

<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.**

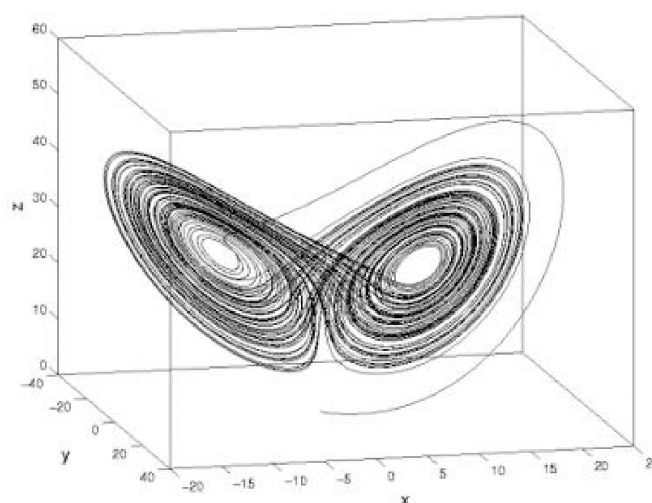
La primera referencia, por lo tanto, es la teoría de los sistemas dinámicos. **El movimiento de los cuerpos, el cálculo de trayectorias,** era abordado en la mecánica newtoniana mediante ecuaciones diferenciales, que indican cómo evoluciona un sistema de un instante a otro posterior, infinitamente próximo. **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

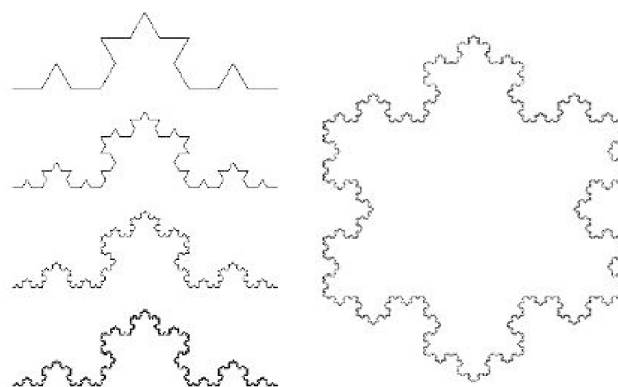
En los atractores extraños las líneas de flujo son sensibles a las condiciones iniciales. **Los puntos inicialmente próximos estarán, transcurrido un intervalo de tiempo, macroscópicamente separados.**

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

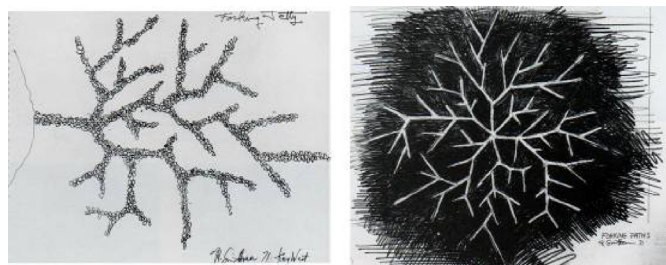
El conjunto de trabajos realizados en el período 1969-1971 constituyó el repertorio conceptual y operativo que Smithson aplicaría, a mayor escala, en sus *earthworks*. **Estos proyectos fueron laboratorios** en los que el artista elaboró los procedimientos que desarrollaría en todas sus obras posteriores, 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**

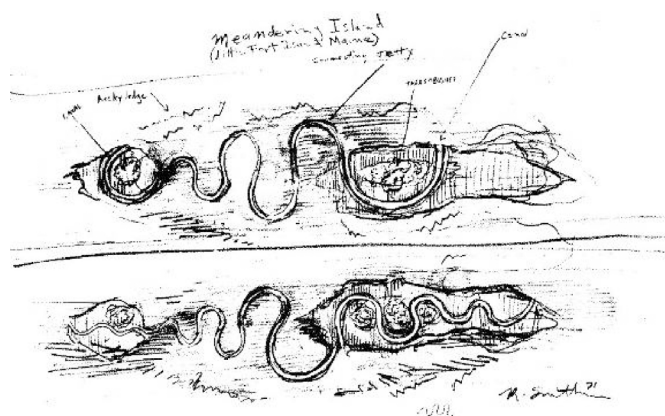
de los muelles retoman modelos de la geomorfología fluvial, como las redes de las cuencas de drenaje. **Concebidos para zonas de litoral o lagos, sin referencias topográficas concretas, es la propia disposición de los muelles, en sucesivas bifurcaciones, lo que configura la zona: por el medio, entre 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**

