

Nuevos paradigmas de modelización en antropología¹

Carlos Reynoso

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

En relación con los nuevos paradigmas de la complejidad, el caos y la dinámica no lineal han surgido numerosas herramientas apropiadas para la modelización de un número todavía indeterminado (pero seguramente significativo) de procesos y fenómenos culturales. En esta sesión presentaré algunas de dichas herramientas, haré referencia a diversas experiencias de modelización y sugeriré orientaciones para su uso, sin pretensiones de exhaustividad. A fin de aprovechar de manera más eficiente el breve espacio disponible, me concentraré en unos pocos aspectos técnicos de implementación, dado que las cuestiones de carácter teórico ya han sido investigadas en *Teorías y métodos de la complejidad y el caos* (Reynoso 2004). En este sentido, este documento constituye un complemento lo menos redundante posible de la epistemología y los modelos descritos en ese libro; el objetivo puntual es trazar una especie de breve guía tipológica de las técnicas disponibles. Estas técnicas proporcionan elementos de juicio que revelan dimensiones complejas de la cultura rara vez consideradas en la investigación convencional. La presentación necesariamente se referirá a un conjunto de herramientas que en la actualidad se encuentra disponible en la Web, pero que podría no estarlo más adelante, o evolucionar en un sentido imposible de prever. La idea, empero, no es describir dichas herramientas que son por naturaleza variables y contingentes, sino establecer unos cuantos indicios respecto a técnicas de implementación representativas de un momento particular del desarrollo tecnológico, en el cual los conceptos de la complejidad y el caos comienzan a encontrar su camino en la práctica disciplinaria.

Antes de comenzar la exploración, cabe proponer una clasificación provisional de las herramientas disponibles.

1. Sistemas dinámicos emergentes (o sistemas complejos).

1.1 – Autómatas celulares (AC)

¹ Trabajo presentado en el Simposio de Paradigmas Avanzados en Antropología, México,

1.2 – Redes booleanas aleatorias (RBA); vida y sociedades artificiales

1.3 – Modelos basados en agentes (MBA)

1.4 – Programación evolutiva y algoritmo genético (AG)

1.5 – Redes neuronales (RN)

2. Modelización fractal

2.1 – Determinación de la dimensión fractal

2.2 – Síntesis de fractales básicos

2.3 – Modelización de fractales de difusión y teoría del paisaje fractal

2.4 – Sistemas de funciones iteradas (IFS)

2.5 – Sistemas recursivos (L-Systems)

La presentación siguiente involucra un recorte exploratorio de una totalidad mucho más amplia, que se encuentra además en acelerado proceso de expansión.

1. Sistemas dinámicos emergentes (sistemas complejos)

Este conjunto de algoritmos y formalismos se materializa como una amplia colección de programas basados en unidades que pueden adoptar la forma de células, habitualmente bidimensionales (ACs, RBAs, MBA), poblaciones de ejemplares (AG) o neuronas (RN). Dichos programas pertenecen a una clase caracterizada como programación “de abajo hacia arriba”, en la que se presentan propiedades emergentes del sistema como resultado de la interacción de dichas unidades. Estas propiedades no son susceptibles de predecirse, dada la amplitud exponencial del espacio de soluciones. Dado el carácter contraintuitivo que manifiestan las interacciones de elementos o agentes, la utilidad de esta clase de instrumentos para las ciencias sociales es más bien obvia. Cada vez que se ha trabajado con ellos, han revelado consecuencias “sorprendentes” de las reglas del juego, permitiendo experimentar el surgimiento de la complejidad como un emergente de elementos y reglas unitarias sumamente simples.

1.1 – Autómatas celulares

La simulación, afirma John Casti (1997), está cambiando las fronteras de la ciencia. Los autómatas celulares, una herramienta especialmente dotada para modelos de simulación, son la puerta de entrada a las herramientas de la complejidad. Se presentan como hileras o grillas de celdas que pueden estar en diversos estados, y que se someten a reglas de transición, cuyo efecto puede variar conforme al estado en que se encuentran ellas y sus vecinas. Debido a que hace mucho está probado que los autómatas celulares poseen capacidad de computación general (dado que ciertas configuraciones pueden conservarse como memorias, relacionarse como operadores lógicos y auto-reproducirse) se los utiliza para modelizar cualquier proceso o idea que articule sus metáforas basándose en la existencia de elementos discretos que se relacionan entre sí a través del tiempo y/o el espacio.

