Life Species. Cuando los usuarios del museo tocaban una criatura, la interacción provocaba que creara un clon de sí misma. Y si usuarios de uno y otro lado atrapaban a una criatura con las manos, podían hacer que se aparearan y crearan descendencia a través del intercambio genético de los códigos de sus progenitores.

6.1.1. Editor de texto a formas de Life Species

Para diseñar las criaturas, desarrollamos un editor especial de texto a formas que permite traducir el texto escrito de los mensajes de correo entrantes al código genético de una criatura. El editor de texto a formas se basó en la idea de vincular los caracteres y la sintaxis de un texto a parámetros específicos en el diseño de la criatura.

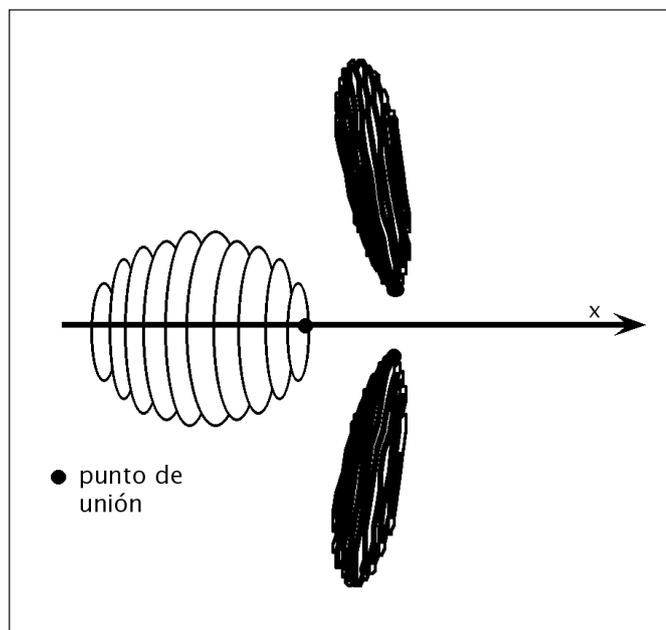


Figura 3. Criatura de Life Species con dos cuerpos y un par de extremidades

El cuerpo de una criatura se compone por defecto de una esfera consistente en 100 vértices, es decir, 10 anillos con 10 vértices cada uno. Todos los vértices pueden modificarse en los ejes X, Y

y Z, de modo que la esfera se estira y crea nuevas figuras. Varias figuras pueden unirse entre ellas siempre y cuando su punto de unión se encuentre en el eje X. Si el punto de unión no es el eje X, se crea una extremidad en vez de una figura del cuerpo. Luego este miembro se copia y pega en una posición simétrica a la original. La figura 3 muestra una criatura con dos esferas por cuerpo y un par de extremidades.

Los parámetros X, Y y Z de cada uno de estos 100 vértices dependen de la secuencia de caracteres del texto: se pueden estirar y escalar, los valores de color y textura en cada cuerpo y extremidad pueden modificarse, se puede alterar el número de figuras corporales y extremidades y crear nuevas ubicaciones para los puntos de unión de cuerpos y extremidades. Dado que cada uno de los parámetros de los vértices es modificable y todos los cuerpos y extremidades también pueden alterarse, se dispone de unas 50 funciones diferentes para diseñar la criatura. Las funciones de diseño se subsumen en una tabla de diseño de funciones (figura 4).

función1	estirar cuerpo/extremidades por defecto en x
función2	estirar cuerpo/extremidades por defecto en y
función3	estirar cuerpo/extremidades por defecto en z
función4	establecer la siguiente función de extensión en global
función5	establecer la siguiente función de extensión en un vértice
función6	establecer la siguiente función de extensión en un anillo
función7	crear una nueva ubicación para un punto de unión
función8	copiar una nueva ubicación para un punto de unión
función9	componer una nueva textura para cuerpo/extremidades
función10	copiar textura de cuerpo/extremidades
función11	cambiar parámetros de ROJO en textura de cuerpo/extremidades
función12	cambiar parámetros de VERDE en textura de cuerpo/extremidades
función13	cambiar parámetros de AZUL en textura de cuerpo/extremidades
función14	cambiar patrones de textura de cuerpo/extremidades
función15	intercambiar posiciones de cuerpos/extremidades
función16	copiar cuerpo/extremidades
función17	crear un nuevo cuerpo/extremidades
función18	añadir o sustituir alguna de las funciones anteriores
función19	aleatorizar los siguientes parámetros
función20	copiar partes de la operación anterior
función21	modificar duración de la vida (24 horas por defecto)
función22	añadir el nuevo parámetro al parámetro previo
función23	ignorar el parámetro actual
función24	ignorar el siguiente parámetro
función25	sustituir el parámetro anterior por un nuevo parámetro
.....
función50	.....

Figura 4. Tabla de diseño de funciones de Life Species

A continuación, para traducir los caracteres del mensaje de texto a estos valores de diseño de funciones, asignamos primero un valor ASCII a cada carácter, para lo cual se sigue la tabla estándar ASCII que se muestra en la figura 5.

33!	34"	35#	36\$	37%	38&	39'	
40(	41)	42*	43+	44,	45-	46.	47/
480	491	502	513	524	535	546	557
568	579	58:	59;	60<	61=	62>	63?
64@	65A	66B	67C	68D	69E	70F	71G
72H	73I	74J	75K	76L	77M	78N	79O
80P	81Q	82R	83S	84T	85U	86V	87W
88X	89Y	90Z	91[	92\	93]	94^	95_
96`	97a	98b	99c	100d	101e	102f	103g
104h	105i	106j	107k	108l	109m	110n	111o
112p	113q	114r	115s	116t	117u	118v	119w
120x	121y	122z	123{	124|	125}	126~	

Figura 5. Tabla ASCII

Cada carácter remite a un número entero. Continuamos asignando este valor a una función aleatoria *rseed*. En nuestro texto de ejemplo de la figura 4, la *T* de *This* posee el valor ASCII 84, así que la función aleatoria de la *T* se convierte en *rseed(84)*. Esta función aleatoria define una secuencia infinita de números aleatorios distribuidos linealmente con una precisión de coma flotante de 4 bytes (los valores flotantes se hallan entre 0,0 y 1,0).

Estos números aleatorios para el primer carácter de la palabra *This* se convertirán en los valores utilizados para los parámetros de modificación en la tabla de diseño de funciones. Hay que destacar que el número aleatorio que empleamos es lo que se denominaría un «pseudoaleatorio», generado por un algoritmo con precisión de 48 bits, lo que significa que, si se vuelve a llamar a la misma función *rseed*, se generará la misma secuencia de números aleatorios distribuidos linealmente. La determinación de las funciones de diseño en la tabla de diseño de funciones que se actualicen realmente dependerá de los caracteres posteriores del texto, en este caso *his*. Luego les asignamos valores ASCII (104 a la *h*, 105 a la *i*, 115 a la *s*), que volverán a proporcionarnos las funciones aleatorias *rseed(104)*, *rseed(105)* y *rseed(115)*.

A continuación estas funciones aleatorias se utilizan para actualizar y modificar las funciones de diseño correspondientes en la tabla de diseño de funciones de consulta, entre la función de diseño 1 y la función 50. Por ejemplo, al multiplicar el primer número aleatorio de *rseed(104)* por 10 obtenemos el número entero que asigna la cantidad de funciones que se actualizarán: de las 50 que hay, las elegidas para actualizarse se decidirán a partir de los siguientes números aleatorios de *rseed(104)* (como disponemos de 50 funciones distintas, los si-

guientes tipos reales se multiplican por 50 para crear números enteros). La figura 5 muestra en detalle cómo funciona la asignación entera de números aleatorios a funciones de diseño. Como se ha mencionado antes, los valores de tipo real para los parámetros de actualización proceden de la función aleatoria del primer carácter de la palabra, *rseed(84)*. Este procedimiento se ilustra íntegramente en la figura 6.

Palabra de ejemplo: <i>This</i>
$T \Rightarrow rseed(84) \Rightarrow \{0,36784, 0,553688, 0,100701, \dots\}$ (valores reales para los parámetros de actualización)
$h \Rightarrow rseed(104) \Rightarrow \{0,52244, 0,67612, 0,90101, \dots\}$ # $0,52244 * 10 \Rightarrow$ obtener número entero 5 \Rightarrow se llama a 5 funciones distintas en la tabla de diseño de funciones
$0,67612 * 50 \Rightarrow$ obtener número entero 33 \Rightarrow la función 33 en la tabla de diseño de funciones se actualizará mediante el valor 0,36784 del primer valor de <i>rseed(84)</i>
$0,90101 * 50 \Rightarrow$ obtener número entero 45 \Rightarrow la función 45 en la tabla del diseño de funciones se actualizará mediante el valor 0,553688 del segundo valor <i>rseed(84)</i> hasta el quinto valor

Figura 6. Ejemplo de asignación de funciones aleatorias y funciones de diseño

Como se ha explicado anteriormente, el «módulo» básico del cuerpo de la criatura es una esfera de color blanco por defecto y sin textura. Cuando se envían mensajes, el texto entrante modifica y «esculpe» este módulo inicial cambiando su forma, tamaño, color, textura, número de cuerpos/extremidades, copiando partes y demás. Dependiendo de la complejidad del texto, el cuerpo y las extremidades de la criatura quedarán cada vez más definidas, moduladas y variadas. Como suele haber mucha variación entre los textos enviados por distintas personas, las criaturas de por sí ya difieren mucho en su

Date: Sun, 01 Nov 1998 13:14:32 +0900
From: Christa Sommerer <christa@mic.atr.co.jp>
To: life@lc.nttcc.or.jp
CC: christa@mic.atr.co.jp
Subject: test creature1
This is a test creature.

Figura 7. Mensaje de correo enviado al entorno Life Species

aspecto, lo que supone una criatura única por autor. La figura 7 muestra un ejemplo de mensaje de correo corto y sencillo enviado a la página web de Life Spacies.

6.1.2. Imagen de la criatura de Life Spacies

Cuando el servidor de Tokio recibió el mensaje, la criatura comenzó a vivir en el entorno virtual, y a cambio el autor del texto recibió una imagen de su criatura. La figura 8 muestra una imagen de la criatura creada mediante el mensaje de texto de la figura 7. Como el mensaje de texto era bastante corto, la criatura correspondiente está formada por un solo cuerpo y un par de extremidades, por lo que se asemeja a la figura por defecto pero tiene extremidades más largas y el cuerpo en forma de corazón.

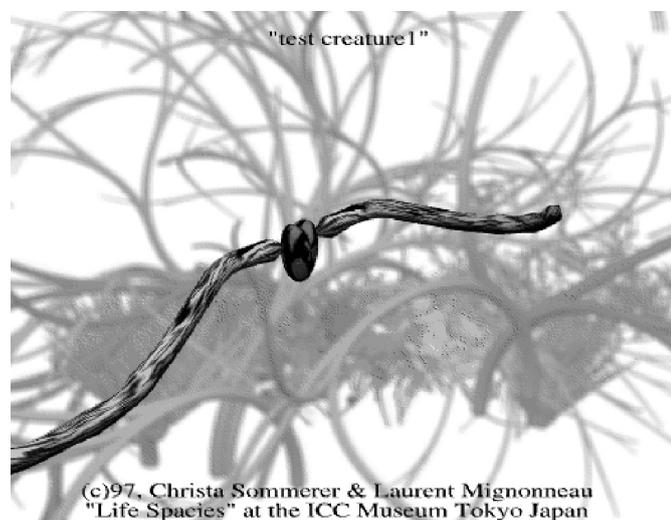


Figura 8. La criatura de Life Spacies creada con el mensaje de correo de la figura 7

6.1.3. Variaciones en el diseño de la criatura

Los mensajes complejos con más caracteres, palabras y sintaxis variada generan criaturas más elaboradas con más figuras corporales,

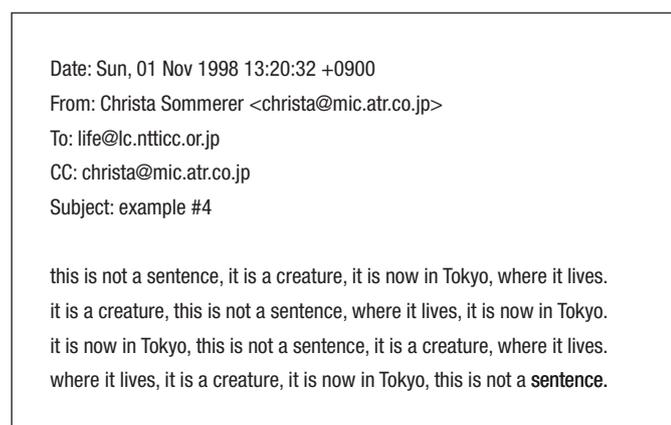


Figura 9. Un mensaje de correo más complejo

extremidades y variaciones de forma, textura, tamaño y color. El mensaje de texto de la figura 9 y la criatura correspondiente de la figura 10 muestran este incremento de la complejidad.

