UNIVERSITAT DE BARCELONA

Complexity is coming

Sistemas Complejos y Arqueología

José Luis Mateos González

Trabajo Final de Grado

"For every complex problem there is an answer that is clear, simple, and wrong."

H. L. Mencken

RESUMEN

Después de las devastadoras críticas del postmodernismo, las Ciencias Sociales han experimentado una revolución epistemológica materializada en la propuesta de la Teoría de Sistemas Complejos, una perspectiva que prometía desvanecer los enfoques reduccionistas a la vez que retenía una perspectiva experimental y científica. Pero, ¿es la Teoría de Sistemas Complejos un *deus ex machina* para la Ciencia Arqueológica o ha sido su propia trayectoria la que ha permitido que fuese más receptiva a esta nueva aproximación? Además, ¿es esta teoría definitiva para entender la naturaleza humana a largo plazo? En este trabajo se discutirán estas cuestiones en dos partes: a) la trayectoria de la Epistemología Arqueológica en relación a la Complejidad y b) las propuestas de la Teoría de Sistemas Complejos y como han sido implementadas por la Ciencia Arqueológica.

ABSTRACT

After the devastating critiques of Port-Modernism, Social Sciences have experienced an epistemological revolution in the form of Complex Systems Theory. This approach promises to overcome reductionistic perspectives while retaining an experimental and scientific scope. But is Complex Systems Theory a *deus ex machina* for Archaeological Science or has it been its own trajectory which has allowed Archaeology to become more receptive to this new approach? Moreover, is this theory definitive in order to understand the human nature from a long-term perspective? In this work we will put forward these aspects within two chapters: a) the trajectory of Archaeological Epistemology regarding Complexity and b) Complex Systems Theory proposals and how have they been implemented in Archaeological Science.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 4
SOY MÁS COMPLEJO QUE TÚ 6
Introducción 6
La Naturaleza de la Complejidad 7
Complejidad y las Revoluciones de Gordon Cilde 8
Evolución Cultural, el pensamiento No-Darwinista y la Complejidad 10
New Archaeology: rompiendo un paradigma 12
Cibernética, Teoría General de Sistemas y Arqueología 13
David Clarke y la Arqueología Analítica 17
"COMPLEXITY IS COMING" 19
Introducción 19
Complejidad: en busca de una definición simple 21
Contingencia 24
Caos y Complejidad: uno de los percusores 26
Emergencia 27
Sistemas Complejos Adaptativos (CAS) 28
La Teoría de Juegos (Game Theory) 30
Simulación 30
Herramientas de las Ciencias de la Complejidad y sus aplicaciones en Arqueología: los Modelos basados en Agentes 31
The Artificial Anasazi Project 33
An Agent-Based Public Goods Model for Prehispanic Pueblo Societies 34

INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta un recorrido epistemológico sobre la "Complejidad" en Arqueología desde las primeras teorizaciones sobre complejidad social de Gordon Childe a la implementación de la Teoría de Sistemas Complejos a mediados de los 90. A pesar de que lo que tradicionalmente se ha entendido por complejidad en Arqueología dista ampliamente de la propuesta de la Teoría de Sistemas Complejos, en este trabajo se plantea que la propia evolución de la disciplina arqueológica ha permitido que fuese progresivamente más receptiva a un planteamiento que entendiese los sistemas socionaturales de una forma no-linear. Para poder llevar a cabo este propósito, el trabajo se dividirá en dos partes: a) una *metahistoria* de la complejidad en Arqueología y b) las propuestas de la Teoría de Sistemas Complejos y su implementación en la Ciencia Arqueológica.

La principal motivación para realizar este trabajo surge de una inquietud que se ha ido desarrollando a lo largo de mis años de estudio en la Universidad: la necesidad de encontrar un marco teórico que otorgase explicaciones satisfactorias sobre los procesos socionaturales a largo plazo, integrando los mecanismos que tuviesen lugar tanto a escala macro como micro. La semilla de esta inquietud fue plantada en un primer momento gracias a los debates interdisciplinares que se llevaron a cabo dentro del grupo de lectura Ecotono (http://simulpast.imf.csic.es/sp/index.php/events/readinggroup/103-uncategorised/77-ecotono), gestionado por el proyecto SimulPast (http://simulpast.imf.csic.es/sp/), proyecto que pretende desarrollar una metodología que permita modelar y simular sociedades del pasado y sus relaciones con las transformaciones medioambientales. Los debates llevados a cabo dentro de este grupo, estrechamente vinculados con la temática de este trabajo, fueron extremadamente motivadores. En este sentido no puedo dejar de agradecer la paciencia y la alta calidad pedagógica de los protagonistas de estos debates, que sin duda influyeron en que condujese parte de mi investigación del grado de Historia en esta dirección

Las fuentes utilizadas para llevar a cabo lo expuesto arriba han sido principalmente tres: a) artículos científicos, b) monografías y c) capítulos de libros. La principal dificultad para abordar esta documentación es el idioma. Al ser la Teoría de Sistemas

Complejos un campo que tiene presencia principalmente en el mundo anglosajón, ha sido difícil lidiar con nomenclatura que es difícil de encontrar traducida al castellano. Por otro lado, a pesar de que este trabajo se centre más en aspectos epistemológicos, la Teoría de Sistemas Complejos está estrechamente conectada al mundo de la física y la matemática. No es una tarea en absoluto sencilla enfrentarse a publicaciones que dan por sentados muchos aspectos procedentes de las Ciencias Formales, más aún cuando se proviene del mundo de las Ciencias Históricas.

Por último me gustaría agradecer especialmente a Bernardo Rondelli su paciencia, su perseverancia y su sobresaliente capacidad intelectual, que han hecho que este trabajo haya sido posible. Por otro lado, gracias también a Marco Madella, Andrea Balbo y James McGlade por sus fantásticas conversaciones y aportaciones.

SOY MÁS COMPLEJO QUE TÚ

Metahistoria de la Complejidad en Arqueología

Introducción

El término Complejidad en Ciencias Sociales es un *misnomer,* un concepto equívoco y cómo lo describiría John Clapham (c.f. de Vries 1994) "*una naranja tres veces exprimida"*. No obstante, es una naranja a la que todavía le queda mucho zumo. La Complejidad cómo epíteto de sociedad, política o cultura ha sido el germen de muchos debates dentro de la Epistemología Científica en general -y de la Arqueológica en particular- y de ella han surgido preguntas que, lejos de estar resueltas, nos conducen a un eterno debate. ¿Son las sociedades complejas un tipo o estado diferenciado[1] dentro de la evolución cultural o existe un *continuum* de más simple a más complejo? ¿De qué se diferencian éstas de sociedades más simples (o menos complejas) de las cuales se desarrollaron? (Tainter 1990). Poner sobre la mesa éstas y otras cuestiones y analizar cómo han emergido dentro de la Epistemología Arqueológica es el objetivo de este capítulo. Para ello, se expondrán, en primer lugar, las características -entendidas cómo una convención extendida entre la mayor parte de la Teoría Arqueológica actual- que definen la naturaleza de la Complejidad Social. En segundo lugar, se hará un recorrido por los diferentes enfoques sobre Complejidad que han surgido desde la Teoría Arqueológica -incluyendo perspectivas procedentes de la Historia y la Antropología- intentando poner el acento en sus enfoques sobre el cambio, el desarrollo y la evolución de las sociedades. Por último, se discutirán la Teoría General de Sistemas y la *Analytical Archaeology* de David Clarke, considerados como los primeros esfuerzos metodológicos para formalizar lo que entendemos actualmente cómo Complejidad Social y para "disciplinar" "*an undisciplined empirlical discipline"* (Kohler 2011: 4; Renfrew and Bahn 2005: 206).

[1] *Discrete* en el original.

La Naturaleza de la Complejidad

En relación al epíteto complejo/a, la Teoría Arqueológica ha lidiado generalmente con el concepto de "sociedad". De hecho, según Joseph Tainter (1990: 23), *"Complexity is generally understood to refer to such things as the size of a society* […]*"*. Este rictus tan sólo responde a la relación hiperbólica que existe entre el sustantivo "sociedad" y el adjetivo "compleja" y que, sin ningún lugar a dudas, ha calado en todos los ejes sociales, culturales e intelectuales enervando los privilegios propios de un axioma. Sin embargo, cuestiones en relación a cómo esta complejidad emergió, cuáles son sus características y, en un plano cercano al metafísico, cuál es su razón de ser son arena de otro costal y, lejos de ser un aforismo, son el *kernel* de una extendida controversia. En las siguientes líneas intentaremos dar algunas pinceladas, sin obviar esta controversia, sobre la naturaleza de la Complejidad Social y de los puntos que actualmente parecen formar parte de un translucido consenso dentro de la Academia.