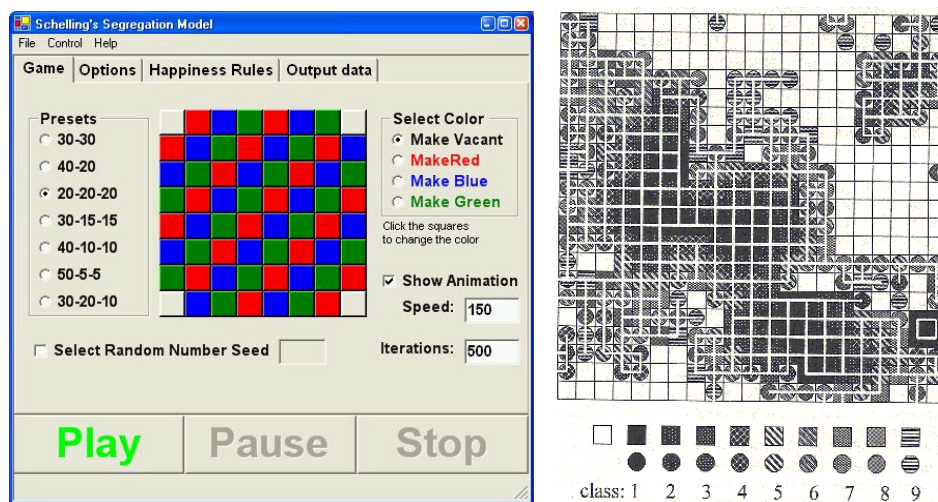


Fig. 1 – Autómatas celulares

La figura 1 muestra sólo algunas de las aplicaciones más simples y expresivas de los ACs: a la izquierda, el modelo de segregación del sociólogo Thomas Schelling, en la implementación de Chris Cook; a la derecha, un refinado análisis de procesos de migración de Rainer Hegselmann (1998: 53).

Numerosos problemas que se saben intratables mediante procedimientos analíticos han tenido resolución aceptable mediante autómatas celulares. Se los ha utilizado en dinámica social (Hegselmann, Leydesdorff, Gaylord), modelización económica (Hogeweg), vida artificial (Langton), economía territorial (Marino), estudios de la configuración fractal de ciudades (Batty, White, Engelen), dinámica de la corrupción (Wirl), simulación militar

(Pew, Mavavor), estudios de la influencia y el poder (Friedkin, French), lógica y semántica formal (Grim), sistemas de información geográficos (Benenson), diseño urbano (Dijkstra), diseño textil (Martin Schneider, Pippa Drew, Dorothy Wallace), etcétera. Las aplicaciones en diversas disciplinas han sido masivas, la bibliografía se cuenta por decenas de miles, y es sólo la antropología, sin duda por efecto de una larga siesta interpretativa y posmoderna que ya lleva 30 años, la disciplina que se encuentra más demorada en la adopción de los ACs como una herramienta regular.

1.2 – Redes booleanas aleatorias – Vida y sociedades artificiales

Las RBAs conforman una versión más versátil y general de los autómatas celulares, propuesta por Stuart Kauffman, en la cual las relaciones de conexión sustituyen a los criterios de vecindad. Desde el punto de vista de su disponibilidad, las buenas aplicaciones de RBA no son tan frecuentes como las de ACs, y su manejo requiere ya algunos conocimientos especializados, ya sea de complejas interfaces de parametrización o de lenguajes de propósito general.

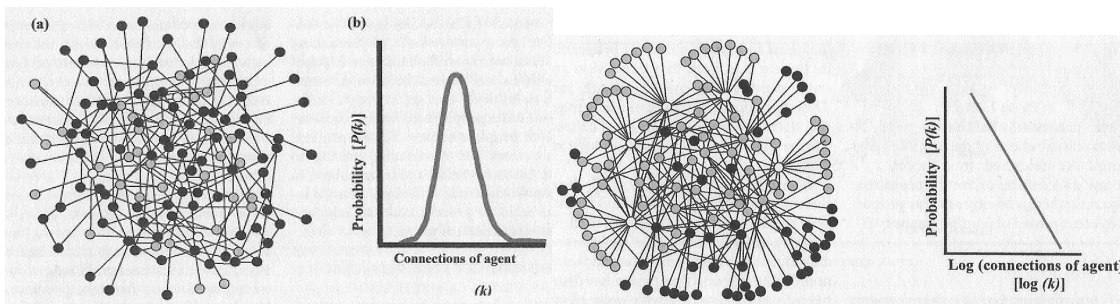


Fig. 2 – Redes booleanas aleatorias

Algunos arqueólogos han comenzado a explorar el terreno de las redes booleanas y sus derivaciones, aunque todavía se encuentran en una etapa visiblemente preliminar; esta situación es atribuible en buena medida al carácter poco amigable del software de modelización y a la especificidad de una semántica en la que de inmediato aparecen conceptos tales como atractores extraños, cuencas de atracción, paisajes de adecuación y distribuciones $1/f$. La imagen de la figura 2 muestra a la izquierda una red con conectividad al azar, correlativa a una distribución normal; a la derecha se muestra una red con conexiones independientes de escala, correspondiente a una distribución de ley de potencia (también llamada ruido $1/f$, distribución de Zipf o de Pareto). La imagen ha sido adaptada de

Marschner y Bentley (2003: 50, 51), compiladores de la primera colección (todavía un poco programática y rudimentaria) de artículos sobre arqueología y complejidad.