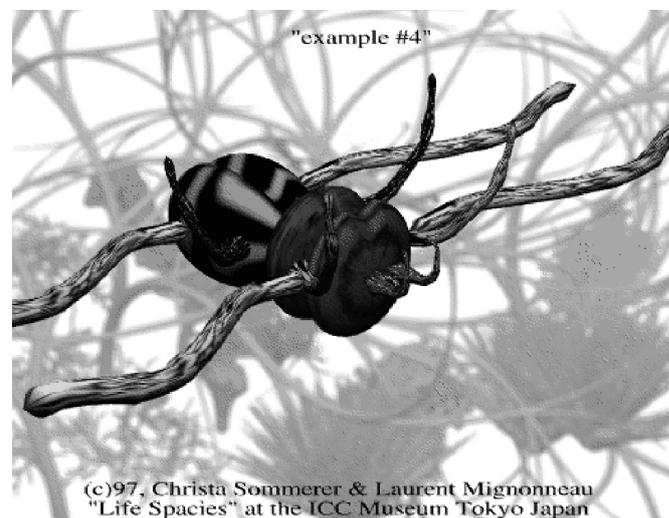


Figura 10. Criatura creada mediante un mensaje de correo más complejo

6.2. Life Spacies II

En 1999 creamos una versión autónoma de Life Spacies que era más transportable y podía mostrarse en exposiciones itinerantes. La integración tridimensional de visitantes en el entorno virtual se omitió en esta versión. El sistema de Life Spacies II presentaba una interfaz gráfica de usuario (GUI) en un ordenador portátil colocado sobre un podio con una pantalla de proyección de 4 x 3 metros.

6.2.1. Life Spacies II – GUI para crear y alimentar criaturas

En Life Spacies II empleamos una GUI para que los usuarios pudieran escribir mensajes de texto desde ubicaciones remotas (figura 11) o directamente en la propia instalación. Como ocurría en Life Spacies, el texto escrito se utilizaba como código genético para crear formas tridimensionales. Cuando se escribe un texto en la ventana izquierda de la GUI, la criatura correspondiente aparece de inmediato en la ventana derecha de la GUI, así como en la gran pantalla de proyección de la instalación.

Además de crear criaturas, los usuarios también pueden «alimentarlas» añadiendo caracteres textuales en la ventana derecha de la GUI. El usuario puede decidir la cantidad y el tipo de texto y dónde desea colocarlo tecleando caracteres textuales concretos en la página web. Las criaturas recogen el texto (o comida), que se muestra simultáneamente en la pantalla de proyección.

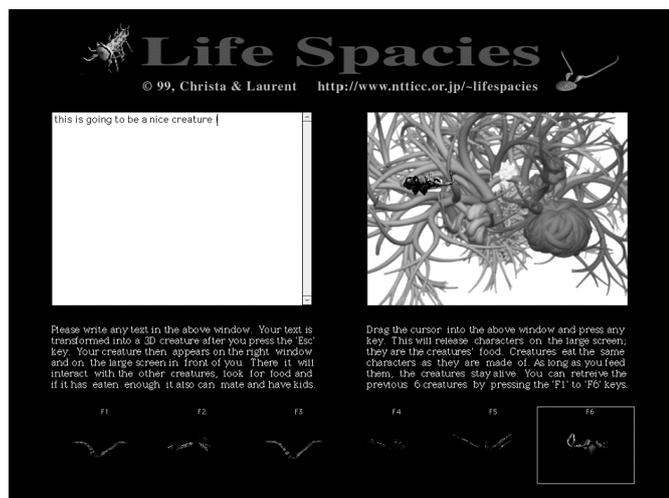


Figura 11. Interfaz gráfica de usuario de Life Species II

6.2.2. Life Species II – Editor de texto a formas

El editor de texto a formas de Life Species II es el mismo de Life Species (véase el apartado 6.1.1).

6.3. Life Species y Life Species II – Comportamiento de las criaturas

6.3.1. Energía y velocidad

El comportamiento de una criatura depende básicamente de dos parámetros: 1) su nivel de energía (E) y b) su velocidad (V) o capacidad para moverse. Mientras que el nivel de energía es un valor que cambia constantemente cuando la criatura se desplaza en su entorno y disminuye al aumentar el movimiento, el valor de la velocidad viene dado por la tipología corporal de la criatura.

Velocidad (V):

- Depende del tamaño del cuerpo y de las extremidades de la criatura.
- Decide la velocidad a la que se mueve la criatura.

Energía (E):

- $E = 1$ en el momento del nacimiento.
- El movimiento reduce E.
- Si $E < 1$, la criatura tiene hambre.
- Si $E > 1$, la criatura puede aparearse.

Figura 12. Parámetros de decisión del comportamiento de la criatura

La que tenga el cuerpo grande y las extremidades pequeñas tenderá a moverse más lentamente que una criatura con el cuerpo pequeño y las extremidades largas. Además, la forma del cuerpo y las extremidades de la criatura influirán en su capacidad para desplazarse. Por otra parte, el valor de la velocidad se establece al crearse la criatura mediante la disposición de los caracteres de texto en su código genético, que se interpreta y traduce a la tabla de diseño de funciones tal y como se explica en el apartado 6.1.1 y en la bibliografía.³⁶

6.3.2. Interacción entre criaturas

La interacción de la criatura con otras criaturas depende de cuánta energía (E) posea en un momento determinado y de la velocidad (V) a la que pueda desplazarse en el entorno. Si, por ejemplo, el nivel de energía de la criatura alcanza un determinado valor $E < 1$, la criatura pasa hambre y quiere comer. Por otra parte, si el nivel de energía asciende a $E > 1$, la criatura quiere aparearse con otras criaturas. Las figuras 12 y 13 muestran esta relación entre niveles de energía y comportamiento en la alimentación y el apareamiento.

Alimentación: Si $E < 1$, la criatura quiere comer caracteres textuales y se come los mismos caracteres de su código genético (la criatura "John" se come: "J", "o", "h", "n").

Apareamiento: Si $E > 1$, la criatura quiere aparearse; si tiene éxito, los progenitores intercambiarán su código genético y puede nacer un bebé criatura.

Figura 13. Parámetros de interacción de criaturas

6.3.3. Alimentación

Una criatura cuyo nivel de energía haya descendido a $E < 1$ pasa «hambre» y desea comer caracteres textuales proporcionados por el usuario a través del editor de entrada textual de Life Species y Life Species II. El tipo de caracteres que aparezcan y cuándo lo harán dependerá solamente de las decisiones del usuario. Las criaturas también prefieren ciertos tipos de comida y sólo comen caracteres textuales que formen parte de su código genético. Por ejemplo, una criatura cuyo código genético es *John* sólo comerá caracteres *J, o, h* y *n*. Al comer caracteres textuales, la criatura acumula más energía y su nivel de energía acaba ascendiendo a $E > 1$. No obstante, puede que la criatura necesite comer unos cuantos caracteres, ya que las criaturas se desplazan enérgicamente cuando buscan caracteres textuales. En general, las criaturas más veloces consiguen atrapar

36. *Ibid.*

la comida con mayor rapidez, pero el usuario puede «ayudar» a las criaturas más lentas colocándoles la comida delante. En este caso, incluso una criatura más lenta puede llegar a conseguir comida suficiente para alcanzar el nivel E>1.

6.3.4. Apareamiento

Cuando una criatura logra acumular energía hasta alcanzar el nivel E>1, se convierte en compañero potencial para el apareamiento. Entonces se pone a buscar a un compañero apto, cuyo nivel de energía también esté por encima de 1: así que los dos progenitores potenciales de la criatura se desplazarán el uno hacia el otro e intentarán chocar. Si tienen éxito, los dos progenitores intercambian su código genético a través de una operación de cruce, como resultado de la cual nace una criatura bebé. Esta cría lleva el código genético de sus progenitores con algunas mutaciones. La figura 14 muestra un ejemplo del proceso de apareamiento.

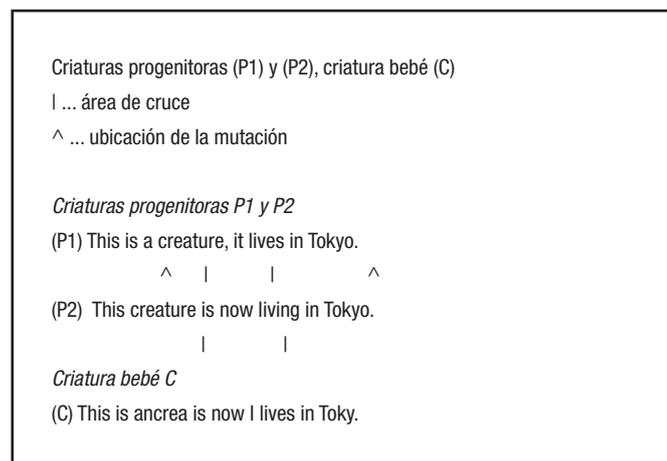


Figura 14. Proceso de apareamiento y nacimiento de la criatura bebé

6.3.5. Crecimiento y muerte

La duración de la vida de una criatura no está predeterminada, sino que se ve influida por cuánto come. A través del alimento la criatura aumenta el tamaño corporal hasta alcanzar un máximo de unas cuatro veces su tamaño original. Por otra parte, una criatura pasará hambre cuando no coma suficientes caracteres textuales y acabará muriendo y hundiéndose en el suelo.

6.4. Life Spacies y Life Spacies II – Evaluación de la complejidad

El movimiento constante, la alimentación, el apareamiento y la reproducción de las criaturas acaban generando un sistema complejo de interacciones que muestra rasgos de evolución artificial. Aunque el parámetro de selección consiste en atrapar la comida rápidamente y así aparearse con mayor frecuencia, los usuarios pueden invertir este proceso «ayudando» a criaturas más lentas a adquirir energía suficiente para poder aparearse también. Las decisiones de los usuarios sobre cómo escribir los mensajes de texto y sobre cómo y dónde alimenten a las criaturas añaden así cambios constantes y crean un sistema que presenta interacciones complejas entre criaturas así como entre usuarios y criaturas. Las criaturas se aparean y alimentan de caracteres textuales. Cuando volvemos a las definiciones de sistemas complejos del apartado 3, vemos que Life Spacies II muestra los siguientes rasgos asociados con sistemas complejos: adaptarse y organizarse, mutar y evolucionar, expandir su diversidad, reaccionar ante los vecinos y el control externo, explorar sus opciones y reproducirse.