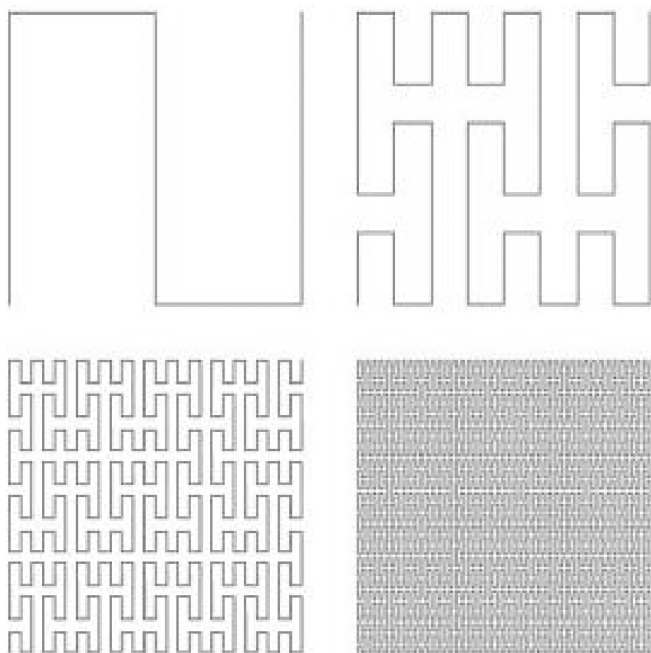
una continuidad deposicional. **Una configuración que se multiplica,** manteniendo la autosimilitud, por todas las escalas del minúsculo cristal de sal hasta el paisaje completo del lago, incluido el propio *Spiral Jetty*. **Una estructura con un patrón que se manifiesta de forma escalonada: simetría 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 límite: 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.**

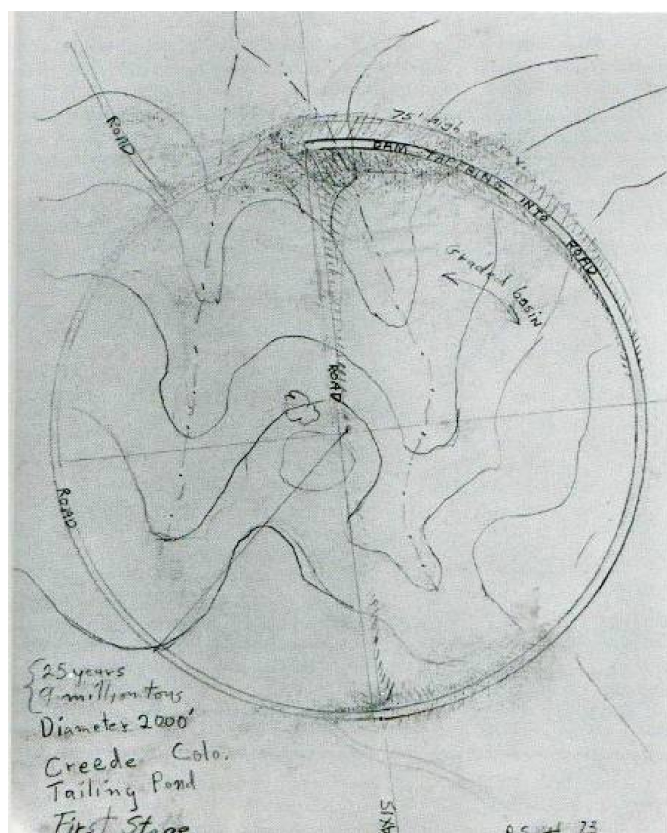
Smithson utiliza este patrón morfológico derivado de un importante fenómeno geomorfológico: **el creciente es la forma que, en los ríos que fluyen a través de meandros, adquieren los depósitos de sedimentos. Con frecuencia los meandros, acentuados por la erosión, quedan aislados del curso del río y se 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 acomodación 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].

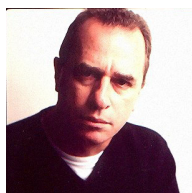
<http://artnodes.uoc.edu/ojs/index.php/artnodes/article/view/n9_brissac/n9_brissac>

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)