La Complejidad Social, según Richard Blanton, es "*la variedad de experiencias de vida y actividades intra y entre grupos que constituyen una sociedad"* (c.f. Renfrew and Bahn 2005). En este sentido, lo que caracteriza a una sociedad compleja, a diferencia de una "simple", es: a) el número y la heterogeneidad de sus partes; b) el número de distintas personalidades sociales; c) la variedad de roles sociales especializados que incorpora; d) la variedad de mecanismos para organizar esto en un "total" coherente y que funcione y e) la desigualdad en términos de *"vertical differentiation, ranking, or unequal access to material and social resources"* (Tainter 1990: 23). En contraste con estas sociedades complejas tendríamos a comunidades pequeñas, autónomas, prácticamente auto-suficientes y políticamente igualitarias; una idiosincrasia que implicaría que la mayoría de adultos podrían participar en la gobernación de su propia sociedad. Estas características se vincularían, en la Teoría Arqueológica, a sociedades de cazadores-recolectores (Renfrew and Bahn 2005; Tainter 1990).

La desigualdad y la heterogeneidad como características de sociedades complejas es un aspecto teórico que ha sido estudiado pertinazmente por Randall H. McGuire, (McGuire 1983). Buena parte de su obra está marcada por la pretensión de poder calibrar estas características con el registro arqueológico y así determinar patrones de "complejidad". Además intenta conocer como estas características se interrelacionan,

reconociendo que no siempre lo hacen de forma positiva, ya que, por ejemplo, en las primeras civilizaciones la desigualdad tendía a ser inicialmente alta y la heterogeneidad baja. Sin embargo, ha sido criticado por no preguntarse el porqué y el cómo de esta complejidad (Saitta & McGuire 1998).

Si partimos de la convención sobre Complejidad Social expuesta arriba, un aspecto notable de la naturaleza de ésta es que su desarrollo ha sido relativamente reciente. Mientras que las primeras evidencias de humanos modernos se sitúan en torno hace 400.000 años, el cambio hacia la Complejidad Social empezó ca.10.000 años atrás. Según Robert Carneiro, el 99,8 % de la historia de la humanidad ha estado dominada por una organización social estructurada en pequeñas unidades autónomas cuya configuración se definiría como "simple" (Tainter 1990: 24). Es por ese motivo que buena parte del *impetus* que ha movido a la Epistemología Arqueológica es el fruto de preguntarse cuando, como y donde (y en última instancia *por qué*) las sociedades complejas se desarrollaron en un comparativamente corto lapso de tiempo.

De facto, esta parece ser la pregunta clave que ha hecho avanzar la Epistmología Arqueológica en relación al término Complejidad. Intentar explicar el surgimiento, la emergencia o la construcción de estas sociedades complejas ha sido el *leit motiv* de muchos científicos sociales, entre ellos arqueólogos e historiadores. Y para ello ha sido cada vez más necesaria una perspectiva transversal de la investigación, yendo más allá de las fronteras disciplinares y abriendo un nuevo mundo a la comprensión del comportamiento humano (Hodder 2001: 2). El punto de partida no podía ser otro que el de Vere Gordon Childe.

Complejidad y las Revoluciones de Gordon Cilde

A pesar de que no fue hasta los años 60 del siglo XX que la Arqueología empezó a precisar las características de sus planteamientos teóricos – lo que David Clarke llamó "*la pérdida de inocencia de la Arqueología"* (Clarke 1973)-, Vere Gordon Childe ya había desarrollado algunos de los principios de su razonamiento. En 1925, Gordon Childe construyó su reputación académica con la publicación de su primera gran obra

arqueológica: *The Dawn of European Civilization*. A pesar de que en su primera edición sólo se identifican "*nada más que combinaciones y permutaciones de ideas existentes procedentes desde el canon del pensamiento arqueológico de su tiempo*" (Renfrew and Bahn 2005: 26), en su tercera edición de 1939, completamente revisada, Gordon Childe ya plantea el problema de la emergencia de tanto el Neolítico como de las culturas urbanas en Oriente Próximo y Europa en clave de una "revolución económica". Esta fue sin duda una de las primeras expresiones de la voluntad de entender el cambio hacia la Complejidad Social. Sin embargo, desde este prisma, la evolución o el desarrollo histórico-social se concibe como una secuencia de periodos más o menos estables, en los cuales el estado de las sociedades humanas cambiaba muy poco, alternándose con estados de cambio abruptos. En este sentido, la estabilidad se presuponía y el cambio necesitaba explicarse. El hecho de que Gordon Childe decidiese bautizar a estos estados de cambio como "revoluciones" ilustra perfectamente el *statu quo* del pensamiento arqueológico de su tiempo.

Por otro lado, Gordon Childe desarrolló su idea de cambio histórico en términos socio-económicos, identificando en la domesticación de plantas y animales una revolución económica que llevaría al ser humano a *"emanciparse de la dependencia al ambiente externo*" (Childe 1957: 14). Esto se debió principalmente a que viró su enfoque hacia el Marxismo, un hecho que, según Randall H. McGuire, fue una anomalía en los tiempos de Childe (McGuire 1992: 53). Para Childe, la "revolución neolítica" fue "*un proceso cualitativo*" (Renfrew and Bahn 2005: 27), dónde una serie de transformaciones económicas otorgaron al ser humano control en su propio suministro de comida. Gordon Childe también desarrolló el concepto de Revolución Urbana (Childe 1950), dónde enfatizó en lo que hoy entendemos por Complejidad Social:

> *"And so by 3000 BC the archaeologist's picture of Egypt, Mesopotamia, and the Indus valley no longer focuses attention on communities of simple farmers, but on States embracing various professions and classes. The foreground is occupied by priests, princes, scribes, and officials, and an army of specialized craftsmen, professional soldiers, and miscellaneous labourers, all withdrawn from the primary task of food-production"* (Childe 1951).

Es incuestionable que la obra de Gordon Childe no sólo ha sido pionera en el ámbito

de la Teoría Arqueológica, sino que además tubo especial impacto en la Arqueología Marxista, desvinculándola de la Arqueología Soviética y manteniendo la idea de relación entre estructura y superestructura, aunque rechazando una relación aritmética entre ambas (McGuire 1992: 71). En relación a la idea de Complejidad Social, lo que es especialmente notable del legado de Gordon Childe es su perspectiva evolutiva, dónde entendía el cambio social como un proceso a largo plazo, contradictorio -rechazando la idea de evolución unilinear dirigida hacia el colapso de la sociedad de clases- y dinámico. Childe argumentaba que las civilizaciones de Oriente Próximo, las cuales habían sido en un inicio progresivas, finalmente quedaban estancadas por un poder despótico que actuaba de controlador social. El progreso posterior en otro contexto, la Edad del Bronce, traería, como un *deus ex machina*, innovaciones tecnológicas que llevarían al progreso social hacia nuevas direcciones. En este sentido Gordon Childe sentó un precedente que no sólo acabaría abriendo la lata de la Arqueología Marxista, sino que además formularía los precedentes de una de las corrientes más influyentes en la Teoría Arqueológica: el Evolucionismo Cultural de Leslie White y Julian Steward.

Evolución Cultural, el pensamiento No-Darwinista y la Complejidad

" […] *we must point out that the theory of evolution was introduced into cultural anthropology independently of Darwin and, indeed, of biology in general"* (White 1959)

Se ha empezado este apartado con esta cita de Leslie White por el mismo motivo que Robert D. Leonard lo hace en *Archaeological Theory Today* (Hodder 2001). Las palabras de White ilustran perfectamente el substrato con el que se configuró la Evolución Cultural en Arqueología y Antropología, que lejos de tener su origen en *The Origin of Species*, asienta sus bases en el Evolucionismo Progresivista de Spencer, Morgan y Tylor. Estos últimos propusieron, en el siglo XIX, que las culturas evolucionaban de menos a más complejas en un eje temporal en base a unos estados "evolutivos", a saber: a) salvajismo; b) barbarie; c) civilización. En este sentido, la

Evolución Cultural contempla que la historia de la humanidad evoluciona en una serie de etapas: a) de cazadores-recolectores a agropastores; b) de agropastores a los orígenes de la civilización y el estado; c) de las civilizaciones agrarias a la sociedad industrial y post-industrial. Esta secuencia va acompañada de un incremento demográfico, de mayor complejidad social y desigualdad, y de tecnologías cada vez más complejas (Renfrew & Bahn 2005: 37). El esquema de Gordon Childe, que establecía una línea evolutiva directa desde las sociedades cazadoras-recolectoras de Oriente Próximo hasta la Revolución Industrial también subyace en estas proposiciones.