7. Conclusiones

Inspirados por la idea de aplicar algunos rasgos de sistemas complejos a obras de arte interactivas complejas y adaptativas, diseñamos los sistemas interactivos Life Spacies y Life Spacies II. Aunque desde mediados de los noventa diversos artistas y diseñadores han creado obras de arte o programas de entretenimiento basados en la vida artificial, la mayoría de estos productos proporcionan a los usuarios criaturas predefinidas o partes de criaturas que los usuarios han de elegir o ensamblar.³⁷ Dado que este tipo de estructuras permiten decidir muy pocos elementos a los usuarios de los sistemas, diseñamos Life Spacies con un sistema más flexible que permite a los usuarios tomar más decisiones en los ámbitos del diseño y la interacción. El texto escrito, aportado al azar por los usuarios del sistema, se utiliza como código genético, y nuestro editor de texto a formas traduce los textos escritos a criaturas autónomas tridimensionales cuyos cuerpos, comportamientos, interacciones y supervivencia se basan exclusivamente en su código genético y en las interacciones de los usuarios. Al interactuar con estos sistemas, los usuarios los vuelven cada vez más complejos y les otorgan rasgos propios de sistemas complejos como variedad y dependencia, irreductibilidad, ruptura de la simetría, adaptación y organización, mutación y evolución, expansión de la diversidad, reacción ante los vecinos y el control externo, exploración de sus opciones y reproducción.

37. GRAND, S.; CLIFF, D.; MALHOTRA, A. (1996). «Creatures: artificial life autonomous software agents for home entertainment». *Millennium Technical Report 9601*. University of Sussex Technical Report CSR434; HURRY, M.; PROPHET, J.; SELLEY, G. (2000). «TechnoSphere». En: *AlifeVII Artificial LifeVII in-house Conference Proceedings*. Portland, OR; VENTRELLA, Jeffrey. «Darwin Pond». <<http://www.ventrella.com/Darwin/darwin.html>>; Life Drop. <<http://www.virtual-worlds.net/lifedrop/>>; Sony Communication Network Corporation. «PostPet email software». <<http://www.sony.com.sg/>>

Agradecimientos

Esta investigación se llevó a cabo en los ATR Media Integration and Communications Research Laboratories de Kioto, Japón. Damos especialmente la gracias a John Casti y Tom Ray por sus continuas y valiosas discusiones al respecto.

Referencias

Una versión más corta de este texto se publicó por primera vez en SOMMERER, Christa; MIGNONNEAU, Laurent (2000). «Modeling Complex Systems for Interactive Art». En: S. HALLOY; T. WILLIAMS (editores). *Applied Complexity - From Neural Nets to Managed Landscapes*. Christchurch, Nueva Zelanda: Institute for Crop & Food Research. Págs. 25-38.

Cita recomendada

SOMMERER, Christa; MIGNONNEAU, Laurent (2009). «Life Spacies y Life Spacies II: modelar sistemas complejos para arte interactivo». 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_sommerer_mignonneau/n9_sommerer_mignonneau>

ISSN 1695-5951

© 1997-1999 Christa Sommerer y Laurent Mignonneau

CV

**Christa Sommerer y Laurent Mignonneau**

Departamento de Culturas de la Interfaz
de la Universidad de Arte y Diseño de Linz
christa.sommerer@ufg.ac.at
laurent.mignonneau@ufg.ac.at



Christa Sommerer y Laurent Mignonneau son una pareja de artistas e investigadores de los medios reconocidos internacionalmente, cuya veintena de obras de arte interactivo puede consultarse en <http://www.interface.ufg.ac.at/christa-laurent>. Estas obras se han mostrado en más de 200 exposiciones y se encuentran en museos y colecciones de medios de todo el mundo, incluido el Van Gogh Museum de Amsterdam, el Museo de Ciencia e Industrias de Tokio, el Media Museum del ZKM en Karlsruhe, la Fondation Cartier de París, el Ars Electronica Center de Linz, el museo NTT-ICC de Tokio, el NTT Plan-Net de Nagoya, el Shiroishi Multimedia Art Center de Shiroishi, la House of Shiseido de Tokio y la fundación Itaú Cultural de São Paulo.

De las obras interactivas de Mignonneau y Sommerer se ha dicho que «marcan un hito» (Toshiharu Itoh, museo NTT-ICC de Tokio) por desarrollar interfaces naturales e intuitivas y porque a menudo aplican principios científicos de vida artificial, complejidad y sistemas interactivos a sus innovadores diseños de interfaces. Han ganado importantes premios internacionales de arte en medios, entre ellos el premio Golden Nica de Arte Interactivo en 1994 (Ars Electronica de Linz).

Mignonneau y Sommerer han escrito sobre vida artificial, complejidad, interactividad y diseño de interfaces y han impartido múltiples charlas y clases en universidades, conferencias internacionales y simposios. Durante diez años han trabajado de investigadores y profesores en los ATR Research Labs de Kioto y en IAMAS en Ogaki (ambos en Japón), y actualmente dirigen el Departamento de Culturas de la Interfaz en la Universidad de Arte y Diseño de Linz, Austria, que se especializa en arte interactivo, medios interactivos y diseño de interfaces. Han publicado varios libros: *Christa Sommerer & Laurent Mignonneau - Interactive Art Research* (2009). G. Stocker, C. Sommerer, L. Mignonneau (editores). Viena/Nueva York: Springer Verlag. ISBN: 978-3-211-99015-5; *The Art and Science of Interface and Interaction Design* (2008). C. Sommerer, L.C. Jain, L. Mignonneau (editores). Springer Verlag, vol. 1, xiv; *Studies in Computational Intelligence*, vol. 141, ISBN: 978-3-540-79869-9; *Interface Cultures - Artistic Aspects of Interaction* (2008). C. Sommerer, L. Mignonneau, D. King (editores). Transcript Verlag, ISBN: 978-3-89942-884-1; *Art @ Science* (1998). C. Sommerer, L. Mignonneau (editores). Viena/Nueva York: Springer Verlag.

www.interface.ufg.ac.at/christa-laurent/



Universitat Oberta
de Catalunya

www.uoc.edu

ARTÍCULO

NODO «ARTE, CULTURA Y CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD»

POEtic-cubes: atención y emergencia. Hardware bioinspirado para instalaciones artísticas

Raquel Paricio y Juan Manuel Moreno

Fecha de presentación: octubre de 2009

Fecha de aceptación: octubre de 2009

Fecha de publicación: diciembre de 2009

Resumen

En este artículo se explica la experiencia obtenida después de elaborar diversos trabajos artísticos en torno al tema de la atención con propuestas de hardware bioinspirado, es decir, con una solución técnica que se basa en robots autónomos cuyo comportamiento mimetiza algunas de las principales características de los seres vivos: la filogénesis, la ontogénesis, la epigénesis y la emergencia. Las premisas iniciales de trabajo se dirigían hacia la creación de entornos que ayudasen a una percepción presente de la que podría derivar una conciencia ampliada. El uso de modelos basados en comportamientos bioinspirados abrió además la puerta a la observación de estos fenómenos en el comportamiento social, especialmente el concepto de *emergencia*, y de ello se deriva una mirada que va de lo individual a lo colectivo, al fenómeno de la organización y su implicación social.

También se analiza el proceso en la instalación artística POEtic-cubes.

Palabras clave

atención, emergencia, bioinspiración, robots autónomos, conciencia

Abstract

This paper presents the experience obtained from creating several art installations that explore the phenomenon of attention using bio-inspired hardware, ie, that involve a technical solution based on autonomous robots whose behaviour imitates certain primary characteristics of living beings: phylogeny, ontogeny, epigenesis and emergence. The initial premises were geared towards creating environments that would foster a present perception that could lead to an extended consciousness. The use of models based on bio-inspired behaviours moreover opened the door to observation of these phenomena in social behaviour, in particular, the concept of

emergence, which gave rise to a gaze that ran from the individual to the collective, that is, to the phenomenon of organisation and its social implications.

The paper also examines the process behind the POEtic-cubes art installation.

Keywords

attention, emergence, bio-inspiration, autonomous robots, consciousness

Introducción

El concepto de *emergencia* fue concebido por biólogos que intentan dar respuesta a la controversia entre fenómenos en los organismos vivos con un patrón estable frente a leyes azarosas que a escala microscópica rigen dichos fenómenos. Por la reciente utilización del término, hay pocos artistas a lo largo de la historia que hayan incluido esta nomenclatura para definir su obra, a excepción, claro está, del arte que se ha producido en las últimas décadas, en el que conceptos de la biología entran a engrosar el vocabulario artístico. Pero más allá del término, está su significado, así que la historia del arte está plagada de desarrollos conceptuales que toman este comportamiento o lo que ello implica. Así, tenemos las declaraciones de Paul Klee,¹ que en sus diarios deja bien claro que de sus observaciones, lo que importa es esa organicidad que le ofrece la naturaleza, que ahí está lo importante; o cualquiera de los dibujos de Leonardo, donde el autor plasma perfectamente una anatomía humana cuyos elementos encadenados forman parte de todo un sistema; o las instantáneas que su ojo capta al dibujar una ola, con la misma precisión con la que un matemático las traduciría en una fórmula. Para el matemático o el físico, esa fórmula explica la misma poesía y comprensión de la naturaleza que para el artista explica la ola. Así que cuando Klee dice que ahí está lo importante, entiendo que quiere decir que es a partir de ese fenómeno que se da en la naturaleza donde todo crece según un orden; es ahí donde podemos empezar a hacernos preguntas que pueden responder a gran parte de los sucesos de nuestra vida cotidiana. Si el artista ha dibujado, modelado, representado una y otra vez esos modelos, no ha sido con otra finalidad que la de investigar y dar explicaciones profundas a los fenómenos que atañen al hombre y a su condición como ser vivo y social dentro de un universo.

Mi trabajo de artista, que cobra forma gracias a las investigaciones que en hardware evolutivo desarrolla Juan Manuel, podría decirse que tiene como base partir del tema de la atención, a la que también se podría denominar *percepción presente* y a crear entornos donde esto sea posible. Relacionar la atención con soluciones emergentes de entrada podría parecer mezclar categorías de

fenómenos diferentes, pero a lo largo del texto se podrá observar como una lleva a la otra. Cada trabajo que planteo es una aventura que me lleva a aprender más sobre esos fenómenos atencionales, a desarrollarlos internamente y a obtener una serie de resultados que puedan plasmarse en una nueva obra. Al mismo tiempo, en algunas piezas la solución tecnológica también ha supuesto un reto nuevo, y se han creado patrones y comportamientos antes inexistentes. El hecho de dedicarme a la atención surge, sobre todo, de mi interés por esclarecer los campos de la conciencia, y la atención es una antesala a ello. Como bien dice María Zambrano,² «la atención es en cierto modo la misma conciencia cuando se despierta», es «un campo de claridad, de iluminación».

1. Atención y emergencia

Hay numerosos estudios sociológicos que muestran cómo la atención ha sido un problema crucial a partir de finales del siglo XIX. Aunque mi propósito de trabajo con la atención se fija más en posibilidades de ampliación de la conciencia y que tratarían más la literatura mística como fuente de conocimiento, no dejan de ser espeluznantes los datos contemporáneos sobre enfermedades a causa de la falta de atención. Tanto es así que incluso han derivado en un preocupante diagnóstico, especialmente en niños, con un grave trastorno de déficit de atención (TDAH), generalmente asociado a otros trastornos como la hiperactividad y la impulsividad. Así, tenemos los colegios llenos de niños a los que les cuesta atender en las clases, a los que se les diagnostica hiperactividad por no poder permanecer en atención prolongada.