1.3 – Modelos basados en agentes (MBA)

Los modelos basados en agentes son una evolución natural de los ACs y RBAs. En ellos, el espacio suele ser heterogéneo y no necesariamente se articula en grillas. Las reglas que rigen las interacciones de los agentes acostumbra ser más complejas, e incluso pueden variar en función del tiempo o de conjuntos de condiciones, incluyendo probabilidad. La modelización basada en agentes se puede realizar desde cero programando en lenguajes de propósito general, o bien se puede tomar como punto de partida una realización ya programada y adaptarla a las variables y relaciones de otra investigación. Todavía no existen herramientas que permitan a la vez una especificación de alto nivel y que posea versatilidad suficiente. Con todo, el campo de la MBA posee ya una buena docena de trabajos clásicos.

Una aplicación clásica de MBA es la de Epstein y Axtell (1996) referida al polémico modelo Sugarscape. Esta conocida implementación es de carácter abstracto, por lo que no llega a conclusiones empíricas referidas a ninguna sociedad o acontecimiento histórico en particular. Constituye, empero, una estructura modélica a partir de la cual se puede pensar en modelizar fenómenos tales como formación de coaliciones, intercambio y trueque, evolución social bajo reglas, conflictos, economía, evolución cultural y muchas otras categorías procesuales. Todo depende, en última instancia, de la imaginación del estudioso. El carácter lúdico y deliberadamente esquemático de la presentación de Epstein y Axtell (los agentes luchan por azúcar) ha sido tal vez contraproducente para la aceptación disciplinaria de su modelo, con el cual se han podido modelizar complejos modelos económicos, dinámicos y ecológicos. Los antropólogos pueden parametrizar con suma facilidad la versión en binario de los modelos de Sugarscape, aunque no se ha publicado aún el código fuente.

La ilustración muestra la simulación montada por Epstein y Axtell de un proceso de evolución social bajo reglas, al lado del mismo modelo ejecutándose en el programa AScape, una aplicación de dominio público. Otras secciones de la misma aplicación implementan

problemas relacionales que cada vez más se están viendo como el dominio propio de la modelización basada en agentes, que es mucho más versátil (y harto menos lineal) que las bien conocidas técnicas de redes sociales.