Los dos impulsores de la Evolución Cultural recuperaron la uniliniaredad de estos planteamientos pero con ambiciones diferentes. Julian Steward pretendió explicar las trayectorias de adaptación de las sociedades mientras que Leslie White quiso alentar la idea de una evolución cultural entendida como un proceso extremadamente general. La hipótesis de White se basaba en la suposición de que las sociedades progresaban como resultado del aprovechamiento de cada vez más energía a través de la tecnología. El problema que presentaba el planteamiento de White, según Stephen Shennan (c.f. Renfrew and Bahn 2005: 38), era como relacionarlo con un "*análisis individual de las sociedades"*. La solución vino de Elman Service, el cual propuso que la posibilidad de examinar cuanta energía podía ser aprovechada por una sociedad determinada residía en examinar cuanta energía se invertía en la estructura social. Para ello desarrolló una subdivisión de sociedades no-estatales en diferentes niveles de complejidad (Service 1962). Una de las presunciones de esta perspectiva "tipológica" es que el incremento de la complejidad social sucede a partir de saltos de un estado estable a otro (Tainter 1990: 29), respondiendo a retos de adaptación. El esquema de Service era, y es, atractivo para muchos arqueólogos, en tanto que presenta patrones clave en la historia de la humanidad. No es de extrañar que siendo White mentor del prolífico Lewis R. Binford, la arquitectura de la New Archaeology, o Arqueología Procesual, tuviese este tinte y que, además, sus aspiraciones fueses evolutivas. Sin embargo, la uniliniaredad de las narrativas White y Service no dejan lugar para un análisis del impacto de las dinámicas tanto externas como internas de un sistema, además que no contempla la equfinalidad, es decir, la posibilidad aparente de que situaciones similares (causas) pueden generar diferentes productos (efectos) y, a la vez, que situaciones diferentes puedan causar productos similares (Van Der Leeuw 2004: 121).

Del planteamiento de la Evolución Cultural, que empieza a centrar su objetivo más en los mecanismos con los que se desarrollan las sociedades complejas, ¿por qué nos debería interesar el hecho de que fuesen o no darwinianos? Para responder a esta pregunta es necesario volver a la cita del principio. En este sentido, White lo que quiere transmitir es el hecho de que la evolución de la humanidad es tan *única* (Hodder 2001: 66) con relación al resto de formas animales que por lo tanto la Teoría Darwiniana es inaplicable. Es necesaria una nueva teoría y así se construyó: la Evolución Cultural. En última instancia esta idea es la que prevaldrá en la Arqueología Procesual, que tendrá su propia idea del concepto complejidad. Y como rechazo, en parte, a estas ideas, surgirá la Arqueología Darwiniana y la Arqueología Evolutiva, que a su vez también propondrán sus perspectivas sobre complejidad, que en este caso se asociarán al concepto de emergencia. Conjuntamente, no podemos obviar el hecho de que autores como Leslie White rechazasen literalmente a Darwin ha condenado al ostracismo al discurso evolutivo en muchas narrativas en Ciencias Sociales. Este escenario ha retardado el hecho de que buena parte de la Ciencia Arqueológica asumiese la No-linealidad de los procesos sociales[2]. En campos como la Biología o la Genética, por ejemplo, la nueva versión de la Teoría Darwiniana aceptó el hecho de que "*apparently trivial tiny influences on survival probability can have a major impact on evolution. This is because of the enormous time available for such influences to make themselves felt."* (Dawkins 2006: 4). Esto podría tener especial influencia en la implementación de los conceptos Contingencia, Emergencia y No-linealidad en Arqueología.

New Archaeology: rompiendo un paradigma

La configuración original de la *New Archaeology,* o Arqueología Procesual, fue la de romper el paradigma de la Historia Cultural. La mayor ambición de su enfoque fue la de entender las causas del cambio cultural (proceso) en diversos escenarios ambientales y culturales. Partía de la premisa marxista -expuesta por White- de que la cultura era una

[2] Procesos que tienen la capacidad de generar comportamiento espontáneo y emergente.

forma de adaptación al medio extra-somática (Binford 1962: 218). Por otro lado veía a la tecnología, aquellas herramientas que articulaban el organismo (humano) con el ambiente físico, vinculadas con la propia naturaleza de dicho ambiente. Este aspecto es fundamental para entender la idea de complejidad que emitió la New Archaeology, ya que su intención era realizar estudios comparativos de sistemas culturales con tecnologías variables en ambientes variables. Indagar en la Ecología Cultural era, para Binford, un aspecto fundamental para entender procesos culturales.

El objetivo de los arqueólogos tenía que ser explicar, no describir. Con esta finalidad Binford estableció un programa de puntos en los que incluía una definición de Sistema Cultural que empezaría a prever algunos problemas epistemológicos que acecharían en el futuro. Para Lewis Binford, la Cultura debía ser vista con sus aspectos tecnológicos, económicos, sociales, políticos e ideológicos estrechamente entrelazados. Dentro de este marco teórico, muchos arqueólogos acabarían por pretender entender los procesos de cambio cultural a largo plazo. En este sentido, Lewis Binford acabaría introduciendo en la Arqueología Moderna la Teoría General de Sistemas, que pretendería explicar las interacciones de diferentes variables en una variedad de sistemas. Este hecho fue sin duda el germen de una concepción de complejidad que estaría estrechamente relacionada con la sinergia y conexión entre las partes de un sistema (S. Binford and Lewis Binford 1968).

Cibernética, Teoría General de Sistemas y Arqueología

> […] *We no longer think of the preceramic plant-collectors as a ragged and scruffy band of nomads; instead, they appear as a practiced and ingenious team of lay botanist* […]

Kent V. Flannery, un arqueólogo teórico activo y discípulo de Binford, introducía así su relevante y a la vez controvertido artículo *Archaeological Systems Theory and Early Mesoamerica* (1968). En lo que respecta a la cuestión de la complejidad, Flannery realizó, como muchos de sus compañeros de la *New Archaeology,* un ejercicio

intelectual que lo llevó a deshacerse de muchos de los sesgos que impregnaban la Arqueología en general y a la Evolución Cultural en particular. Prejuicios, estereotipos y apriorismos fueron dejados de lado y se optó por analizar las sociedades del pasado con diferentes prismas. Lo que anteriormente Service habría considerado un estado social simple, como el de los grupos étnicos formativos pre-agricultores, Flannery lo exponía como un escenario dónde *"unas series complejas de grupos étnicos con una escala social interna y una alta preocupación por el estatus, la inconografía, el control del agua, y la acumulación de bienes de lujo"* eran una realidad (Flannery 1968).

La Teoría General de Sistemas –o como prefiere llamarlo C. Renfrew, Pensamiento de Sistemas (Renfrew and Bahn 2005: 206)[3] - término acuñado por von Bertalanffy (Bertalanffy 1950), entiende que el "sistema" funciona como un "todo" compuesto por partes interrelacionadas[4]. En la versión "arqueológica" (Teoría de Sistemas Arqueológicos) se contempla, además, que la Prehistoria no puede explicarse con relaciones matemáticas simples de "uno a uno" y que de hecho los eventos prehistóricos son imposibles de aislar por qué son *multivariantes* (Bentley and Maschner 2003: 2). En la Teoría General de Sistemas, los sistemas podrían estar definidos a diferentes escalas, desde una célula de un único organismo hasta el sistema solar pasando por una sociedad o una nación-estado. Von Bertalanffy destacó la voluntad de encontrar leyes generales que fuesen aplicables directamente a los sistemas, más que intentar entender su complejo y misterioso comportamiento estudiando las propiedades de sus elementos constituyentes (c.f. Doran 1970). En el caso del artículo de Flannery, su objetivo principal era examinar el cambio cultural, una perspectiva sin duda procesual, durante la transición entre recolectores y agricultores sedentarios desde esta perspectiva. Pero lo que subyace en la adopción de esta perspectiva es una "*little known but fascinating story"*: el maridaje entre antropología y cibernética (Kohler 2011).

La Cibernética es un enfoque transdisciplinar que explora los sistemas reguladores, sus estructuras, sus restricciones y sus posibilidades, con un interés particular en procesos como *feedback,* estabilidad, amplificación y regulación, aceptando como una metáfora subyacente de que un sistema es una máquina de mayor o menor complejidad. Durante la segunda mitad de los 40 y parte de los 50, unos 20 científicos –incluyendo al

[3] No se trata de una teoría explícita, sino más bien de un conjunto de enfoques formulados en parte por otras disciplinas

[4] El mismo Bertalanffy la describió como un "*new scientific doctrine of the* wholeness*"*.

antropólogo-psicólogo Gregory Bateson y la etnógrafa Margaret Mead, participaron en discusiones que acabarían configurando las bases de lo que posteriormente se conocería como Cibernética (Heims 1991, c.f. Kohler 2011). Es muy probable que la orientación evolutiva y ecológica de Bateson, sus tendencias anti-reduccionistas y sus intereses extremadamente amplios se consolidasen con este debate lo que indudablemente acabaría influyendo en la disciplina arqueológica. La Cibernética y la Teoría General de Sistemas sugirieron aspectos intrigantes en relación a como la información y la computación se encuentran incrustadas en los sistemas vivientes. Sus analogías entre máquinas y organismos vivientes y especialmente entre sus nuevos ordenadores digitales y el cerebro condicionaron a generaciones de investigadores. Y este fue el caldo de cultivo que impulsó a los procesualistas como Flannery a adaptar esta perspectiva.