Foucault y Walter Benjamin, entre otros, analizando raíces históricas y sus implicaciones en la sociedad, dan cuenta de cómo el control de la atención por parte del poder, sobre todo reflejado en los sistemas de trabajo capitalista, han llevado al individuo a desarrollar una *atención alienada*, una *atención distraída*, creando engranajes sociales en los cuales predomina lo mecánico frente a la libertad de creación mental que ofrecería un verdadero estado de atención libre

1. KLEE, Paul (2001). *Diarios 1898-1918*. Alianza. ISBN: 8420629227

2. ZAMBRANO, María (1970). «Atención y esencia y forma de la atención». En: *Filosofía y Educación*. San Juan (Puerto Rico): Agora editorial. ISBN: 8481601063

y consciente. Jonathan Crary, por su parte, relaciona el fenómeno con lo sucedido en la escena artística y define cómo nuestras vidas hoy en día están «compuestas de retazos de estados inconexos»,³ fruto de una remodelación de la subjetividad humana que en Occidente se viene forjando desde hace más de ciento cincuenta años. Esa falta de atención es la que nos lleva también a ver el mundo de un modo parcelario, sin capacidad de intuir que detrás de cada fenómeno existe una amplia relación de acciones que lo hacen posible. Y eso no sólo sucede en el pensamiento de cada uno de nosotros, sino que llevado a la metodología de investigación científica, son las bases que fundamentan el pensamiento científico *reduccionista*, en el cual se cree que los fenómenos se clarifican cuando se los divide en comportamientos más pequeños, a diferencia de la ciencia que considera que el conocimiento surge por comprender cómo se organiza la naturaleza, pensamiento que apoya el denominado *emergentismo*, aunque ni los propios científicos emergentistas, como los físicos Ilya Prigogine o Robert B. Laughlin, por ejemplo, defensores de este modelo, quieren dejar de practicar modelos reduccionistas, modelo de la ciencia actual. Laughlin dice que «las leyes de la naturaleza que nos interesan surgen de la autoorganización colectiva, y no se necesita conocer sus componentes para entenderlas y aplicarlas»,⁴ al mismo tiempo que cita a P.W. Anderson, quien afirma en su artículo «More is different»⁵ que «la realidad de la vida cotidiana es un fenómeno colectivo, de organización». En la misma dirección, por tanto, podemos comprender que cambiar el punto de vista de lo individual a lo colectivo nos va a aportar una nueva mirada sobre las acciones del ser humano.

El individuo sólo tiene sentido dentro de la parcela limitada de su cuerpo; fuera de él predomina el conjunto. Las sociedades no funcionan por individuos, sino por actos colectivos. Este ha sido el mayor logro del ciberespacio: coordinar acciones complejas a través de actos cooperativos y emergentes, es decir, procedimientos autopoieticos (creación de sí mismo). Evidentemente, este actuar de todos para todos los del conjunto aleja mucho la mente del ser humano de las individualidades. Siempre que se habla de trabajos emergentes humanos, se equipara al trabajo de las hormigas, pero como muy bien afirma Pierre Lévy, hay una gran diferencia, pues la hormiga, que pertenece a una casta sin poder modificar su estado, no evoluciona mentalmente, sólo obedece. «Nosotros podemos disfrutar individualmente de la inteligencia colectiva, que aumenta o modifica nuestra propia inteligencia».⁶

Del mismo modo, el acto colectivo tiene diversos niveles de interés o implicación social hacia un avance. Como muy bien apunta Michael

Serrés, no es lo mismo la coordinación de los espectadores de un partido de fútbol para aplaudir que la coordinación de los jugadores en el campo de juego. En el primer caso, «la capacidad de aprendizaje, imaginación y razonamiento —de la masa— es bastante baja»; sin embargo, los jugadores llevan a cabo unas acciones mucho más complejas, en las que el juego se construye con individualidades coordinadas. En este acto, cada jugador debe estar atento a lo que hace cada uno de los miembros adversarios, a los de su equipo y a la estrategia conjunta (mencionado en Levy). Pero, además, todo gira en torno a un objeto-sujeto al que todos se vinculan para dar sentido a la labor del equipo. Y de este modo, este objeto-sujeto es el que marcará el nivel de transcendencia, complejidad o importancia del acto colectivo, incluso el nivel de inteligencia-consciencia al que el ser humano puede estar abierto. Pues si seguimos con el ejemplo anterior, evidentemente, no es lo mismo ser el espectador de un partido de fútbol que ser el jugador, pero tampoco es lo mismo formar parte de un equipo de fútbol que formar parte de un equipo de personas que, coordinadas mundialmente, participen en la mejora social, económica y cultural del planeta.

Haciendo una síntesis de lo dicho hasta ahora, querría remarcar que utilizo el término *emergencia* y el término *atención* casi como sinónimos; el fenómeno de la *emergencia*, como modo de entender el funcionamiento social que no reduce, sino que amplía la mirada, y la *atención*, como el modo de mirar donde no se trata de un mirar aislado, a veces erróneamente entendido como concentrado, sino de un mirar que lo abarca todo.

En este acto de coordinar acciones conjuntas, y acercándome al modo resolutivo de nuestros trabajos en el campo del arte, es donde entra la tecnología con capacidades distribuidas que, más allá de ser un campo propio de la ingeniería computacional, está claro que sus implicaciones sociales son determinantes.

A continuación describiré una de las recientes instalaciones sobre las que hemos trabajado en los últimos años: POEtic-cubes. La instalación se conforma con comportamientos emergentes y coordinados, que se activan con la presencia de los participantes. Es un experimento que intenta que la persona que interactúa pueda observar su propio cuerpo, aprender de él, su relación con el espacio, sus posibles extensiones y la ampliación sensorial y de sensación física que esta le pueda aportar. El proyecto permite estas posibilidades debido a que al mimetizar «organismos» en constante adaptación, la atención de quien usa la instalación debe estar siempre alerta, no distraída, para poder interactuar. Además, es una atención que se realiza con el cuerpo y especialmente con el cuerpo en movimiento; así es como

3. CRARY, Jonathan; SANFORD, Kwinter (editores) (1996). *Incorporaciones*. Cátedra. ISBN: 84-376-1443-0. Original: *Incorporations*. Urzone, 1992.

4. LAUGHLIN, Robert B. (2005). *A different universe. Reinventing physics from the bottom down*. Basic Books. Edición en español: *Un universo diferente: la reinención de la física en la Edad de la Emergencia*. Buenos Aires: Katz Editores.

5. ANDERSON, P.W. (1972). «More is different». *Science*. Vol. 177, pág. 393.

6. LÉVY, Pierre. *¿Qué es lo virtual?* Paidós. Multimedia 10. ISBN: 84-493-0585-3

Leonardo hacía sus mapas de anatomía, pues es así como la relación entre los diferentes elementos conforma el conocimiento.

2. POEtic-cubes



Figura 1. POEtic-cubes: distribución de los nueve robots en una matriz de tres por tres que forma una célula madre que expresa el color del cubo RGB (el genotipo).

2.1. Descripción

POEtic-cubes es una instalación física, un montaje escultórico compuesto por nueve *robots autónomos* capaces de *autoorganizarse* y de *adaptar* su forma según los estímulos provenientes de su entorno directo.^{7,8,9}

Cada robot tiene algunas de las propiedades de una célula: se dividen, toman el mismo ADN que la célula madre, y la cooperación entre estos elementos, un proceso *emergente*, permite autoorganizar y crear un *organismo* que puede cambiar y evolucionar dependiendo de su interacción con el entorno (en este caso las personas que interaccionan con él).

Los cubos están en una habitación oscura, de modo que cuando la habitación está vacía están agrupados en una matriz de tres por tres, y constituyen una célula. Cuando una persona o un grupo de personas entra en la habitación, los cubos empiezan a moverse y a colocarse ellos mismos alrededor de las personas (manteniendo la misma distancia entre ellos). Por consiguiente, la célula se divide y se diferencia para crear un organismo. Si la persona o el grupo de personas se mueve en una habitación (o incluso si una persona mueve sus brazos) los cubos se mueven y los colores mostrados en las pantallas cambian. De este modo, en esta instalación las personas pueden observar cómo sus acciones determinan el aspecto físico

del organismo (constituido por un conjunto de nueve cubos), esto es, el fenotipo, de modo que se convierte en una clara ilustración del proceso de mapeo de genotipo a fenotipo. Los mecanismos de aprendizaje (epigenéticos) pueden también demostrarse, ya que la reacción de los cubos (o sea, su movimiento) puede modularse dependiendo de las acciones realizadas por las personas. Los cubos también determinan autónomamente el estado de la batería, y cuando detectan un umbral de batería baja se dirigen a un lugar específico de la habitación donde puede cargarse la batería.

La principal diferencia de la instalación POEtic-cubes con respecto a los enfoques previos consiste en el hecho de que estos mecanismos bioinspirados en realidad están aplicados en aparatos de hardware que operan autónomamente.



Figura 2. Los robots detectan a una persona. La célula madre inicia un proceso de mitosis con el fin de formar un organismo. Cada uno de los robots adquiere individualmente el color RGB que expresaba la célula madre (cada célula individual adquiere el mismo genotipo que la célula madre).

2.2. Objetivos: apercepción mediante procesos de emergencia

En la instalación el usuario interactúa con un organismo artificial cuyas propiedades externas están dictadas por los movimientos del cuerpo. Como consecuencia, se presta más atención al entorno, de modo que aumentan los niveles de percepción y apercepción. Aunque los robots sean objetos individuales, sus interacciones generan propiedades emergentes que se reflejan en un organismo artificial cuyo comportamiento global es resultado de esta cooperación. De este modo, la

7. PARICIO, R.; MORENO, J.M. (2007). «A Cooperative Robotic Platform for Adaptive and Immersive Artistic Installations». *Computers & Graphics*. Vol. 31, n.º 6. Elsevier.
8. PARICIO, R.; MORENO, J.M. «Adaptive Methods for the Development of Interaction in Artistic Installations». *Leonardo Electronic Almanac*. Vol. 15, n.º 5.
9. <http://www.evolvable.net/poetic.htm>

instalación permite percibir procesos emergentes adaptativos, como los que aparecen en órganos vivos como consecuencia de la interacción de sus células constituyentes, del mismo modo que un vórtice es en realidad el resultado de la unión de remolinos más pequeños.



Figura 3. Para poder mantener «vivo» el organismo, el usuario deberá atender a la interacción simultánea con todos los robots, cuyo comportamiento será el de rodearlo.



Figura 4. Los robots detectan cuando tienen baja la batería y ellos mismos se dirigen autónomamente al lugar de carga y vuelven a la escena cuando han repuesto la energía.

2.3. Investigación previa: POEtic Tissue

El proyecto POEtic-cubes se resolvió utilizando algunos de los principios tecnológicos utilizados para la resolución del tejido electrónico POEtic Tissue.

El principal objetivo del proyecto POEtic Tissue^{10,11,12} era el desarrollo de un sustrato de hardware capaz de proporcionar capacidades similares a las que están presentes en seres vivos, como la evolución, el desarrollo, la autoreproducción, la autoreparación y el aprendizaje. Uno de los resultados más importantes del proyecto fue un sistema electrónico programable integrado, el chip POEtic, que proporciona las características necesarias para una aplicación física de estos principios. Los chips POEtic podrían combinarse para crear un tejido electrónico cuyo tamaño pueda adaptarse a las necesidades de la aplicación que se manejará.

Como sucede con los seres vivos, en la instalación POEtic-cubes es posible observar un proceso de mapeo de genotipo a fenotipo, de modo que los principios epigenéticos que resulten de la interacción con el entorno mantengan las características observables externas del organismo. A medida que el entorno cambia, lo hace también el organismo. El hardware que guía los elementos que constituyen la instalación tiene en cuenta las limitaciones específicas impuestas por el entorno, de modo que dirigen los cambios en el organismo.

3. Características emergentes de la instalación

En POEtic-cubes la emergencia aparece, por un lado, en la disposición constante de los elementos constitutivos y, por otro lado, en la iluminación global de la escena.