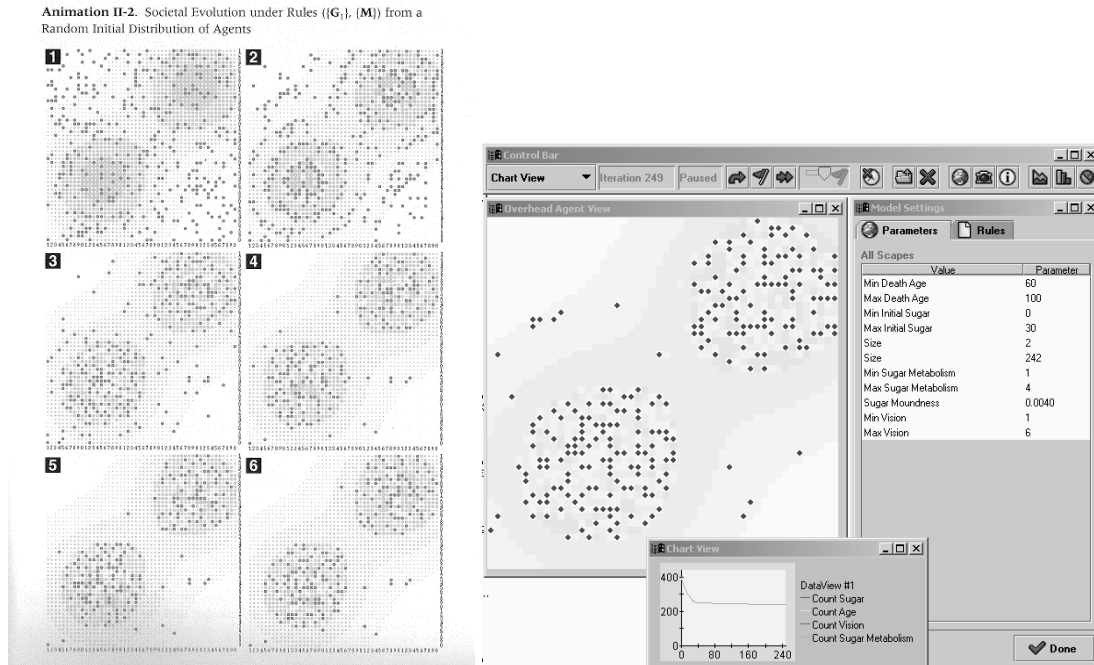


Fig. 3 – Modelos basados en agentes

Ligada a la programación basada en agentes se encuentra toda una variedad de se conoce con nombres tales como vida artificial, sociedades artificiales o culturas artificiales. Ecólogos, sociólogos y antropólogos, respectivamente, disponen de un amplio conjunto de herramientas para poner a prueba modelos heterogéneos que implementan de maneras más o menos realistas los conjuntos de entidades, variables y reglas que el estudio necesite coordinar para experimentar con los efectos emergentes de sus interrelaciones.

La imagen de la figura 4 muestra una sesión del modelo de Anasazi Artificiales ejecutándose en el programa AScape. El estudioso puede modular variables referidas a necesidades nutricionales, edades de defunción mínimas y máximas, período de fertilidad, variación de la cosecha anual, tamaño de las unidades domésticas, distancias de las fuentes de agua y muchos otros parámetros, y observar la concordancia entre la evolución del modelo a lo largo del tiempo con los datos arqueológicos conocidos. Los modelos basados en agentes pueden ser entonces maravillosamente detallados y complejos; siempre existe el peligro, empero, de agregar demasiado detalle, lo que por un lado puede desatar

consecuencias no lineales que alejen el modelo de un comportamiento realista, o puede hacer que, al contrario, el comportamiento del mismo se torne inevitable.

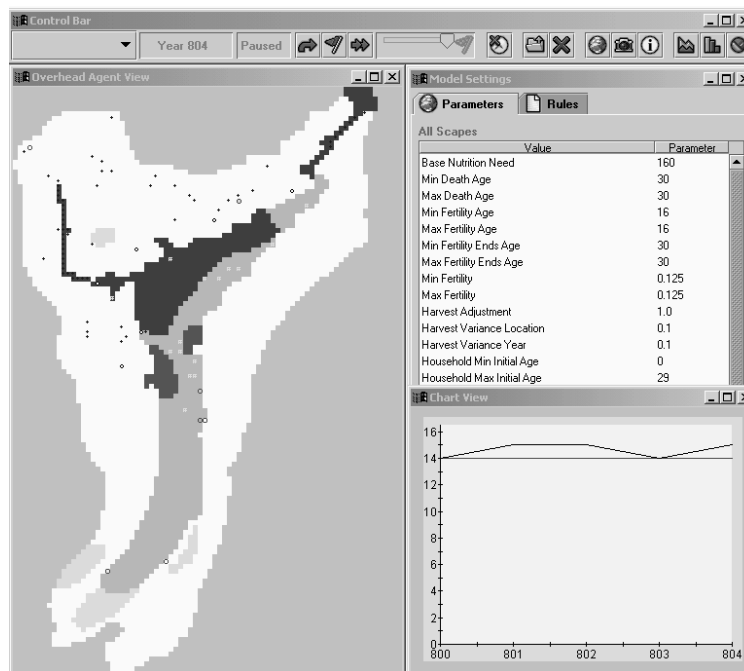


Fig. 4 – Culturas artificiales

1.4 – Programación evolutiva y algoritmo genético (AG)

Las conferencias GECCO (Genetic and Evolutionary Computational Conference) constituyen una de las pruebas más contundentes del estatuto central que las teorías y las técnicas evolutivas tienen hoy en día en el contexto mayor de las ciencias de la complejidad y el caos. Todos los años, miles de estudiosos presentan cientos de papers sumamente técnicos, proporcionando las bases de fundamentación o poniendo en práctica miles de algoritmos, heurísticas y tecnologías. El algoritmo genético y la programación evolutiva son hoy, sin duda, la fuente de una de las más poderosas herramientas de optimización, búsqueda y resolución de problemas en un amplio conjunto de disciplinas. Se los utiliza para diseñar circuitos complejos, modelizar procesos biológicos, pintar cuadros o componer música, y a menudo se lo encuentra en combinación con otras técnicas, en particular modelos basados en agentes o redes neuronales.