La perspectiva procesualista vivía un intensio ida y vuelta entre los méritos relativos del enfoque hipotético-deductivo versus un enfoque de "sistemas" cuando Flannery decidió tomar a Maruyama (1963) como fuente sobre la idea de que el *positive feedback*[5] (fig. 1) puede amplificar pequeñas desviaciones en los componentes del sistema en grandes diferencias dentro del mismo. Según Timothy Kohler (2011) sobre el innovador artículo de Flannery:

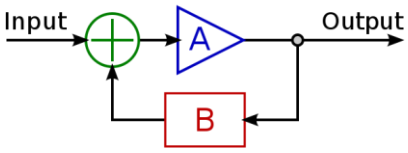

Fig. 1: Modelo Ideal de *Feedback*. Fuente: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ideal_feedback_model.svg

> "*In the case of highland southern Mexico, Flannery proposed that very small genetic changes in beans and especially in maize, perhaps brought on by increases in their range, initiated positive feedbacks within the wild-grass procurement system: The more widespread maize cultivation, the more opportunities for favorable crosses and back-crosses; the more favorable genetic changes, the greater the yield; the greater the yield, the*

[5] En Cibernética el *positive feedback* surge cuando una acción realizada por el sistema genera algún cambio en su medio ambiente y éste es reflejado de alguna manera que comporte un cambio en el mismo sistema. En contraste, cuando existe el *negative feedback* el cambio tiende a estar contrabalanceado, guiando continuamente al sistema hacia un estado anterior. En dinámicas sociales, el *negative feedback aparece* cuando alguien realiza algo "anormal" y otras personas contestan este comportamiento novedoso (c.f. Bentley and Maschnet 2007: 2) .

> *higher the population, and hence the more intensive cultivation.*"

En relación al *positive feedback*, Flannery (1968:85; c.f. Kohler 2011) concluiría su artículo con lo que hoy se ha convertido prácticamente en el primer mandamiento del decálogo arqueológico:

> *"It is vain to hope for the discovery of the first domestic corn cob, the first pottery vessel, the first hieroglyphic, or the site where some other major breakthrough occurred. Such deviation from the pre-existing pattern almost certainly took place in such a minor and accidental way that their traces are not recoverable. More worthwhile would be an investigation of the mutual causal processes that amplify these tiny deviations into major changes in prehistoric culture."*

Procesualismo, Teoría de Sistemas Arqueológicos y Equilibrio

El Procesualismo en Arqueología en general y la Teoría de Sistemas Arqueológicos en particular parte de la asunción de Equilibrio (c.f. Wright and Zeder 1977). El Equilibrio en un sistema social existe cuando existe un balance dinámico entre sus partes interdependientes. Flannery, unos años después de publicar su *Archaeological Systems Theory and Early Mesoamerica* (1968) pretendió explicar bajo los preceptos de la Teoría General de Sistemas el origen del estado y la centralización, utilizando más conceptos que matizaban su narrativa. Dentro del sistema creó una diferenciación interna en "subsistemas" (c.f. Kohler 2011: 3). En un marco de Equilibrio, estos subsistemas se ajustan a cualquier cambio en otros subsistemas y lo siguen haciendo hasta que el Equilibro es retenido. Sin duda este enfoque ha sobrevivido, en el sentido de que hoy en día muchos arqueólogos, a pesar de que no se llamen a sí mismos "teóricos de sistemas", tienden a favorecer modelos graduales de Equilibrio, "*assuming linear cause/effect relations and that societies of all scales have been dynamical systems constantly trending toward equilibrium"* (Bentley and Maschner 2003: 2).

Kent V. Flannery en su exhaustivo estudio sobre el origen de la agricultura en Mesoamerica, "*involves an equilibrium that shifted slowly through the centuries. The slow shift in the equilibrium states came about through small, short-sighted adjustments in foraging strategy that led to a positive feedback between the reduction of foraging area and resulting increase in benefit from domestication, which led to agriculture over the time span of centuries"* (Bentley and Maschner 2003: 2).

David Clarke y la Arqueología Analítica

"The price of disciplinary innocence is the price of expanding consciousness; certainly the price is high but the loss is irreversible and the prize substantial." (Clarke 1973). Esta es sin duda una de las frases que, de boca del mismo Clarke, expresan mejor la tarea que llevó a cabo este prominente teórico. Participando del optimista debate de la Arqueología Procesual, Clarke intentó, en su ambicioso *Analytical Archaeology* (Clarke 1968), integrar la perspectiva de sistemas en la Arqueología teoréticamente y ponerla a la altura de otros desarrollos contemporáneos en otras disciplinas como la Geografía, la Taxonomía Numérica y la Estadística. Pero aparte de su persistente vocación para formalizar una disciplina que hasta entonces había sido substancialmente empírica, David L. Clarke fue un hombre dotado de una excepcional originalidad. Sus repetitivas imágenes de redes de relaciones y restricciones, su atracción por la abstracción y el modelaje de todo tipo, sus fascinación por como los procesos podían configurar los patrones observados en el registro arqueológico etc., presagiaron intereses que serían comunes en los posteriores arqueólogos de la Complejidad (ver capítulo 2).

Con David L. Clarke terminamos este capítulo, tras haber desarrollado una narrativa enfocada a entender como la Epistemología Arqueológica ha desarrollado, en los últimos tres cuartos del siglo pasado, una creciente sensibilidad hacia la asunción de que los sistemas "socionaturales" (J McGlade and S. Van Der Leeuw 1997) son tan "complejos" que es imprescindible desarrollar una metodología para estudiarlos. Y éste es el propósito de las nuevas Ciencias de la Complejidad que discutiremos en el

siguiente capítulo. Pero para ello es imprescindible que retengamos la importancia de la Arqueología Evolutiva y del Procesualismo (a través de sus conexiones con la Teoría de Sistemas) (Kohler 2011: 14) en la implementación de este nuevo enfoque. Pero no debemos olvidar bajo ningún concepto que a la vez esta perspectiva también surge, entre otros, de una crítica desde el Postprocesualismo a las limitaciones del modelo hipotético-deductivo y del desacuerdo de John J. Wood and R. G Matson (1973; c.f. Kohler 2011: 4-5) de que en la Teoría de Sistemas, la fuente de cambio siempre tenía que provenir de fuera del sistema y de su implícito funcionalismo. Sugirieron un modelo de sistema más abierto dónde se permitiese el cambio des de dentro del sistema (i.e.: por *self-organization* o morfogénesis). Bautizaron a este modelo como "*complex adaptive system"* (Kohler 2011: 5).

"COMPLEXITY IS COMING"

Las propuestas de la Teoría de Sistemas Complejos

Introducción

En el capítulo anterior se ha realizado un recorrido epistemológico en torno a las propuestas sobre "complejidad" procedentes de la Arqueología. Sin embargo, a pesar de que es evidente que "Complejidad Social" y "Teoría de la Complejidad" comparten esencia etimológica, se tratan de dos conceptos diferentes. En las siguientes líneas se intentará establecer cuáles son las características del nuevo enfoque de la Complejidad, de su blanco de estudio (el Sistema Complejo) y de qué aplicaciones y potencialidades tiene para con la Arqueología.

El campo interdisciplinar conocido como Teoría de la Complejidad[6] estudia substancialmente los atributos generales de sistemas evolutivos, tanto sociales como naturales (Garnsey & James McGlade 2006). A un nivel más general se caracteriza por una particular atención al cambio estructural provocado por dinámicas no-lineares[7] y a las exploraciones sobre la tendencia de los sistemas complejos a seguir trayectorias caóticas e inestables. En el último tercio del siglo XX y con un fuerte impulso en los primeros años del siglo XXI, Teorías del Caos, Complejidad y la idea de una nueva Ciencia No-linear han protagonizado la vanguardia de la investigación en Ciencias Físicas y Biológicas y se ha extendido entre las Ciencias Sociales –entre ellas la Arqueología – (Garnsey and McGlade 2006: 1). Cabe destacar, no obstante, que no podemos limitarnos a explicar la Teoría de la Complejidad con una definición en un par de oraciones. Algunos autores incluso han optado por proponer que más que de una teoría *per se*, la Complejidad se trataría de un enfoque con el que comprehender los sistemas que no pueden explicarse reduciéndolos a las partes que lo componen (Bentley and Maschner 2003: 1). La idea genuina que subyace en esta forma de entender la

[6] También se puede encontrar como Teoría de Sistemas Complejos, Sistemas Adaptativos Complejos o Ciencia No-linear.

[7] Un Sistema No-linear es aquel que no satisfice el principio de superposición, esto es, aquel que lo que produce no es directamente proporcional a su input.

naturaleza de los sistemas podría antojársele al lector como algo en absoluto nuevo. "*The idea that the whole is greater than the sum of its parts is at least as old as Aristotle (Metaphysica Book VII, Ch. 10)*" (c.f. Bentley and Maschner 2003: 1). De hecho, como hemos visto en el capítulo anterior, durante el siglo XX surgieron, dentro de la Epistemología Arqueológica, ideas que podrían encajar perfectamente dentro de un marco "complejo". Sin embargo, la necesidad de generar una Teoría de la Complejidad surge como respuesta a una carencia epistemológica, una laguna tremendamente oscura que no permitía conectar el estudio reduccionista de las partes (i.e.: partículas elementales, moléculas de ADN, neuronas etc.) con el estudio del conjunto (i.e.: moléculas orgánicas, el cerebro, fenómenos sociales etc.) (Bentley and Maschner 2003).