3.1. Disposición de los elementos

Cada uno de los robots o cubos corrige en tiempo real su posición respecto a los dos más contiguos, teniendo siempre como referencia la interacción de las personas. Un robot solo no forma ningún organismo o fenotipo final (entendiendo como *fenotipo* la forma escultórica que surge del conjunto). La emergencia está ahí, en ese modo de conformar una figura o una multitud de figuras gracias a la relación de los cubos y las personas que interactúan con ellos. Es decir, en este caso, el usuario se comporta como si fuese el entorno, al cual el organismo adapta constantemente su forma. De este modo,

10. MORENO, J.M.; THOMA, Y.; SÁNCHEZ, E. [et al.] (2004). «Hardware Realization of a Bio-inspired POEtic Tissue». *Proceedings of the 2004 NASA/DoD Conference on Evolvable Hardware*. Págs. 237-244. Seattle, Washington.
11. MORENO, J.M.; THOMA, Y.; SÁNCHEZ, E. (2005). «POEtic: A Prototyping Platform for Bio-inspired Hardware». En: J.M. Moreno, J. Madrenas, J. Cosp (editores). *Evolvable Systems: From Biology to Hardware. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 3637, págs. 177-187. Springer-Verlag.
12. MORENO, J.M.; THOMA, Y.; SÁNCHEZ, E. [et al.] (2006). «The POEtic Electronic Tissue and its Role in the Emulation of Large-Scale Biologically Inspired Spiking Neural Networks Models». *Complexus*. Vol. 3, n.º 1-3, págs. 32-47.

la interacción de un solo usuario puede controlar y entender todo el proceso emergente del organismo, al tiempo que le requiere un elevado nivel de atención para poder hacerlo, como si de un juego de malabares se tratase y tuviese que estar atento a que ninguna de las pelotas se le cayera. En cambio, cuando la participación es de más usuarios, cada uno intentando coordinarse con un robot, además de atender a sus movimientos y las respuestas del robot, hay que atender a todo el conjunto: robots y el resto de personas interactuantes, pues el resultado de los movimientos es un proceso sistémico.

3.2. Visualización global de la escena luminosa

Toda la gama de colores individuales que adquiere cada robot llega a tener una sincronía cromática totalmente armónica cuando hay una coordinación en el uso de la instalación. Nunca se puede determinar provocar un comportamiento, pues es siempre resultado de una interacción, pero se pueden vislumbrar diferentes momentos lumínicos que demuestran que cada unidad forma parte de un sistema conjunto. Hay momentos de unidad cromática en los que se aprecia el comportamiento emergente de la instalación; a veces son segundos de iluminación total del conjunto, a veces veladuras armonizadas, a veces contrastes y otras veces puntos disonantes que por contraste equilibran y ofrecen una sintonía cromática sorprendente.

Esta representación emergente del color podría hacer eco o tener ciertas similitudes con lo que el color fue para autores que lo trataron a modo de síntesis o como una «inferencia», donde «el color depende de las diferentes partes de una impresión y, por tanto, las diferencias entre colores son diferencias entre armonías de color».¹³

Así, para Seurat, por ejemplo, tal y como lo define Crary y también como Marcel Duchamp supo ver, el uso del color que empieza a repudiar el mito del color puro se convierte en una técnica divisionista «que no permite que exista una sola organización perceptiva del cuadro». Así, se permite «una nueva forma de entender la atención como simultáneamente aglutinadora y desintegradora, incapaz de quedarse fija».

A este respecto, el análisis que Crary define sobre la obra de Seurat —especialmente se centra en «Parade de cirque» (1887-1888)— tendría muchas similitudes con el modo en que el color es tratado en POEtic-cubes. En Seurat, el color se construye. En POEtic-cubes, el color se construye en relación con las leyes de la emergencia. Seurat, que estudió de modo riguroso los efectos que los estímulos visuales producían en estados físicos y psicológicos, ofrecía numerosos puntos de vista en relación con la posición del espectador, es decir, el espectador móvil, pensando en diferentes distancias y examinando una pluralidad de luminosidades a aprehender

por un observador atento; una luminosidad que se puede ordenar en un conjunto heterogéneo y que al mismo tiempo puede romperse, desmembrarse o difundirse en múltiples elementos individuales con características diferentes al conjunto. Así, Seurat se balancea entre la propuesta atomista y el holismo de la Gestalt, y considera que cada una de las dos posturas puede ofrecer diferentes modos de entendimiento. Es decir, se balancea entre esa visión reduccionista y la emergente de las que hablábamos al inicio del texto.

En POEtic-cubes el color debe entenderse, por tanto, como un estado emergente. No se trata de hacer hincapié en fenómenos que ya sucedieron hace más de un siglo respecto a las formas puras en el color y la búsqueda de nuevos lenguajes con este, sino de entender que la continuidad en este campo ha evolucionado hacia un estado emergente, donde la solución es realmente el resultado de un proceso colaborativo y que al mismo tiempo implica una comprensión del fenómeno atencional diferente. Siguiendo con el análisis de Crary, Seurat, del mismo modo que muchos de sus coetáneos, «trataba de forzar los límites y las posibilidades de un observador atento a una información sensorial heterogénea y simultánea. En particular examinó la forma en que una pluralidad irreductible de información luminosa podía ser organizada y percibida de forma coherente, pero también cómo esta podía reconfigurarse y convertirse en algo intercambiable».¹⁴

4. Aportes de la investigación

La propuesta de esta investigación ha aportado los siguientes elementos (que quedan implementados en la instalación POEtic-cubes):

- Realización artificial de un proceso de autoorganización y desarrollo real (principios ontogenéticos, que algunos autores denominan *autopoiesis*): un proceso de adaptación que viene dado por partir de una situación inicial «no diferenciada» que se autoorganice y evolucione a partir de la interacción de las personas, es decir, en relación con el entorno.
- Realización de un proceso de adaptación evolutiva autónoma «realista» utilizando técnicas derivadas de principios evolutivos (mutación y cruce del contenido genético de cada elemento autónomo de la instalación) y de mecanismos de aprendizaje con el objetivo de que la instalación pueda tener un comportamiento global lo más próximo posible al deseado en función de ciertos objetivos preestablecidos.

13. *Ibid.*, Crary.

14. *Ibid.*, Crary.

Conclusiones

El trabajo con POEtic-cubes se inició como un experimento. Al igual que un físico explica los resultados de sus trabajos en base a unos experimentos previos, el trabajo expuesto surge en condiciones muy similares, pero en vez de trabajar con recipientes de agua que se agitan o se calientan para determinar ciertos patrones de comportamiento de la materia (ejemplo posible en física), el proyecto propuesto trabaja con el cuerpo, con su relación con el espacio, con su relación con otras personas y, finalmente, en el sistema social en el que vive. Así, igual que en una colección de partículas de agua, estas individualmente no son nada, la relación entre ellas ofrece alguna cosa. Del mismo modo, podríamos entender que en una organización social el individuo no es nada, sino su relación con el conjunto.¹⁵

Cuando en la interacción de POEtic-cubes todos los cubos pueden ser coordinados por el mismo usuario, este puede comprender la complejidad de la emergencia y sumergirse en un estado atencional presente.

Ahí empecé a aprender que la acción de cada ser humano no puede verse aislada, que no se puede analizar al individuo y sus actos como consecuencia de un fenómeno individual, sino que hay que verlo en un contexto más amplio. Para ello se necesita una mirada que atienda a todo el contexto, una mirada de atención presente e integradora de elementos, una mirada que esclarezca nuevos campos de la conciencia, del mismo modo que la emergencia permite observar el todo y no sólo sus partes constitutivas.

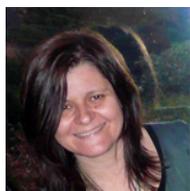
Cita recomendada

PARICIO, Raquel; MORENO, Juan Manuel (2009). «POEtic-cubes: atención y emergencia. Hardware bioinspirado para instalaciones artísticas». 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_paricio_moreno/n9_paricio_moreno>
ISSN 1695-5951



Esta obra está sujeta a la licencia de **Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 3.0 España** de Creative Commons. Puede copiarla, distribuirla y comunicarla públicamente siempre que cite su autor y la revista que la publica (*Artnodes*); no la utilice para fines comerciales y no haga con ella obras derivadas. La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.es>.

15. Ante todo, con estas declaraciones querría que quedase muy claro que no estoy degradando a las personas como seres individuales, nada más alejado de mi intención, sino que trato de elaborar un concepto de la relación social para el cual momentáneamente me sirve más pensar en el conjunto que en el individuo.

CV**Raquel Paricio García**

Investigadora en producción artística

info@evolvable.net

Licenciada en Bellas Artes por la Universidad de Barcelona. Actualmente se dedica a la investigación y a la producción artística. Sus intereses incluyen el estudio de espacios, dispositivos e interfaces que ayudan a ampliar las percepciones. Trabaja con hardware bioinspirado en colaboración con Juan Manuel Moreno (UPC) en instalaciones de vida artificial. Tiene más de veinte publicaciones internacionales, entre las que destacan las de Planetary Collegium (*Consciousness Reframed*); *Technoetic Arts*; *Leonardo on-line*; Institute for Scientific Interchange Foundation; *ACM*; Complex Systems Network of Excellence; *Computer and Graphics* (Elsevier), etc. Ha exhibido sus trabajos en ZKM, LABoral, Transmediale, Mendel Art Gallery, Fundación Tàpies, Museo de Arte contemporáneo de Chicago, Fundación «la Caixa», KRTU, etc.

Ha sido invitada a numerosos congresos internacionales y ha sido presidenta del congreso CAE y coautora del libro *Computational Aesthetics*. Ha recibido premios de producción y subvenciones de VIDA, Fundación Telefónica, Fundación Arte y Derecho, Generalitat de Cataluña, Selección Premio Altadis, Selección Premio MOBIUS, Universidad Pompeu Fabra. www.evolvable.net

CV**Juan Manuel Moreno Aróstegui**

Profesor titular del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica de Cataluña

moreno@aha-dee.upc.edu

Doctor ingeniero en Telecomunicaciones. Actualmente es profesor titular del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica de Cataluña. Ha sido el coordinador del proyecto de investigación europeo POETIC, por medio del cual se ha creado una nueva familia de dispositivos electrónicos con características bioinspiradas.

También ha participado en proyectos de investigación europeos relacionados con dispositivos electrónicos programables (proyecto RECONF 2 y FIPSOC) y con modelos de redes neuronales artificiales (proyecto ELENA). Sus intereses de investigación incluyen técnicas de computación bioinspiradas, arquitecturas de dispositivos programables, modelos de redes neuronales artificiales y diseño microelectrónico analógico-digital. Sobre estos temas tiene más de cien publicaciones.

Universitat Oberta
de Catalunyawww.uoc.edu

<http://artnodes.uoc.edu>

ARTÍCULO

NODO «ARTE, CULTURA Y CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD»

Metodologías artísticas en la ecología de los medios

Matthew Fuller

Fecha de presentación: octubre de 2009

Fecha de aceptación: octubre de 2009

Fecha de publicación: diciembre de 2009

Resumen

El arte ha dejado de ser sólo arte. Sus métodos se recapitulan, se filtran y se vuelven indomables en combinación con otras formas de vida. Las metodologías artísticas articulan la capacidad del arte para representar un proceso vivo en el mundo, lanzando partículas sensoriales y otras conjunciones a través de formas y combinaciones que renuevan su poder de alteración y de visión. Las metodologías artísticas constituyen distintas formas de percibir, hacer y comprender generadas en el arte que hoy circulan de un modo más fortuito, y quizá menos sistemático, y exigen una nueva forma de comprensión para poder ser plasmadas y desarrolladas. Las metodologías artísticas son entidades culturales, encarnadas en el lenguaje, los textos, los sonidos, los comportamientos y los modos de conexión entre elementos que comparten, desarrollan e influyen la capacidad de alteración del arte, así como la voracidad multiescalar de la percepción.

Palabras clave

metodología artística, ecología de los medios

Abstract

Art is no longer only art. Its methods are recapitulated, ooze out and become feral in combination with other life forms. Art methodologies convey art's capacity to enact a live process in the world, launching sensorial particles and other conjunctions in ways and combinations that renew their powers of disturbance and vision. Art methodologies are a range of ways of sensing, doing and knowing that were generated in art and now circulate more haphazardly, less systematically, requiring a renewed form of understanding to be traced and developed. Art methodologies are cultural entities, embodied in speech, texts, sounds, behaviours and the modes of connection between things, that share, develop and work on art's capacity to disturb and the multi-scalar engorgement of perception.