Los algoritmos genéticos no están ligados a ninguna forma específica de configuración de interfaces; aunque su metáfora es muy fuerte, caren de una signatura visual representativa. Mientras las otras técnicas poseen un correlato iconológico definido, los algoritmos

son sólo procedimientos susceptibles de implementarse en el interior de cualquier programa. La imagen muestra un programa ad hoc desarrollado para generar “poblaciones” cuyo criterio de adecuación se expresa en esta ocasión mediante la correspondencia con una frase de 27 caracteres cuyo valor es “ALGORITMO GENETICO EN EL DF”. De más está decir que el criterio podría ser de cualquier otra naturaleza o estructura.

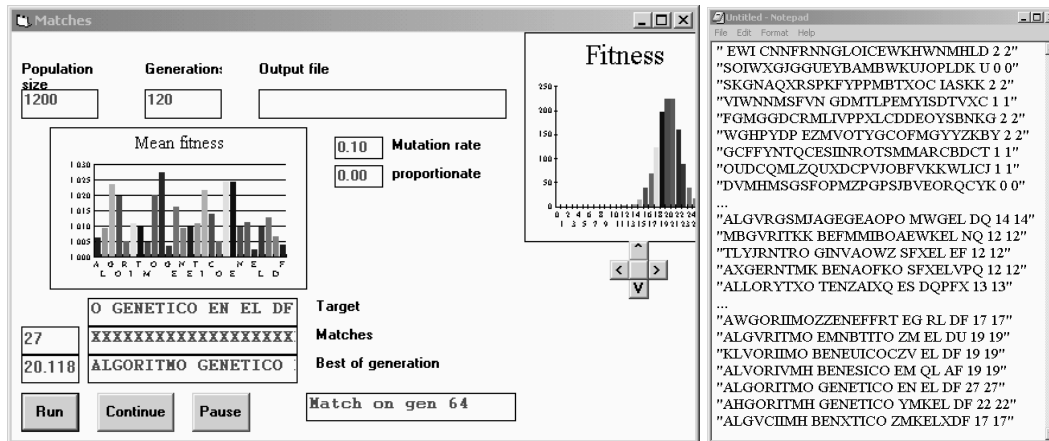


Fig. 5 – Algoritmo genético

El punto es que una expresión semejante presupone un campo de posibilidades (un espacio de búsqueda) de 27^{27} , el cual es una magnitud ultra-astronómica, del orden de los quintillones. A la derecha se muestran segmentos de población en la generación inicial, en una generación intermedia y en el momento de la resolución. En sólo 64 generaciones partiendo de una población de 1200 ejemplares generados al azar, el algoritmo fue convergiendo a ciegas hacia el criterio especificado, lo cual es una especie de milagro matemático. Esa clase de herramientas poderosas, inspiradas en una metáfora natural y evolutiva, es hoy en día una constante en el repertorio técnico de las ciencias de la complejidad.

1.5 – Redes neuronales (RN)

Las redes neuronales son programas de inteligencia artificial basados en una compleja articulación de entidades (neuronas o axones), conexiones (sinapsis), valores (pesos) y algoritmos de aprendizaje que se utilizan para resolver problemas que exigen capacidades gestálticas y que son intratables por métodos analíticos. Hoy en día existen un número enorme de tipos o topologías de redes neuronales, sumados a otros tantos algoritmos de entrenamiento y optimización. Sólo para dar una idea de las categorías disponibles ex-

pondré una lista construida sin pretensiones de exhaustividad de las arquitecturas más comunes. Ellas son:

a) Redes de encadenamiento hacia adelante

- 1) Adalines
- 2) Madalines
- 3) Perceptrones
- 4) Perceptrones de múltiples capas
- 5) Redes de encadenamiento hacia adelante generalizadas
- 6) Redes de Función de Base Radial (RBF)
- 7) Memorias asociativas
- 8) Redes de análisis de componentes principal (PCA)
- 9) Redes de Kohonen
 - 9.1) Mapas de rasgos auto-organizantes de Kohonen (SOFM)
 - 9.2) Redes de cuantificación de vector (VQ)
 - 9.3) Redes de cuantificación de vector de aprendizaje (LVQ)

b) Redes recurrentes

- 1) Redes de Hopfield
- 2) Máquinas de Boltzmann
- 3) Redes de Elman
- 4) Redes de Elman jerárquicas extendidas
- 5) Redes de Jordan
- 6) Redes de resonancia adaptativa
- 7) Redes recurrentes generalizadas
- 8) Time lagged recurrent networks
- 9) Redes de análisis de componente principal

Hace ya largo tiempo que el campo tiene bastante poco que ver con el retrato agonístico que promueven divulgadores como Arthur Winograd, Hubert Dreyfus o Francisco Varela, que pinta una guerra sin cuartel entre los conexionistas y los partidarios de la programación lógica basada en sistemas físicos de símbolos. En la actualidad se reconoce que la problemática de las redes neuronales es fundamentalmente de carácter estadístico (son un modelo asociacionista de aprendizaje) y no guarda ya una relación seria con lo que se sabe o se ignora hoy en día sobre el funcionamiento cerebral.