Alexander Bentley y Herber Maschner en *Complex Systems and Archaeology* (2003) estudian el recorrido de este esfuerzo intelectual por encontrar una respuesta a la necesidad expuesta arriba y marcan como punto de partida el texto de Philip Anderson *More is Different* (1972), que reivindicaba explícitamente dicha conexión:

> *The ability to reduce everything to simple fundamental laws does not imply the ability to start from those laws and reconstruct the universe. The […] behavior of large and complex aggregates of elementary particles, it turns out, is not to be understood in terms of a simple extrapolation of the properties of a few particles. Instead, at each level of complexity entirely new properties appear, and the understanding of the new behaviors requires research which I think is as fundamental in its nature as any other*.(Anderson 1972: 393; en Bentley and Maschner 2003: I).

Anderson en su texto llama a uno de los principales problemas que genera la hipótesis "construccionista" –paradigma de la Ciencia moderna-, que se rompe cuando tiene que enfrentarse a las dificultades de "escala" y "complejidad". En este sentido, lo importante de la contribución de Anderson a las Ciencias Sociales es su temprana toma de conciencia con el hecho de que estudiar cada parte de un nivel de organización - des del ADN, pasando por individuos y llegando a los sistemas socio-naturales- requería una nueva estructura conceptual.

¿Pero qué es lo que une a todos estos físicos, biólogos, economistas e historiadores? ¿Qué intereses e inquietudes los impulsa a buscar una nueva forma de entender el mundo? En este sentido, Timothy Kohler, arqueólogo y *External Professor* en el Instituto Santa Fe[8] responde a estas preguntas en su artículo *Complex Systems and Archaeology* (2011:1-2) con los siguientes puntos:

- *A real interest in theory seeking commonalities across levels of organization within a system, and across abiotic and biotic systems of various sorts;*
- *A special attraction to systems composed of many moving parts - dynamic systems- and the patterns that emerge from the interactions of these components through time;*
- *A quantitative orientation and a commitment to computation;*
- *Dissatisfaction with traditional, reductive practices as embodied by the positivistic, hypothesis-testing, highly analytic approach to science most of us learned in high school –especially since such approaches cope poorly with highly connected complex systems;*
- *Am attraction to asking big, often transdisciplinary questions that may be shunned by disciplinary approaches, and a willingness to try to take a look at whole systems, even if it is a crude look, particularly through the use of computer models.*

Complejidad: en busca de una definición simple

La necesidad de buscar un nuevo marco conceptual que se resista a ser reducido a un conjunto de leyes o principios generales (Garnsey and McGlade 2006: 13) seguramente ha provocado que no exista ninguna definición clara y rigurosa del término Complejidad. No obstante, tras unas décadas de una literatura prolífica en esta dirección, es posible, aunque no de un modo exhaustivo, delimitar algunas de sus características. En este sentido, Melanie Mitchell en *Complexity: a Guided Tour* (2009:

[8] *"The **Santa Fe Institute (SFI)** is an independent, nonprofit theoretical research institute located in Santa Fe (New Mexico, United States) and dedicated to the multidisciplinary study of the fundamental principles of complex adaptive systems, including physical, computational, biological, and social systems."* En: http://en.wikipedia.org/wiki/Santa_Fe_Institute

13) propone una definición de Sistema Complejo muy sintética y plausible: "*large networks of components with no central control and simple rules of operation giving rise to complex collective behavior, sophisticated information processing and adaptation via learning or evolution".* En este sentido, Garnsey y McGlade (2006: 3) en *Complexity and Co-Evolution. Continuity and Change in Socio-Economic Systems*, amplían esta última definición exponiendo toda una serie de propiedades que caracterizarían a los Sistemas Complejos:

- *Property 1: non-determinism and non-tractability. A complex system is fundamentally non-deterministic. It is impossible to anticipate precisely the behavior of such systems even if we completely know the function of their constituents. It should be noted that this does not imply that the behaviour of such systems is random in the sense of haphazard; there are causes at work but they operate through complex feedback effects and are unlikely to be detectable by standard measures of association between assumed determinants and presumed effects.*
- *Property 2: limited functional decomposability. A complex system has a dynamic structure. It is therefore difficult, if not impossible, to study its properties by decomposing it into functionally stable parts. Its permanent interaction with its environment and its properties of self-organization allow it to functionally restructure itself.*
- *Property 3: distributed nature of information and representation. A complex system possesses properties comparable to distributed systems (in the connectionist sense); that is, some of its functions cannot be precisely localized. In addition, the relationships that exist within the elements of a complex system may be short-range and contain feedback loops (both positive and negative).*
- *Property 4: emergence and self-organization. A complex system comprises emergent properties which are not directly accessible (identifiable or anticipatory) from an understanding of its components.*

Después de exponer algunos de los rasgos de esta teoría no es difícil observar que la Teoría de la Complejidad puede ser un tema de interés mutuo para Arqueólogos de diferentes tendencias, cuyos enfoques científicos a los fenómenos sociales son particularmente únicos pero similares en general (Bentley 2003). La Teoría de Sistemas Complejos es aplicable con naturalidad al estudio de las sociedades, ya que se enfoca en sistemas no equilibrados con muchos agentes que interactúan. En este primer aspecto se encuentra la esencia de la crítica al Procesualismo, ya que la Teoría de la Complejidad entiende que las sociedades son sistemas abiertos, en el sentido de que a través de ellos existe un flujo de materia y energía en la forma de nacimientos, innovación, mercados etc. Arqueólogos y científicos sociales normalmente utilizan la palabra "*habitus"* para referirse a las restricciones culturales que marcan nuestra forma de "hacer" las cosas (Bentley and Maschner 2007: 2). A lo mejor si viviésemos en un mundo donde la gente fuese inmortal, este "*habitus"* cristalizaría generando un sistema cerrado. Sin embargo, gracias al ciclo de la vida cada nueva generación aprende la cultura y aporta cambios a ella imposibilitando el escenario que propone parte del Procesuialismo.

Por otro lado, es muy importante destacar la distinción que realizan Garnsey y McGlade (2006: 4) entre "complejo" y "complicado". Frecuentemente estos términos se usan intercambiablemente y, por lo tanto, el término "complejo" se utiliza inadecuadamente para referirse a sistemas que tienen muchas partes pero que pueden separarse y volverse a construir sin ningún problema (i.e.: un reloj), ergo el sistema es explicable describiendo sus componentes. Sin embargo, cómo hemos remarcado arriba, un sistema es "complejo" *"when it comprises non-linear interactions between its parts as well as feedback loops. This means that an understanding of the system is not posible through a simple reduction to its component parts"* (Garnsey and McGlade 2006: 4). El aspecto fundamental que ha de abstraerse de esta asunción, como muy bien remarcan Garnsey y McGlade, es que los Sistemas Complejos –i.e.: las sociedades humanas- no se pueden aplicar asunciones generales reduccionistas.

Pero antes de entrar plenamente en las posibilidades que ofrece la Complejidad es necesario exponer una serie de conceptos estrechamente vinculados con ésta que nos ayudarán a entender su funcionamiento.

Contingencia

Una de las principales críticas del Postprocesualismo a la *New Archaeology* fue, tal y como se ha mencionado anteriormente, la idea de que las sociedades humanas deben entenderse como sistemas abiertos y sin Equilibrio. Este aspecto, según Blintiff (1999), invoca la importancia de la Contingencia, que a menudo ha brillado por su ausencia en la *New Archaeology*. Los procesos históricos, según McGlade (McGlade 2013), son *non-teleological*, es decir, que no tienen una trayectoria determinística ("*we make our own history"*). Con esta aserción, lo que quiere remarcar McGlade es que, des de que la Contingencia es a menudo malinterpretada, se utiliza frecuentemente como sinónimo de que los acontecimientos son aleatorios (en el caso de la biología, c.f. Dawkins 1986). Bajo ningún concepto, los acontecimientos contingentes que dan forma a la evolución histórica emergen como construcciones espontáneas o desconectadas, sino que son más bien fruto de precedentes históricos. En este sentido, McGlade expone un fragmente de Stephen J. Gould que expresa la diferencia entre aleatoriedad y contingencia:

> *"I am not speaking of randomness (for E had to arise, as a consequence of A through D, but of the central principle of all history -- contingency. A historical explanation does not rest on direct deductions from laws of nature, but on an unpredictable sequence of antecedent states, where any major change in any step of the sequence would have altered the final result. This final result is therefore dependent, or contingent, upon everything that came before -- the unerasable and determining signature of history"* (Gould 1989: 283 ; c.f. McGlade 2013: 5)

La idea de Contingencia, además, asume que "*the actions that we take in the here and now do indeed have the possibility of changing the world"* (Marks 2007). En este sentido, sabemos por experiencia moderna que los cambios en un aspecto de la sociedad raramente se traducen de forma proporcional en cambios en otros elementos. De hecho, uno de los aspectos que podemos aprender de la evolución de la historia es que "*similar events at different times had vastly different consequences because the setting had to be right for a certain chain of events to occur"* (Bentley and Maschner 2003: 2), lo que en la Teoría de Sistemas Complejos de Von Bertalaniffy se conoce como Equifinalidad

(von Bertalanffy 1950). Ejemplos muy ilustrativos de este fenómeno podemos encontrarlos en escenarios modernos. En 1979, tras la caída del Shah de Irán, el precio del crudo dobló y todas las economías industriales entraron en recesión. En contraste, en 1999 el precio del petróleo también experimentó un crecimiento geométrico pero tuvo un efecto mínimo en la economía de los Estados Unidos. En este sentido, podemos esperar que esto sucediese de la misma manera durante la Prehistoria (Bentley and Maschner 2003).