Keywords

art methodology, media ecology

El arte ha dejado de ser sólo arte. Sus métodos se recapitulan, se filtran y se vuelven indomables en combinación con otras formas de vida. Las metodologías artísticas articulan la capacidad del arte para representar un proceso vivo en el mundo, lanzando partículas sensoriales y otras conjunciones a través de formas y combinaciones que renuevan su poder de alteración y de visión. Las metodologías artísticas constituyen distintas formas de percibir, hacer y comprender generadas en el arte que hoy circulan de un modo más fortuito, y quizá menos sistemático, y exigen una nueva forma de comprensión para poder ser plasmadas y desarrolladas. Las metodologías artísticas son entidades culturales, encarnadas en el lenguaje, los textos, los sonidos, los comportamientos y los modos de conexión entre elementos que comparten, desarrollan e influyen la capacidad de alteración del arte, así como la voracidad multiescalar de la percepción.

A medida que proliferan los sistemas artísticos, algunas veces comprimiéndose en puntos magníficamente condensados, otras desplegándose en torrentes de vida y obra, las metodologías artísticas van y vienen en un trasiego continuo de las entidades de sistemas artísticos a otros ámbitos con cierto grado de libertad, confrontación y restricciones escénicas. La generación y circulación de metodologías artísticas no apela a una formación del arte como un sistema conservador que sólo encumbra a unos pocos y selectos elegidos a lo más alto de una pirámide edificada sobre las obras mutiladas de muchos otros artistas —el paradigma clásico—, sino a un sistema que condensa y expele momentos de relacionalidad. Y esto ocurre sin una necesaria conexión con entidades previamente identificadas, como autor, pieza, proyecto, titular, artista, procedencia.

Las metodologías artísticas circulan, ganan tracción, cambian, dejan de existir, entre una floculación más general de ideas, estilos y modos de inflexión. La actual difusión permite que las metodologías artísticas surjan de improviso, incluso sin reconocerse a sí mismas como arte, posiblemente ni tan siquiera teniendo esta filiación en sentido genealógico, pero conectándose a la misma a través de otra vía filogenética o de un desplazamiento para el que la mera idea de este tipo de seguimiento resulta ridícula. Esta forma de entender las metodologías artísticas radica en una comprensión de las culturas como procesos vivos, incluyendo la estabilidad y la diversificación que aglutinan vectores de circulación, candentes, distantes y entremezclados, impulsados por la invención y la mutación, que actúan como zonas pulsionales para la circulación y la invocación de signos y dinámicas. Es decir, las metodologías artísticas —si existen a esta escala— pueden ser un estímulo para las culturas o bien quedar succionadas en su estela.

Las culturas, mezcladas con las ecologías de los medios y atraídas por ellas, actúan como transmisoras de calor, materia e

inteligencia y proporcionan de inmediato los métodos adecuados, cada uno a su propio ritmo, para la mezcla y la conservación de modos y la transmisión multiescalar de efectos y dinámicas potencialmente mutacionales, que entremezclan, bloquean y replican dimensiones de relacionalidad, congelándose como acontecimientos, entidades mediales y procesos de subjetivación. Existen efectivamente, según el significado de la definición clásica de medios, como sistemas de almacenaje, procesamiento y distribución de materia cultural, pero también se transmiten fuera de ellos.

Contexto

Disponer de cierto contexto resulta útil para describir este cambio. Un aspecto podría ser simplemente la masificación de la enseñanza artística que ha tenido lugar en algunas partes del mundo desde mediados del siglo xx. Tomando como ejemplo las Islas Británicas, si asumimos que la mayoría de los licenciados en escuelas de arte desde los años sesenta aún están vivos, resulta que hay varias decenas de miles de personas con algún tipo de formación artística. Evidentemente no todos son hoy artistas o diseñadores reconocidos por el sistema del arte. ¿Qué ocurre entonces con las ideas, las formas de ver el mundo y de hacer cosas que posibilita y determina el arte? No me interesa describir aquí las llamadas *competencias transferibles*, sino más bien exponer de qué forma las acreencias de reflejos culturales y los modos de intensificación que se desplazan por la población, a escala microscópica o de mayor tamaño, inventan sus propios medios de circulación, mutación y alianza.¹

Otro elemento a tener en cuenta es el contexto del arte como cultura popular. Un aspecto sería la celebrización más sistemática del arte, mientras que otro caso, quizá más interesante, sería la serie de televisión *Jackass*, que mezcla con precisión el final traumático del arte corporal (por ejemplo, el de Chris Burden) con la cultura *skate* y el ritmo temporal de la comedia de televisión. Un ejemplo más simple, la migración de las metodologías artísticas a la música pop, está razonablemente bien representado y, curiosamente, sigue siendo un ámbito serio de discusión, aunque para explicar el fenómeno es preciso algo más que reconocer el traspaso de la representación de ideas y medios de un ámbito cultural relativamente estable a otro. Lo que aquí se describe como una posible dinámica contextualizadora, quizá se entienda mejor también como síntoma.

Igualmente, la circulación de metodologías artísticas puede entenderse como una forma de interceptar y alimentar una reflexión más general, una autoobservación entretrejida en las acciones del sujeto. Aquí la entidad que funciona como sujeto puede abarcar desde un

1. *Competencias transferibles* es un término especializado de la auditoría educativa para definir lo que se aprende haciendo algo que también puede usarse para otra actividad. Por ejemplo, si puedes acercarte a la fotocopadora, también puedes acercarte a la librería.

proceso de producción, hasta el movimiento de una danza con su estabilidad y variación, el repertorio de una subcultura erótica de tamaño escalable del subindividuo a la masificación, un corpus nacional de autovigilancia cibernética o un programa de *fitness* individual. Las entidades y los modos estéticamente cargados se desplazan por formaciones sociales y comunicativas, ofreciendo muchos otros tipos de entidad y dinámica con su propia métrica y justificación.²

De este modo, la idea de las metodologías artísticas es demasiado frágil, o su radio de acción demasiado limitado, para ajustarse a las ambiciones totalizadoras de los movimientos que exigen la completa subsunción de la vida cotidiana en el arte, caracterizada, entre otros, por la Internacional Situacionista de la última época. Lo que aquí se describe no es una oferta de absorción clásica sino un cambio y una apertura de la matriz permutacional de influencias y posibilidades entre ámbitos entrecruzados, el registro de una aparente torsión en la dinámica cultural que desata la expresividad de la insubordinación.³

En efecto, la proliferación de metodologías artísticas y su inclusión en otras formas de vida no puede simplemente considerarse buena, democrática, habilitante o humana tal como se supone que todo ha de disfrazarse hoy de participación; ni tampoco como algo meramente opresivo, alegre y cristiano a la manera del «don't worry be happy» del spinozismo. Las metodologías artísticas comparten parte de la cuestión más amplia del conocimiento derivada de su aportación a la maldición apuntada por Paul Rabinow cuando, al referirse al «problema antropológico», afirma que «*anthropos* es aquel ser que padece demasiados *logo*» (Rabinow, 2003, pág. 6) (Esto sirve para situar la conciencia excedente como una condición fundacional, no como un exceso calculable representado como forma emancipadora o compensadora de la posición social.) El arte es un medio de alienación, una preciada fuente de automutilación. *Anthropos* es un residuo y un artífice de las fuerzas evolutivas, y el hombre es una de sus subcategorías. El hombre es un animal patológico (Nietzsche), un animal enfermo (Burroughs), una plaga (Margulis), un ser atravesado, usado como nutritivo absceso de pus proteico o como caldo de cultivo para muchas otras enfermedades, entre las que, por su virulencia, destacan el lenguaje y la cultura. Hablar de metodologías artísticas exige una forma de reconocer a la cultura que está más allá del hombre. Deberíamos estar atentos a sus capacidades y a sus rasgos particulares sin quedarnos adheridos a su piel.

En sus ensayos sobre Spinoza, Gilles Deleuze presta especial atención al término *método* (Deleuze, 1988; Deleuze, 1992). *Método* es el modo en que Spinoza fabrica una máquina capaz de viajar por todo el Universo, susceptible a su vez de escarbar y difundir realidades

escalares microcósmicas, que así pueden ser componibles, alienables del sentido común, y adentrarse en el ámbito de la geometría y del amor. Los métodos son procedimientos, regímenes, artimañas sobre el sujeto, que nos permiten ir más allá de la percepción diaria y del predominio del lugar común.

¿*Qué es la filosofía?* expande el vocabulario del método describiendo las tres modalidades, variaciones, variables y variedades que generan los tres planos del libro, o «hijas del caos», la filosofía, la ciencia y el arte, cuando penetran, cada una a su manera, en los arcos de la vida, del caos (Deleuze, 1994, pág. 208). El énfasis de Deleuze y Guattari en la percepción sensual del arte es inmensamente productivo como parámetro de una excelente matriz especulativa, pero deja de lado muchos otros tipos de dinámica que afectan tanto a la práctica artística contemporánea como, en el contexto de este texto, a las metodologías artísticas que la atraviesan, en paralelo o a distancia. Sin embargo, la obra de Deleuze y Guattari ofrece recursos útiles para describir las metodologías artísticas dentro y fuera de los sistemas del arte.

Son precisamente variaciones lo que elabora Eric Alliez en su sorprendente comentario sobre ¿*Qué es la filosofía?*. Son una multiplicación de resonancias en el sí de un ámbito conceptual en evolución: del mismo modo que el culturista se desgarrar el músculo para aumentar la densidad y capacidad del tejido, multiplicando algunas fibras, intensificando la capacidad de otras, la filosofía desgarrar el pensamiento, nutriéndolo y anticipándolo, alimentándose de su crecimiento.⁴ Las variables son entidades reconocibles por ser independientemente significativas dada la construcción y adopción de un sistema de perspectiva científica particular. Ralentizar un sonido para representarlo gráficamente en forma de onda; diseñar un instrumento con sensores para que responda a ciertas partículas; o recortar o ampliar la longitud de una extremidad o de una cola para emparejar estas variables con otras, como la forma de andar o la selección de pareja. Estas variables siempre se derivan de un contexto gestacional más rudimentario. Sintonizando, aunque no necesariamente concordando, con figuras como Brouwer y Poincaré, Deleuze y Guattari amplían las formulaciones matemáticas clásicas del intuicionismo. Las variedades, producidas en el Arte, son dimensiones que emanan de una intersección del arte al atravesar la fecunda turbulencia de la vida que autonomiza parcialmente la sensación como un proceso del ser, y a través de esta autonomización, permite su retorno al mundo con mayor ferocidad y pasión.

En ¿*Qué es la filosofía?*, la forma de entender el arte de Deleuze y Guattari no aborda aquellas prácticas artísticas que no sitúan a la

2. Scott Lash y John Urry observan de modo parecido que en una época en que «la reflexividad estética llega a dominar los procesos sociales» (pág. 54), existe una distribución más amplia y «democrática» (pág. 50) de sistemas simbólicos, lo que permite a varios observadores sugerir que «la postmodernidad es, en efecto, la generalización de la modernidad estética no sólo a una élite sino a toda la población» (pág. 133).