Sólo para dar una idea de la configuración de interfaces con las que trabajan los modelizadores en redes neuronales, el dibujo muestra un esquema de una red de asociación li-

neal implementada en Neuro Solutions, que puede ser entrenada para reconocer tipos complejos de representación y adjudicarlos a categorías. En el presente modelo se ingresan tantas fotografías de objetos como se deseen en la capa de entrada, correlativas a archivos de salida donde se indican (en modo texto o binario) las categorías a las que esas fotografías pertenecen. Las fotografías deben ser todas necesariamente del mismo tamaño y modalidad de color, aunque puede variar la resolución, el ángulo o la posición en el cuadro; en este caso se consideran imágenes de clases de motivos de arte rupestre.

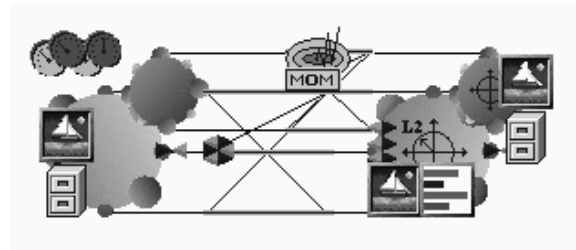


Fig. 6 – Red neuronal

Una vez entrenada la red con un número suficiente de ejemplares, el dispositivo asociativo está en condiciones de adjudicar ejemplares no conocidos a las clases conocidas. Otro uso, aún más importante, es el de acomodar el conjunto de ejemplares que han pasado por la capa de entrada en un número arbitrario de clases, conforme a las correspondencias gestálticas de sus patrones. El investigador puede de este modo averiguar si sus criterios clasificatorios coinciden con lo que resulta de una taxonomía objetiva, no sesgada por el conocimiento previo del instructor. También es digno de señalarse que el período de entrenamiento de una red conviene que no sea demasiado extenso; si se excediera de la medida conveniente, la red podría tender a “memorizar” su reconocimiento diagnóstico, en lugar de aplicar criterios estadísticamente válidos. Otras clases de redes más refinadas, como los mapas de rasgos auto-organizadas de Teuvo Kohonen, no requieren entrenamiento asistido y aprenden por sí solas.

Para que se aprecien las variaciones posibles en el diseño de interfaces gráficas y en las variables a las que se tiene acceso, esta otra imagen corresponde a una red neuronal de múltiples capas ejecutada en el programa JavaNNS de la Universidad de Tübingen en el proceso de aprender a distinguir las letras del alfabeto con tipología variable y presencia de indeterminación.

La mayoría de los antropólogos que han trabajado en términos conexionistas ha realizado sus modelos en base a lápiz y papel, lo cual dista de ser técnicamente aceptable. Por más que abundan programas de fácil acceso que facilitan las cosas, la modelización con redes neuronales es una tarea sumamente especializada que demanda, por lo menos, familiaridad intensiva con alguna aplicación particular (JavaNNS o Neuro Solutions serían mis recomendaciones) y algún entendimiento de las complicadas estadísticas involucradas en el proceso.