Bajo esta perspectiva, la evolución social no puede definirse como una secuencia lineal, sino más bien como "*a pathway of a drunk man"* (McGlade 2013), dónde ningún movimiento puede predecirse y su trayectoria es frecuentemente incierta. Su naturaleza es definitivamente estocástica. Este aspecto es fundamental para entender la implementación de la Teoría de Sistemas Complejos en Arqueología (y Ciencias Históricas), en el sentido de la transformación estructural de los sistemas sociales. Según James McGlade (2013), en el lenguaje de la Teoría de la Complejidad éstos procesos involucran una interacción de tanto necesidad como contingencia, generando situaciones de bifurcación de posibilidades (dónde la trayectoria a seguir puede estar condicionada por, i.e., procesos de toma de decisiones humanos). "*In the language of complexity theory, necessity* […] *takes history along a particular path where deterministic processes dominate, until it reaches a critical decission threshold or bifurcation point"* (McGlade 2012: 6). En un proceso histórico cuando se llega a un punto crítico, la contingencia puede jugar un papel importantísimo en dirigir el sistema en una u otra dirección.

Una buena forma de mostrar la importancia de la historia contingente en cualquier sistema social es mediante la Teoría del Caos, uno de los percusores de la Teoría de la Complejidad (Bentley 2003: 11), una temática que sin duda merece su propio apartado.

Caos y Complejidad: uno de los percusores

"Chaos: When the present determines the future, but the approximate present does not approximately determine the future"[9]

La Teoría del Caos estudia el comportamiento de sistemas dinámicos que son altamente sensibles a las condiciones iniciales, un efecto conocido popularmente como "el efecto mariposa". Pequeñas diferencias en las condiciones iniciales (i.e.: error de redondeo en computaciones numéricas) generan diversos resultados en sistemas dinámicos, haciendo la predicción a largo-plazo prácticamente imposible. La primera descripción de la Caos (o Caos determinístico) la encontramos en un artículo de Edward Lorenz (1963) en el que demostraba que el comportamiento caótico era una propiedad de los sistemas determinísticos, esto es que la emergencia de fluctuaciones erráticas y aperiódicas son propias de la dominación de las interacciones complejas en sistemas complejos (i.e.: sistemas sociales) los cuales son endémicamente inestables (Garnsey and McGlade 2006: 5). Estas fluctuaciones altamente irregulares habrían sido anteriormente interpretadas como "ruido" ambiental.

Es imprescindible remarcar la importancia que tuvo la publicación de esta teoría por Lorenz (ha sido citada 11.929 veces[10]). Una vez plantada la semilla del Caos, subsecuentes observaciones de diferentes sistemas, centro de atención de diversas disciplinas, han llevado a que afirmemos, con una razonable certeza, de que *"the seeds of aperiodic, chaotic, trajectories, are embedded in all self-replicating systems, and these intrinsic non-linear interactions have become the object of intensive study".* A primera vista esta estructura de razonamiento parece anunciar a bombo y platillo el rictus post-moderno historiográfico de que no podremos nunca llegar a reconstruir el pasado. Pero lejos de caer en el absoluto escepticismo del Zeitgeist post-moderno, hoy podemos decir que el origen de comportamientos heterogéneos y asimétricos

[9] Danforth, C. M (2013). Chaos in an Atmosphere Hanging on a Wall. *Mathematics of Planet Earth*. Visto en 27/05/2013. Link: http://mpe2013.org/2013/03/17/chaos-in-an-atmosphere-hanging-on-a-wall/

[10] Según el sistema de citas de Google. Link: http://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=edward+lorenz+chaos&btnG=&lr=. Visto el 27/05/2013

observados en los sistemas sociales no son tan intratables como parecen. De hecho, estructuras homogéneas podrían tener orígenes caóticos. Esto, que en un primer momento parece un verdadero Oxímoron, Garnsey y McGlade lo explican brevemente en los siguientes puntos (Garnsey and McGlade 2006: 6):

- *Chaos (that is, structured disorder) is an intrinsic property of all complex systems.*
- *The adaptative significance of chaotic dynamis lies in the provision of increased degrees of freedom in the system, hence the possibility of new evolutionary pathsways.*
- *The presence of chaotic behavior in complex socio-economic systems means that prediction is severely constrained; thus, the long-term behavior of economic markets is essentially unknown, regardless of a profusion of historical data.*
- *Chaos is paradoxical in the sense that it is the product of a deterministic set of events or processes.*
- *The desire to "control" chaos may be decidedly maladaptive and counter-productive. For example, in ecological systems attempts to control environmental events can lead to catastrophic outcomes* (ver ejemplo de los Huli en S. E. Van Der Leeuw 2004).

Emergencia

Los sistemas complejos, lejos de permanecer en un estado de Equilibrio, exhiben propiedades emergentes, "*which are overall patterns greater than the sum of the parts, such that the system may act coherently without domination by a central source"*(Bentley and Maschner 2007). Sin embargo, la búsqueda de una definición para el concepto de "Emergencia" es un tema especialmente controvertido dentro de la filosofía de la Ciencia. De hecho, autores como Timothy Kohler (2011: 7) prefieren

tratar el concepto con cautela, y caracterizándolo una propiedad emergente como una descripción general y nunca como una explicación. Manfred Stöckler (1991) en *A Short History of Emergence and Reductionism,* realiza una revisión del término a lo largo de la historia y argumenta que la propiedad de un objeto es emergente cuando es imposible de deducirla mediante un completo conocimiento de los componentes y de sus relaciones. Una definición similar propuesta en *Holism, Individualism and Emergent Properties* (Gilbert 1996) argumenta que no debería ser posible derivar analíticamente el comportamiento emergente exclusivamente des de la consideración de las propiedades de los agentes. Esto ha tenido especial relevancia en la física, dónde la Mecánica Cuántica aplicable al comportamiento de los átomos no es útil en la escala macroscópica de la materia sólida. A medida que nos movemos hacia el exterior de una cierta escala, los aspectos cuantitativos se convierten en cualitativos y nuevos aspectos cuantitativos emergen del colectivo.

Sistemas Complejos Adaptativos (CAS)

Las Ciencias de la Complejidad, en las últimas décadas, han orientado su investigación en dirección al "*bottom-up"* (i.e.: *Property 4: emergence and self-organization*) y teorizando a nivel micro: el agente. Una definición de Sistema Complejo en base al "agente" la podemos encontrar en la obra de Nigel Gilbert (1996: 4):

> - *The system consists of a large number of interacting agents, operating within an environment. Agents act on and are influenced by their local environment.*
> - *There is no global control over the system. All agents are only able to influence other agents locally.*
> - *Each agent is driven by simple mechanisms, typically condition-action rules, where the conditions are sensitive to the local environment. Usually, all agents share the same set of rules, although because they may*

> *be in different local environments, the actions they take will differ.*

Este aspecto ha llevado a que el paradigma dominante de modelaje sean los modelos multi-agentes. "*Groups of agents, as interacting collectives, are usually defined as multi-agents systems; that is a collection of self-contained problem solving systems.*

Algunos sistemas complejos son a la vez adaptativos. En estos sistemas, los agentes pueden aprender o estar sujetos a procesos de mutación y selección competitiva, o ambos. Es importante remarcar que los Sistemas Complejos Adaptativos son capaces de auto-organizarse a través de mecanismos adaptativos co-evolutivos, que regulan los procesos de adaptación mediante los cuales los agentes tratan de adaptarse simultáneamente a otros agentes. Esta perspectiva ha sido inteligentemente aplicada por Peter Bogucki (Bogucki 2003) en *The Neolithic Settlement of Riverine Interior Europe as a Complex Adaptive System.* En él el autor considera que el establecimiento de las primeras comunidades agropastorales en el centro de Europa – conocidas como la cultura de Cerámica Linear o *Linearbandkeramik (LBK)*- es un fenómeno que debe estudiarse como un Sistema Adaptativo Complejo para poder entenderlo mejor. Bogoucki considera que esta cultura del VI milenio posee una serie de características que la hacen especialmente atractiva a un enfoque CAS:

> - *Households as agents whose developmental cycle provided a "metabolism" that gave the Neolithic diaspora its emergence qualities;*
> - *As a accumulated experience led to reduced costs in mistakes, labor, and start-up effort, the early Neolithic farming system in central Europe would have been subject to increasing returns;*
> - *Initial novelty was winnowed as increasing returns locked in results of initial decisions;*
> - *Sharing of information among individuals and households magnified the effects of local decisions and chance events.*

La intención de Bogucki es reivindicar la posibilidad de identificar una "*CAS signature"* en el registro arqueológico para sugerir futuras investigaciones. La propuesta de Bogucki no deja de ser un reflejo de la necesidad de encontrar alguna herramienta con la que entender procesos No-lineares que emergen en sistemas complejos. Cuando lidiamos con fenómenos complejos para los que no existe un enfoque analítico adecuado (Edmonds 2005), la solución más plausible son los modelos para simulación.