3. Véase también Fuller, 2006.

4. Véase también Antic y Fuller, 2006.

percepción como principal objetivo o modalidad, o de hecho, como un modalidad en la que puedan ser adecuadamente experimentadas o comprendidas. Las interpretaciones del arte basadas en la primacía o el afecto pueden acabar sofocando otro tipo de dinámicas que pudieran estar presentes, o ser activas y productivas.⁵ Con el predominio de una categoría interpretativa, la confrontación del arte con la tecnicidad u otras formas del intelecto corren igualmente el riesgo de quedar ensombrecidas. Sin embargo, a pesar del limitado alcance de la figuración del arte de Deleuze y Guattari en *¿Qué es la filosofía?*, lo que sí que ofrece es una forma lúcida de pensar en las ideas y las prácticas como elementos dinámicos de sistemas múltiples.⁶ El arte proporciona un pararrayos a las sensaciones, una disciplina para encontrar los medios para que la sensación pueda asociarse a una forma múltiple de materialidad, la de la obra, pintura o escultura, aunque es también algo más.⁷ Deleuze establece algo parecido en sus anteriores y extensas reflexiones sobre las interacciones de la sensación y su inherencia respecto a la lógica o a las figuraciones matemáticas: la sensación nunca es algo sencillo y sin consecuencias (Deleuze, 1990; Deleuze, 1994). Cuando el último libro de ambos autores aborda las afiliaciones y resonancias del arte con la ecología y el *oikos*, en el capítulo «Percepto, afecto y concepto», el centro de la gravedad del análisis deviene demasiado múltiple para dejar anclada la percepción como principio dominante del arte, abriendo un universo de dinámicas para hacer sentir sus capacidades. La sensación, asociada a su resonancia en el espacio, en la capacidad de los comportamientos, y a las factibilidades físicas, deviene melódica, algo que se construye a partir de la interacción entre objetos y que los crea como objetos. Dada una comprensión ecológica del arte, la idea del arte como único proveedor del trabajo dividido de la percepción se queda a medio camino.⁸ En efecto, si el arte empieza con el animal, con el acoplamiento coevolutivo entre organismo y lugar, este tipo de acoplamiento también exige algo más que una explicación vívida, jubilosa y sutil sobre la acometida y la maldición interfibrilar de la naturaleza. El reconocimiento de la sensación por la sensación genera inteligencia, la propia melodía instiga la búsqueda de pautas, y cobra vida la reflexividad. En última instancia, la propia trayectoria del libro da paso a un reconocimiento de los tipos de indiscernibilidad a los que dan origen los tres arcos del libro: el arte, la ciencia y la filosofía. Desde esta posición aventajada, es posible entender que

el seguimiento de estos tres arcos irreductibles se lleva a cabo de forma extremadamente exigente, a fin de unir lo inconmensurable y tejer un muaré a partir de su nítida geometría. Las tres hijas del caos son en sí mismas tanto un resultado de la melodía que se crea entre ellas como los seres que cobran vida a través de estos ámbitos y los hacen realidad.

Tras el emparejamiento de arte y ecología (en «Percepto, afecto y concepto»), lo que adquiere importancia es el emparejamiento de la sensación y la composición que se genera en el plano estético. El terreno de lo que podría ser el arte, en la reelaboración que llevan a cabo Deleuze y Guattari, se expande hasta cierto punto, por impulso de la vivacidad de una frase o de una figuración del mundo, «Devenimos universos» (Deleuze, 1994, pág. 169).

Sin embargo, antes de que se convierta en una cuestión de estilo, entre la capacidad de variación del arte, su capacidad de manufacturar compuestos de sensación, se distinguen grandes tipos, variedades de la variación: la vibración; el abrazo o el cuerpo a cuerpo; y el repliegue, la división y la distensión. Estas variedades marcan fuerzas espaciales y sensuales de disposición, la distribución fluctuante de la proximidad que proporciona un instante de puro tránsito, o un resoplido, una pausa, un escalofrío que abre el pensamiento y la serenidad o el apretón que envía descargas de un elemento compositivo a otro (Deleuze, 1994, pág. 168). Estas figuras aparecen también en un momento posterior. Las revoluciones no sólo ocurren como una serie identificable de acontecimientos políticos, ni tampoco necesariamente en su desenlace estructural o psíquico, sino que residen en las vibraciones, los abrazos y las aperturas que se produjeron en el momento de su gestación (Deleuze, 1994, pág. 177). En las revoluciones a cualquier escala, los devenires se apilan en forma de túmulo para poder encontrar las marcas de los demás. (¿Podría decirse que las revoluciones, como las entidades artísticas, incluyen bloques persistentes de sensaciones que son prematuras? ¿La intensidad de un sagrado rugidor orgiástico con el estilo de vida de Abiezer Coppe supera siempre la traición de un Cromwell?) Lo que queda claro es que, en cuanto a la variación atribuida al arte, estas capacidades se recapitulan, se transponen a otras formas de vida: murmurando, quebrando y conjugando en la composición. Esta tipología, esta gramática de conjunción, diferenciación y resonancia atraviesa distintas obras, distintos corpus y disciplinas, y va más

-
5. En los recientes estudios teóricos se dan una serie de ejemplos en los que la renovada respetabilidad que merece relegar el arte simplemente al dominio del afecto también se convierte en un medio aceptable de negarse efectivamente a reconocer la compleja política de las obras que, de hecho, podrían incorporar el afecto como devenires, pero que a la vez los multiplican, creando sus propios devenires del devenir, asociados a otras dimensiones de la relacionalidad, sin quedar reducidas a las mismas.
 6. La suya es una figuración que históricamente se desplaza sin dirección fija, importante en el sentido que libera el poder de la no-adequación al tiempo, del rechazo a la rigidez de colocar una cosa detrás de la otra. En efecto, el arte, como un sistema de medios que incluye la función de almacenamiento, «preserva» (Deleuze, 1994, pág. 163) y forma barricadas de perceptos y afectos contra el tiempo, o constelaciones que se filtran a través de los mismos, estableciendo una reserva que se sitúa fuera del tiempo, o más precisamente, en un tiempo conscientemente eventual (de acontecimientos).
 7. Deleuze formula de forma brillante este planteamiento en su libro sobre Bacon (Deleuze, 2003).
 8. Para un estudio relacionado sobre arte y ecología, véase Fuller, 2008.

allá de ciertas formas de vida. Siguiendo esta trayectoria extrínseca de las vibraciones, los abrazos y las aperturas es posible dar una idea rápida del alcance de otras metodologías artísticas. No quiero presentar un bestiario completo, sino sólo distinguir algunos tipos observables:

Memética de segundo orden. La memética tiene que ver con la identificación de unidades coherentes de cultura (a escalas que van desde los fonemas hasta la religión) y con la dinámica con la que mutan o se conservan. Utiliza herramientas de la teoría evolutiva para diseñar indicadores que den cuenta de la longevidad, la fecundidad y la variabilidad de estos elementos culturales. La memética de segundo orden se complementa con la perspectiva obtenida por el reconocimiento del observador. La memética de segundo orden se lleva a cabo en directo, como algo susceptible de ser sometido en sí mismo al análisis memético pero que también supedita la «frialdad» del análisis a la torsión de inherencia múltiple en aquellos procesos culturales que reconoce huidizos, mutacionales e indómitos.

Dilatación perceptiva. Las metodologías artísticas son sensuales pero también actúan sobre el material sensible. Las sensaciones obstruyen los conductos de pensamiento. Las superficies y cavidades nerviosas están sujetas al engrosamiento y al raspado, transpiran, evocan lenguas, la carnalidad se revela en el acto, un mazazo inmediato atestado en todo el cuerpo, pero también se ralentizan, se distienden, se alargan hasta puntos que sobrepasan su capacidad de aguante sin necesidad de agregarse a ellas. Tanto si son austeras como musculares y líquidas, hipertróficas y desquiciadas, estas metodologías artísticas, como el amor, generan campos extendidos de carnalidad que opera a distintas escalas y registros de la materia.

Lo no disponible. Las metodologías artísticas no están necesariamente «disponibles». El arte combina una accesibilidad transversal con una torpeza universal: una capacidad para conseguir que ocurra algo, sin el impedimento o la mano orientadora del prerrequisito técnico o el utillaje y la formación adecuada. El angelical punkismo del arte es extraño y voraz, insistiendo en el poder de liberar su refinada y curiosa ignorancia en aquellos lugares donde el conocimiento está bien custodiado, expandiendo su sistema nervioso para atrapar las ondulaciones de soles desconocidos. Las herramientas y las dinámicas estéticas se abren a objetos y procesos no estandarizados. Si la filosofía es una metadisciplina, las metodologías artísticas inauguran el espacio de una metaantidisciplina truncada, trémula y brillante.

Tiempos de producción. El arte se somete a análisis en la vida real, tanto a tiempo real como en el tiempo propio del arte —una dimensión temporal en la que se establece un diálogo con «lo que ya no es posible» y a la vez con «lo que aún está por hacer», recurriendo a objetos, tradiciones, ideas y residuos distribuidos— sumergiéndose en el tiempo y emergiendo del tiempo. Esta clase de tiempo también tiene que ver con la densidad experiencial de la carnalidad. El arte escenifica la ocurrencia de las cosas, su revelación o tangibilidad, de un modo que se resiste a su fácil capacidad de darse a conocer.

Es decir, el arte insiste en escenificar una relación con el tiempo que incluye la simultaneidad, potencialmente mantenida hasta la saciedad, de todos los estadios de anticipación, demora y conocimiento.

Introducir una cosa en otra. Los circuitos y procedimientos estéticos, de un reflejo neuronal instantáneo a un método, de una cierta mirada a un dispositivo concreto, se establecen como entidades y dinámicas escalares en la dinámica composicional de la vida. Determinan un ámbito al que referirse, parches de colores, movimientos repetidos, atención a ciertos flujos de información, la idiosincrasia de una técnica o de un conjunto óptico, formando habituaciones o modelos. Así, en la transposición de estas dinámicas, puede entreverse un conglomerado de mitologías artísticas, donde el desplazamiento de referencia se convierte en un desplazamiento de procesamiento y modulación. «Introducir una cosa en otra» rechaza la representación trivial y arbitraria de algunas artes electrónicas o multimedia, que la simplicidad de los medios digitales ha convertido en casi inevitable. En cambio, se asocia con precisión a la política de análisis estructural y a los universos de sensaciones en transformación.

Si aceptamos que dichos indicadores se orientan al reconocimiento de metodologías artísticas en estado natural, puede deducirse que esta propuesta no pretende establecer una posible hermenéutica en la que pueda reconocerse que cierta frase, gesto, marca o aliento proporciona un espacio de articulación para, digamos, los momentos de no-pensamiento intensivo que el expresionismo abstracto pretendía encarnar físicamente; la rápida e irónica percepción de figuras cuya recomposición en dibujos capaces de ser reproducidos en serie pretendía clavar una navaja en los intestinos de una sociedad tan rancia como uno mismo, tipificada por, digamos, George Grosz. Estas precipitaciones artísticas tienen lugar de forma clara y son valiosas y productivas, pero no pretendo analizarlas de forma prioritaria, en parte, porque no tienen una necesidad inherente de darse «en primer lugar» en el arte. Sería más interesante examinar también los isomorfismos de los métodos artísticos que tienen lugar *ex natura*.

Dentro y fuera del arte

Una de las formas en la que es útil plantear esta cuestión es asociándola a la puesta en circulación o la creación de una frontera entre el arte y el no-arte. Es un terreno resbaladizo, con oscilaciones que algunas veces generan un vaivén de interferencias tan rápidas que resultan indiscernibles, fracturadas o irrelevantes, y otras un rígido tictac y un reparto de funciones en las que parece que lo único que cuenta es el proceso y los mecanismos de demarcación. Estos regímenes, que establecen rutinas de búsqueda de modelos o aclaran elementos que contienen sustancias por encima de cierto umbral, fueron los que proporcionaron un punto de referencia clave al artista y agudo teórico del arte Alan Kaprow. El ensayo *¿Qué es la filosofía?* de Deleuze y Guattari concluye afirmando que el arte siempre depende

del no-arte o incluso es inherente al mismo. Aunque la batería de referencias escalares de Kaprow es otra, uno de los polos esenciales de actividad de su colección de ensayos y otros textos, *The Blurring of Art and Life*, es precisamente esta fluctuante negociación entre el arte y el no-arte.