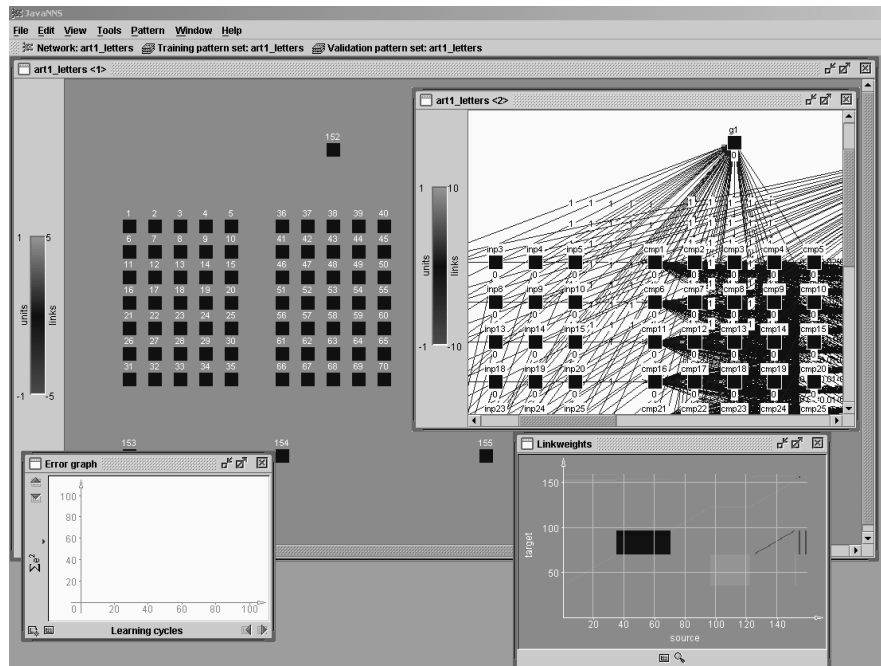


Fig. 6 – Red neuronal

Como recompensa, el antropólogo podrá utilizar redes neuronales para que una red identifique ejemplares correspondientes a un estilo de representación o para que clasifique los mismos en cantidades variables de clases en base a criterios gestálticos de reconocimiento de patrones. Se podrán ganar así órdenes de magnitud en la comprensión reflexiva de procesos clasificatorios de cuya complejidad inherente nuestros profesionales casi nunca tienen una idea adecuada.

2 – Modelización fractal

La geometría fractal, explorada en detalle en mis textos más recientes (Reynoso 2004), atraviesa todo el campo de la dinámica no lineal, la complejidad y el caos. No es sólo una bella forma de generar imágenes extrañas, sino una poderosa herramienta de comprensión, análisis y síntesis. La problemática fractal relevante para la antropología es amplísima; en esta presentación sólo habrá lugar para mencionar unas pocas técnicas informáticas de modelización relacionadas con ella.

2.1 – Dimensión fractal

Es sabido que las figuras de la geometría fractal poseen una dimensión que, a diferencia de lo que es el caso en la geometría euclídeana, asume un número no entero. Aplicada a diseños ornamentales, formas y patrones de asentamiento, esta dimensión fractal puede proporcionar un indicador significativo de una pauta cultural, susceptible de compararse a través de la misma unidad societaria, o en contraste con otros valores de otras sociedades, o a lo largo del tiempo. Dada la variabilidad de dicha dimensión conforme a la técnica de medida, pienso que no es suficiente establecerla sin especificar con claridad el método aplicado y los valores de representatividad y contraste. Casi todos los objetos naturales o culturales exhiben una dimensión fractal con mayor probabilidad que una dimensión entera; por lo tanto, sólo mediante una cuidadosa elaboración comparativa tendrá sentido establecerla.

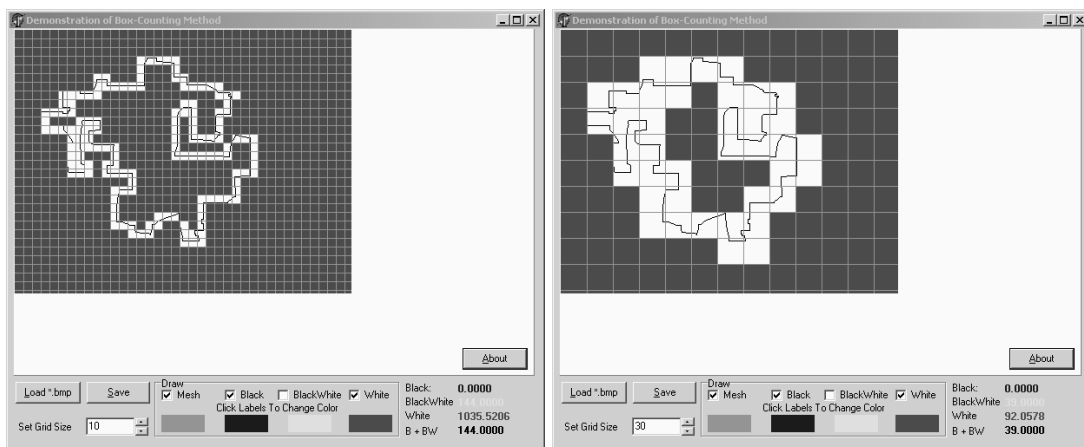


Fig. 7 – Dimensión fractal

Para determinar la dimensión fractal de un perímetro el método más simple y común es el del conteo de cajas. Sometiendo la figura a una cuadrícula sucesivamente subdividida (2x2, 4x4, 8x8, etc) se podrá determinar su dimensión fractal ploteando en un gráfico el logaritmo de la unidad de cuadrícula contra el logaritmo del número de cuadros por los que pasa el perímetro. Si se obtiene una línea recta oblicua, se dirá que se está en presencia de una forma fractal. Esa línea recta corresponde además a una distribución de ley de potencia, y es un indicador poderoso que establece que el objeto que se está tratando no obedece al azar. Si bien el método puede aplicarse en forma manual con entera facilidad, existen numerosos programas que pueden asistir en la operación de cómputo, tales como el Box Counting Method de la Universidad Tecnológica de Brno que ilustra la figura 7, capturada en el momento de tratar un perímetro arbitrario. Correlativo a esa aplicación es HarFA, uno de los analizadores de dimensión fractal más versátiles que conozco, aunque su fundamentación matemática sea realmente compleja y no muy fácil de comprender. La pantalla de la figura 8 muestra esa aplicación en el proceso de realizar el análisis de pendiente y de dimensión fractal sobre el mismo contorno.