La Teoría de Juegos (Game Theory)

La Teoría de Juegos estudia los modelos matemáticos del conflicto y la cooperación entre "*intelligent rational decision-makers"* (Myerson 1991) que actúan bajo ciertos criterios de interés propio (Maynard Smith 1982). Esta fue formulada por primera vez por Von Neumann y Morgenstern en referencia al comportamiento económico humano, aunque hasta ahora ha sido adoptada por diversas disciplinas. La importancia de la Teoría del Juego en las Ciencias de la Complejidad reside en que forma parte de los esfuerzos iniciales que se hicieron durante los 70 del siglo pasado de simular fenómenos sociales. No obstante, la Teoría de Juegos ha sido sometida a una importante crítica debido a que contempla que los jugadores siempre actúan con el objetivo de maximizar sus beneficios, pero en la práctica, el ser humano actúa muy frecuentemente desviándose de este modelo. Autores como John Maynard Smith desarrollaron, en respuesta a este problema, la *Evolutonary Game Theory*, una aplicación de la Teoría de Juegos a poblaciones de formas de vida en evolución (c.f. Maynard Smith 1982). La Teoría de Juegos en la Teoría de la Complejidad es muy importante para marcar el comportamiento que han de seguir los agentes.

Simulación

La Teoría de Juegos se desarrolló como uno de los primeros esfuerzos intelectuales para simular los fenómenos sociales. La simulación en Ciencias Sociales es un concepto algo resbaladizo y muchos académicos lo usan de diversas maneras. Algunos utilizan el

término como sinónimo de "re-creación" de la realidad. Pero este no es, bajo ningún concepto, el uso que se da a la simulación en el campo de la Complejidad. Tal y como hemos expuesto arriba, plantearnos que la simulación –mediante el modelaje de los fenómenos sociales- es una recreación y puede ser utilizada con fines predictivos es una soberbia incongruencia. Si anteriormente hemos planteado que los Sistemas Complejos, debido a sus dinámicas no-lineales y a sus propiedades emergentes, es imposible predecir sus *outcomes*. Sin embargo, los modelos y la simulación sí que son especialmente útiles cuando se limita su significado a una construcción computacional dinámica, replicante causal y basada en unas normas y se utilizan para producir resultados comprobables o visualizaciones que podrían ser comparadas con observaciones (J. M. Epstein 2008). De hecho, una perspectiva similar ya la predecía el genetista Cavalli-Sforza que escribió que "*one uses models when one cannot find an analytical solution, and one uses simulations when one cannot be sure of the model"* (c.f. Renfrew and Bahn 2005: 168).

De hecho, los modelos computacionales pueden complementar de manera natural los métodos de investigación clásicos en Ciencias Sociales. Entre otras instancias, los modelos permiten probar si los mecanismos o teorías tradicionalmente utilizados para explicar algunos fenómenos son suficientes para entender la evidencia empírica disponible o si existen lagunas o inconsistencias en las explicaciones (Helbing and Balietti 2011).

Herramientas de las Ciencias de la Complejidad y sus aplicaciones en Arqueología: los Modelos basados en Agentes

Sin la pretensión de predecir la trayectoria evolutiva exacta de los Sistemas Complejos, el objetivo de las Ciencias de la Complejidad es entender sus propiedades emergentes y los efectos de los cambios en elementos del sistema (Bentley and Maschner 2007: 17). Traducido al lenguaje de la Arqueología y la Historia, este enfoque no busca en absoluto reconstruir el pasado, sino identificar patrones surgidos de determinados comportamientos. Hasta hoy, los arqueólogos interesados en Sistemas Complejos han importado diversos enfoques a sus análisis – i.e.: *scalling studies*,

modelos basados en agentes o varios métodos basados en redes (Kohler 2011: 10)- aunque han sido los Modelos basados en Agentes (ABM) aquellos que han tenido más relevancia. A continuación se discutirán las posibilidades que plantean los ABM, un nuevo estilo de simulación especialmente agradable en el enfoque de Sistemas Complejos en Arqueología (Kohler 2011: 11; O'Sullivan and Mordechai 2000).

Los Modelos basados en Agentes son una técnica de simulación computacional en el que se pueblan paisajes espaciales específicos con agentes capaces de evaluarlos y de comportarse de acuerdo a una serie de normas que configuran las tomas de decisiones (Diamond 2002). La Simulación Computacional reconstruye, paso a paso, la trayectoria del modelo y la compara con la historia real para comprobar la precisión de la información de entrada en el modelo y las asunciones del modelo. Dependiendo del interés que subyace en la creación del modelo, los agentes pueden representar, por ejemplo, individuales, grupos, compañías o países y sus interacciones. El comportamiento y sus interacciones pueden ser formalizadas con ecuaciones, pero más generalmente pueden ser especificadas a través de normas de decisión. Este hecho convierte al modelo en algo mucho más flexible y además es posible considerar las variaciones individuales en las normas de comportamiento (heterogeneidad) e influencias aleatorias o variaciones (estocasticidad). En el caso de un agente representando a un individuo, Hebing y Balietti (2011: 3) proponen una lista de propiedades las cuales se le podrían atribuir:

- *Birth, death, and reproduction,*
- *Individual needs of resources (e.g. to eat and drink),*
- *Competition and fighting ability,*
- *Toolmaking ability (e.g. the possibility to grow food, hunt etc.),*
- *Perception,*
- *Curiosity, exploration behavior, ability for innovation,*
- *Emotions,*
- *Memory and future expectations,*
- *Mobility and carrying capacity,*
- *Communication,*
- *Learning and teaching ability,*

- *The possibility of trading and exchange,*
- *The tendency to have relationships with other agents (e.g. family or friendship ties etc.)*

Por otro lado, los modelos basados en agentes también parecen ideales para estudiar las interdependencias (no-lineales) entre actividades humanas diversas, tanto simbióticas como competitivas. De esta manera, pueden aproximarse a sistemas económicos y sociales des de una perspectiva ecológica (Helbing & Balietti 2011: 4).

Des de un prisma arqueológico, el potencial de los modelos basado en agentes reside en que permiten aproximarse al rol del individuo en los fenómenos socionaturales a pesar de que no se disponga de *proxies* individuales en el registro arqueológico. Además, estos modelos permiten ejecutar diversas simulaciones para investigar les diversos resultados posibles en procesos socioculturales bajo condicione iniciales diferentes, es decir, los modelos basados en agentes son laboratrios donde diferentes explicaciones pueden ser probadas con una metodología empírica. A continuación expondremos diversos casos de estudio arqueológicos donde se ha utilizado esta herramienta.

The Artificial Anasazi Project

La simulación de la cultura Anazasi es tanto un paradigma como un ejemplo pionero de la aplicación de los modelos basados en agentes. El proyecto "*Anasazi Project"* (Dean et al. 1998) es un estudio de modelos basados en Agentes basado en el modelo *Sugarscape* creado por Joshua M. Epstein y Robert Axtell (J. Epstein and R Axtell 1996). La intención de este proyecto era explorar la manera en que las simulaciones basadas en agentes pueden "*illuminate human behavior in a real world setting"* utilizando el banco de pruebas del prehistórico Long House Valley, una zona del nordeste de Arizona ocupada entre el año 1000 a.C y el 1300 d.C por los Kayenta Anazasi, el percusor de la cultura moderna Pueblo. La simulación Anasazi se plantea en un paisaje con variaciones anuales en la producción de maíz basadas en reconstrucciones empíricas de frecuencia de variabilidad paleoambiental en el área estudiada.

El impacto de este estudio fue doble: a) se probó el potencial de la implementación de modelos basado en agentes y b) se consiguió una mejor comprehensión de la cultura Anazasi. En el primer nivel, se demostró que en Arqueología, los modelos basados en agentes permiten probar hipótesis sobre un fenómeno del que solo tenemos evidencia indirecta –i.e.: fue posible realizar predicciones sobre el uso de diferentes tierras de cultivo en condiciones ambientales diferentes-. Además, ilustra la importancia de factores demográficos y ambientales e ilumina las interacciones que hay entre ellos en procesos de estabilidad sociocultural, variación y cambio. Por otro lado elucidó el rol de la equifinalidad en los procesos socioculturales y en el análisis arqueológico en tanto que se generan resultados a macroescala similares con especificaciones a microescala diferentes. Por último, permiten manipular experimentalmente las formas de comportamiento de los agentes y cuáles son sus respuestas a la variabilidad ambiental.