Comparemos los siguientes ejemplos de muestra: en el ensayo *Experimental Art* de 1966 Kaprow afirma: «Esta aceptación del arte, no importa en qué momento se produzca, es, desde mi punto de vista, el principal objetivo» (de las acciones experimentales) (Kaprow, 1993, pág. 77). Y en el *Manifiesto* del mismo año: «La tarea del artista es evitar hacer arte de cualquier tipo» (Kaprow, 1993, pág. 81). No tiene interés utilizar estas afirmaciones para postular una posible incoherencia en la obra de Kaprow. Lo que resulta interesante es los medios por los que se establece y se pone en circulación esta tensión, a través de un balanceo entre el arte y el no-arte. Lo que persigue Kaprow en ambos textos y en otros, cada uno de los cuales sigue distintas trayectorias o apuestas en el juego de fuerzas experimentales, es poner en movimiento una condición en la que la vida, o la experiencia, puedan realizarse. En efecto, «El arte experimental puede ser la introducción a una forma adecuada de vivir, y tras esta introducción, el arte puede dejarse de lado para dar paso a lo que realmente importa» (Kaprow, 1993, pág. 225). Este vaivén continuo en la frontera del arte y el no-arte entrelaza ambos terrenos sin preocuparse por la primacía de uno u otro, sin tener en cuenta si uno se somete o se infiltra en el otro, sino deleitándose en el juego de fuerzas, codificaciones y tensiones que permite su interacción.

Si una trayectoria del arte es que se libera primero de Dios, luego de la naturaleza y más tarde de la imposición de la retina, también es cierto que aprovecha estas oportunidades para experimentar con la apertura de vacíos y articulaciones dentro y desde el arte en sí mismo. En el terreno artístico, existen hoy múltiples mundos o universos de referencia que no se reducen ni pueden reducirse a un único conjunto de términos, dinámicas, infraestructuras y sistemas artísticos. No hay, sin embargo, ningún indicio que pueda hacernos pensar que sean interesantes de por sí. Lo importante es que actualmente existe un disenso fundamental sobre lo que es el arte, dónde se localiza, quién lo activa, y de qué forma se articulan sus discursos. Por ejemplo, en el Reino Unido existe un sistema artístico dedicado a la colaboración entre arte y ciencia que está casi enteramente financiado por una fundación de relaciones públicas biomédicas; o, en el norte de Europa, se han creado una serie de instituciones contraculturales dedicadas al arte electrónico, un género que casi no se acepta en otros ámbitos artísticos; hay sectores artísticos comerciales que son incapaces de reconocer o incluso intuir cualquier cosa que vaya más allá de la finalidad de su sistema nervioso siempre en involución; y hay una gran cantidad de recursos esperanzadores, enormemente inútiles, que se destinan al arte en un esquema piramidal casi místico.

Parte de este disenso es debido a la voraz naturaleza del arte, que en este sentido adopta la misma forma que el mundo, pero

también a su ironización. Esta maniobra genera una paradoja familiar: el *ready-made* permitió que cualquier cosa se considerara arte, pero también permite que el arte se considere cualquier cosa, cualquier chorrada. Un encargado del servicio de limpieza de una galería de arte desmantela accidentalmente una instalación y la tira a la basura. Todo el mundo grita de placer, especialmente los programas de humor, pero nadie tanto como los artistas.

Y es en este punto donde las metodologías artísticas se distancian de los sistemas artísticos. Los sistemas artísticos, las conocidas ecologías mediáticas –galería, prensa, comunicado, colección, propaganda, manifiesto, revistas, reseñas, precios, festivales, patrocinios, etc.– se entrelazan con las metodologías artísticas, pero no se incluyen en ellas. El hecho de que el arte sea comparable a la mierda puede entenderse como una relación autorizada que disfruta de forma segura de su maravillosa cualidad efímera y a la vez constituye una estúpida encarnación del objeto único más valioso por milímetro cuadrado del mundo. Mierda con más diamantes incrustados que una corona es el feliz horizonte de gran parte del arte contemporáneo, pero omite lo que se derrama lateralmente por los dos polos de esta gastada paradoja.

El disenso del arte es en parte lo que posibilita esta movilidad, pero también está en el arte de forma inherente, como una serie de tendencias y capacidades internamente diferenciadas y simbióticas. Deleuze afirma que «el ojo, tras abandonar su función háptica y pasar a lo óptico, se subordinó a lo táctil como poder secundario» (Deleuze, 2003, pág. 127). Su texto sobre Bacon se enturbia con alianzas y migraciones cambiantes de los sentidos y la materia. Lo óptico desmantela lo manual y lo háptico relaja la relación entre el ojo y la mano, el color y la línea.

Las corporalidades que inventa el arte permiten inserir sutiles filiaciones y perversiones en el pintor, en el usuario de la pieza, en los órganos, modos y entidades que generan los sistemas artísticos y, en última instancia, en lo que emana de ellos, y por este medio el arte excede a su propia organización. El ojo, la mano, la tela, el cerebro, la pintura, la luz, las confluencias, se desperdigan y colisionan, se instigan unos a otros, hermanados o incomodados por el uso de fotografías, modelos, un trozo de tierra, un jarrón de flores. Las últimas pinturas de Willem de Kooning son bien conocidas por su uso del color y el movimiento acrobático de su lábil y rezumante pincel, pero también por si la contracción gradual de la enfermedad de Parkinson durante su producción redujo al artista a un ensamblaje manierista de movimientos musculares aprendidos, a un trazo espasmódico que se limitaba a agitar la pintura que alguien le había preparado en la paleta. ¿A qué nivel situamos una metodología artística? ¿Al nivel de un tic nervioso residual, de un espasmo? Con cierta justificación, Deleuze y Guattari niegan que las pinturas producidas por locos o niños deban ocupar un lugar específico en el mundo del arte. Pero yo diría que el filo categorial que establecen es demasiado brusco. Las metodologías artísticas permiten una perspectiva que está «por

debajo» de esta escala y que se centra en cambio en las poblaciones de entidades reflexivas que atraviesan las «obras», dándoles vida, pero también algunas veces sobrepasándolas o cobrando vida precisamente allí.

Atención

Una de las metodologías que usó Kaprow para entender esta transición fronteriza entre el arte y el no-arte es la atención. Reconociendo que la «atención altera lo que se atiende» (Kaprow, 1993, pág. 236), Kaprow movilizó el fenómeno del observador, un estado de interacción recursiva dentro de un sistema como una técnica cotidiana que funciona en distintos momentos, según distintos ritmos, tanto en el arte como en otras formas de vida. La atención formaba parte de la vida, pero también podía ser interpretada, atendida, con otra persona, con objetos y con relación a un sistema de comunicación como el vídeo, desplegándose así en otros circuitos de atención. La atención podía movilizarse en la vida diaria en acciones como por ejemplo lavarse las manos. El método era llevar a cabo una acción con la condición, la codificación, de que se descompusiera y se prestara atención a lo representado con la finalidad de reflexionar sobre un conjunto de interrelaciones con el mundo y que, en todo caso, el acto fuera interpretado como un proceso sensual y considerado.

La técnica de prestar atención de Kaprow, asociada en parte a las ideas de John Cage, tiene sus raíces en la filosofía natural, ciertos aspectos del zen y su inmersión en lo mundano, en el estoicismo, cualquier instante en el que uno trata de calmar, excitar, sensibilizar o despellejar la conciencia hasta el punto de que, a muchas escalas, puede percibir la plenitud de lo que está ocurriendo alrededor y a través de la misma. Se trata de la modificación perceptiva más económica y disponible: un intento de impedir la propensión de los humanos a la «ceguera por falta de atención» (Mack & Rock, 2000). En la obra de Gary Snyder, la misma figura, que se limpia las

manos de grasa después del trabajo, aparece como un momento intermedio y por lo tanto muy intenso. Accidentalmente, la mente se abre a la «calma y a la claridad», cuando «echa un vistazo a las nubes pasajeras» (Snyder, 1990, pág. 24). Prestar atención significa preguntarse de qué modo es posible establecer ámbitos o dominios de resonancia con los demás (animales, procesos sociales, sistemas de visualización, jabón, agua, manos) como si por primera vez todo debiera ser tomado en cuenta pero también con el conocimiento de la práctica, de la cotidianidad tácita.

Las metodologías artísticas no perduran necesariamente como bloques de sensación. Más espectrales, también desaparecen, se evaporan, se vuelven inadecuadas, pero también surgen a través de la duplicación sensitiva, del reconocimiento o de la aprehensión de la melodía que se halla en la atención y en cualquier otra parte. Como en los ensamblajes más extensos de entidades y dinámicas, la cuestión no es necesariamente encontrar formas de hacerlas más incisivas, perturbadoras y reveladoras. Son demasiado sustanciales, demasiado coherentes a múltiples escalas para ser simplemente consideradas metodologías artísticas. Sin embargo, las metodologías artísticas atravesarán una realidad escalar, un conjunto de individualidades o de relaciones de dimensionalidad para pasar a otras y, conscientes de ello, podrán ser reelaboradas. Las metodologías artísticas en estado natural, sin un gravamen a entidades más perdurables, de agregaciones subjetivas a instituciones o economías de cualquier nivel de fictividad, son de por sí difíciles de delimitar, perseguir o prescribir con una métrica uniforme. Las metodologías artísticas están ahí afuera, y quizá eso deba bastarnos.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento al Fonds voor Beeldende Kunsten, Vormgeving en Bouwkunst de los Países Bajos por su apoyo en la elaboración de este texto.

Bibliografía

- ALLIEZ, A. (2004). *The Signature of the World*. E. R. Albert y A. Toscano (trad.). Londres: Continuum.
- DELEUZE, G. (1988). *Spinoza: Practical Philosophy*. R. Hurley (trad.). San Francisco: City Light Books.
- DELEUZE, G. (1990). *The Logic of Sense*. M. Lester y C. Stivale (trad.). C. V. Boundas (ed.). Nueva York: Columbia University Press.
- DELEUZE, G. (1992). *Expressionism in Philosophy: Spinoza*. M. Joughin (trad.). Nueva York: Zone Books.
- DELEUZE, G. (1994). *Difference and Repetition*. P. Patton (trad.). Nueva York: Columbia University Press.

- DELEUZE, G. (2003). *Francis Bacon: The Logic of Sensation*. D. W. Smith (trad.). Londres: Continuum.
- DELEUZE, G.; GUATTARI, F. (1994). *What is Philosophy?*. H. Tomlinson y G. Burchell (trad.). Londres: Verso.
- FULLER, M. (2006). «The Expressiveness of Insubordination». En: I. ARNS; J. LILLEMOSE (eds.). *The Hardware Guide to Irrational*. Dortmund: Hartware MedienKunstVerein.
- FULLER, M. (2008). «Art For Animals». En: B. HERZOGENRATH (ed.). *Deleuze/Guattari & Ecology*. Londres: Palgrave.
- KAPROW, A. (1993). *Essays on the Blurring of Art and Life*. J. Kelley (ed.). Berkeley: University of California Press.
- LASH, S.; URRY, J. (1993). *Economies of Signs and Space*. Londres: Sage.
- MACK, A.; ROCK, I. (2000). *Inattentional Blindness*. Cambridge: MIT Press.
- RABINOW, P. (2003). *Anthropos Today, Reflections on Modern Equipment*. Princeton: Princeton University Press.
- SNYDER, G. (1990). *The Practice of the Wild*. Nueva York: Northpoint Press.

Cita recomendada

FULLER, Matthew (2009). «Metodologías artísticas en la ecología de los medios». 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_fuller/n9_fuller>

ISSN 1695-5951



Esta obra está sujeta a la licencia de **Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 3.0 España** de Creative Commons. Puede copiarla, distribuirla y comunicarla públicamente siempre que cite su autor y la revista que la publica (*Artnodes*); no la utilice para fines comerciales y no haga con ella obras derivadas. La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.es>.

CV



Matthew Fuller

Centro de Estudios Culturales, Goldsmiths, Universidad de Londres
cus01mf@gold.ac.uk

Matthew Fuller es autor de varios libros, entre los que destacan *Media Ecologies*, *Materialist Energies in Art and Technoculture* y *Behind the Blip, Essays on the Culture of Software*. Junto con Usman Haque, es coautor de *Urban Versioning System v1.0*. Editor de *Software Studies, a Lexicon*, es también coeditor de la nueva colección «Software Studies» de MIT Press. Actualmente participa en una serie de proyectos de arte, medios de comunicación y software y trabaja en el Centro de Estudios Culturales, Goldsmiths, Universidad de Londres.

www.spc.org/fuller/