The Coevolution of Group Size and Leadership: An Agent-Based Public Goods Model for Prehispanic Pueblo Societies

Si la simulación de Epstein y Axtell es un paradigma de la aplicación de los modelos basados en agentes para entender que propiedades emergentes en un sistema complejo (Anasazi), Kohler (Kohler et al. 2011) plantea el uso de los modelos basados en agentes para explorar la forma en que un comportamiento concreto emerge en un contexto similar (cultura Pueblo del sudeste de Colorado): el liderazgo. El modelado y la simulación de Kohler et al. es especialmente significativo ya que se plantea des de un primer momento como una forma de calibrar diferentes hipótesis sobre la formación de sociedades jerárquicas con el registro arqueológico. El modelo utilizado en el artículo es el planteado por Paul L. Hooper, en el que proyecta un proceso voluntario en el que los miembros de una sociedad prefieren vivir en un grupo estructurado jerárquicamente si los líderes son capaces de reducir los fallos de la cooperación debido al parasitismo y a la falta de coordinación.

Las conclusiones son muy reveladoras. Tras la aplicación del modelo de Hooper, se demuestran que las ventajas de vivir en grupos con estructura jerárquica son suficientes

para permitir que los grupos crezcan en tamaño, marginalizando a los grupos no jerárquicos que conviven en el paisaje. En el caso del paisaje planteado en el modelo las primeras muestras de liderazgo aparecieron en el registro arqueológico en torno al 700 d. C y se consolidaron un siglo después. Esto es especialmente relevante ya que en los resultados del modelo, aparecen divergencias significantes entre los tamaños de los grupos jerárquicos y no jerárquicos.

BIBLIOGRAFÍA

Anderson, P., 1972. More is different. *Science*.

Bentley, R. & Maschner, H., 2003. *Complex systems and archaeology: empirical and theoretical applications*, Salt Lake City: University of Utah Press.

Bentley, R.A., 2003. An Introduction to Complex Systems. In R. A. Bentley & H. D. G: Maschner, eds. *Complex Systems and Archaeology. Empirical and Theoretical Applications.* Salt Lake City: University of Utah Press, pp. 9–23.

Bentley, R.A. & Maschner, H. D. G., 2007. Complexity Theory. In R. A. Bentley, H. D. G. Maschner, & C. Chippendale, eds. *Handbook of Archaeological Theories*. AltaMira Press, pp. 245–270.

Bertalanffy, L. Von, 1950. An outline of general system theory. *British Journal for the Philosophy of Science*.

Binford, LR, 1962. Archaeology as anthropology. *American antiquity*, 28(2), pp.217–225.

Binford, S. & Binford, Lewis, 1968. *New Perspectives in Archaeology*, Chicago: Aldine Press.

Bintliff, J., 1999. *Structure and Contingency: Evolutionary Processes in Life and Human History*, London: Casell.

Bogucki, P., 2003. The Neolithic Settlemet of Riverine Interior Europe as a Complex Adaptative System. In R. Bentley & H. D. G. Maschner, eds. *Complex Systems and Archaeology. Empirical and Theoretical Applications.* Salt Lake City: University of Utah Press, pp. 93–102.

Childe, V G, 1957. *The Dawn of European Civilization*, Routledge & Kegan Paul.

Childe, Vere Gordon, 1951. *Man Makes Himself*, New York: New American Library.

Childe, Vere Gordon, 1950. The urban revolution. *Town Planning Review*, 21(1), pp.3–17.

Clarke, D., 1968. *Analytical Archaeology*, London: Methuen.

Clarke, D., 1973. Archaeology: the loss of innocence. *Antiquity*, 47(185), pp.6–18.

Dawkins, R, 1986. *The blind watchmaker: Why the evidence of evolution reveals a universe without design*, W W Norton & Company Incorporated.

Dawkins, Richard, 2006. *The Selfish Gene*, London: Oxford University Press.

Dean, J.S. et al., 1998. Understanding Anasazi Culture Change Through Agent-Based Modelin. *SFI Working Paper*.

Diamond, J.M., 2002. Archaeology: Life with the artificial Anasazi. *Nature*, 419(6907), pp.567–9.

Doran, J., 1970. Systems theory, computer simulations and archaeology. *World Archaeology*, 1(3), pp.289–298.

Edmonds, B., 2005. Simulation and Complexity - how they can relate. In V. Feldmannm & K. Mühlfeld, eds. *Virtual Worlds of Precision - computer-based simulations in the sciences and social sciences*. Lit Verlag, pp. 5–32.

Epstein, J. & Axtell, R, 1996. *Growing artificial societies: social science from the bottom up*, Cambridge, Ma: MIT Press.

Epstein, J.M., 2008. Why Model? *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 11(4).

Flannery, K., 1968. Archaeological Systems Theory and Early Mesoamerica. *Anthropological Society of Washington*.

Garnsey, E. & McGlade, James, 2006. *Complexity and Co-Evolution. Continuity and Change in Socio-Economic Systems*, Cheltenham: Edward Elgar.

Gilbert, N., 1996. Holism, Individualism adn Emergent Properties. In R. Hegselmann, U. Mueller, & K. Troitzsch, eds. *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*. Amsterdam: Kluwer, pp. 1–12.

Gould, S.J., 1989. *Wonderful Life* W. W. N. and Co., ed., New York: Norton.

Heims, S., 1991. *The cybernetics group*, Cambridge, Ma: The MIT Press.

Helbing, D. & Balietti, S., 2011. How to do Agent-Based Simulations in the Future: From Modelling Social Mechanisms to Emergent Phenomena and Interactive Systems Design. *SFI Working Paper*.

Hodder, I., 2001. *Archaeological theory today* Malden, ed., Polity Press.

Kohler, T.A., 2011. Complex Systems and Archaeology. *SFI Working Paper*.

Kohler, T.A. et al., 2011. The Coevolution of Group Size and Leadership: An Agent-Based Public Goods Model for Prehispanic Pueblo Societies. *SFI Working Paper*.

Van Der Leeuw, S.E., 2004. Why Model? *Cybernetics and Systems*, 35(2-3), pp.117–128.

Lorenz, E., 1963. Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the atmospheric sciences*.

Marks, R.B., 2007. *Los orígenes del mundo moderno: Una nueva visión*, Editorial Critica.

Maruyama, M., 1963. The second cybernetics: deviation-amplifying mutual causal processes. *American Scientist*, 51, pp.164–179.

Maynard Smith, J., 1982. *Evolution and the Theory of Games*, Cambridge: Cambridge University Press.

McGlade, J & Leeuw, S. Van Der, 1997. Introduction: Archaeology and non-linear dynamics: new approaches to long-term change. In James McGlade & S. E. Van Der Leeuw, eds. *Time, process, and structured transformation in Archaeology*. London: Routledge, pp. 1–31.

McGlade, James, 2013. Simulation as Narrative: contingency, dialogics and the modelling conundrum. *SimulPast Workpaper (In Press)*.

McGuire, R., 1992. *A Marxist Archaeology*, New York: Academic Press Inc.

McGuire, R., 1983. Breaking Down Cultural Complexity: Inequality and Heterogeneity. *Advances in Archaeological Method and Theory*, 6, pp.91–142.

Mitchell, M., 2009. *Complexity:A Guided Tour (Google eBook)*, New York: Oxford University Press.

Myerson, R.B., 1991. *Game Theory: Analysis of Conflict*, Harvard University Press.

O'Sullivan, D. & Mordechai, H., 2000. Agent-based models and individualism: is the world agent-based? *Environment and Planning A*, 32(8), pp.1409 – 1425.

Renfrew, C. & Bahn, P., 2005. *Archaeology. The key concepts*, New York: Routledge Key Guides.

Saitta, D. & McGuire, R., 1998. Dialectics, Heterarchy, and Wsestern Pueblo Social Organization. *Society for American Archaeology*, 63(2), pp.334–336.

Service, E., 1962. *Primitive social organization: An evolutionary perspective*, Random House.

Stöckler, M., 1991. A short history of emergence and reductionism. In E. Agazzi, ed. *The problem of reductionism in science*. Amsterdam: Kluwer.

Tainter, J., 1990. *The Collapse of Complex Societies*, New York: Cambridge University Press.

Vries, J. De, 1994. The industrial revolution and the industrious revolution. *Journal of economic history*, 54(2), pp.249–270.

White, L., 1959. The Concept of Evolution in Anthropology: Evolution and Anthropology: A Centennial Appraisal. *Anthropological Society of Washington*.

Wood, J.J. & Matson, R.G., 1973. Two models of sociocultural systems and their implications for the archaeological study of change. In C. Renfrew, ed. *The Explanation of Culture Change*. London: Duckworth, pp. 673–683.

Wright, H. & Zeder, M., 1977. The simulation of a linear exchange system under equilibrium conditions. *Exchange systems in prehistory*.