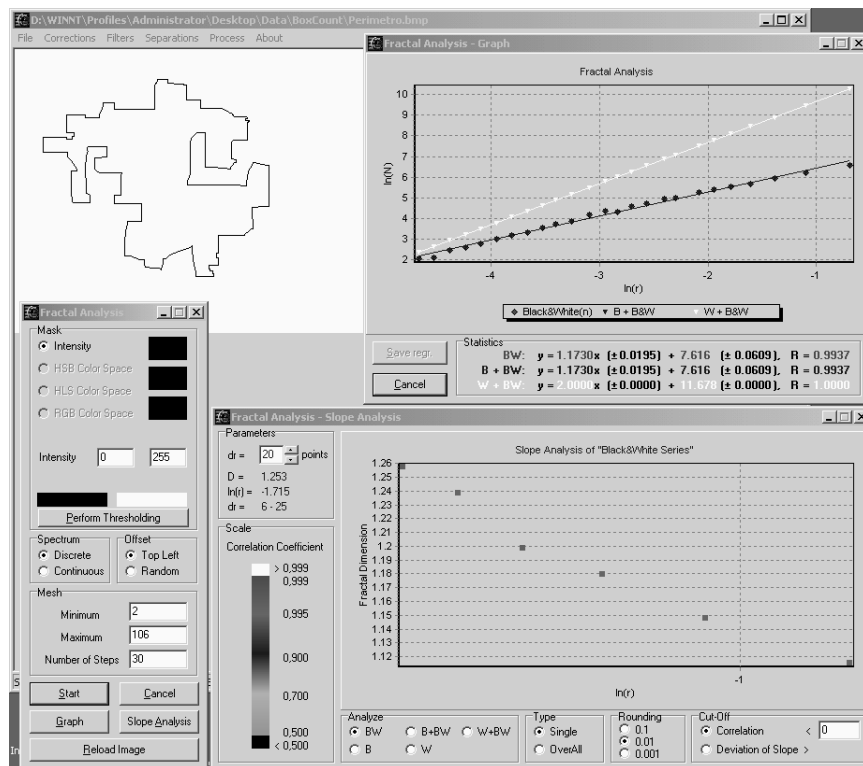


Fig. 8 – Dimensión fractal

Por más elaboradas que sean las técnicas y las herramientas, hoy en día ya no resulta suficiente determinar la magnitud absoluta de la dimensión fractal de un objeto cultural cualquiera y dejar las cosas allí. De más está decir que no corresponde aplicar esa medida a un objeto que no posea una entidad unitaria y completa, como por ejemplo un yacimiento a medio excavar y no claramente delimitado. Tampoco es correcto proporcionar un número dimensional sin especificar el método aplicado, ya que las dimensiones tienden a variar tanto como varían otros valores estadísticos en análisis espacial, por ejemplo, conforme se articule la orientación y la escala de la cuadrícula. Aún en un programa sofisticado como HarFA (que brinda opciones de filtrado, magnificación de contraste, homogeneización de luminosidad, determinación de bordes por el método de gradientes, de Laplace o de Sobel), una línea perimetral de trazo un poco más grueso puede arrojar una medida dimensional sustancialmente distinta.

Hay por cierto métodos más complejos e inteligentes que el conteo de cajas, como el método de rango o los análisis armónicos uni o bidimensionales; pero muchas veces puede sospecharse que, a los fines científicos, se puede correr el riesgo de aplicar una matemática exageradamente sutil a un tema que admite una solución aproximativa. Hay que decir, por último, que casi todas las formas no euclidianas poseen una dimensión fractal; lo raro sería encontrar una forma de la realidad que no sea fractal en alguna medida. Esa magnitud sólo tendrá sentido, entonces, en un contexto comparativo y en tanto se la pueda asociar a una significación cultural específica.

2.2 – Síntesis de fractales básicos

Siendo característica esencial de los fractales la recursividad (al lado de la auto-similitud y la dimensión fraccional), es bastante extraño que el concepto rara vez figure ya sea en la literatura técnica de la nueva geometría o en los estudios antropológicos. El principio de recursividad caracteriza primariamente a los llamados fractales elementales: el conjunto o polvo de Cantor, las curvas “monstruosas” de Hilbert, von Koch, Cesàro y Peano.

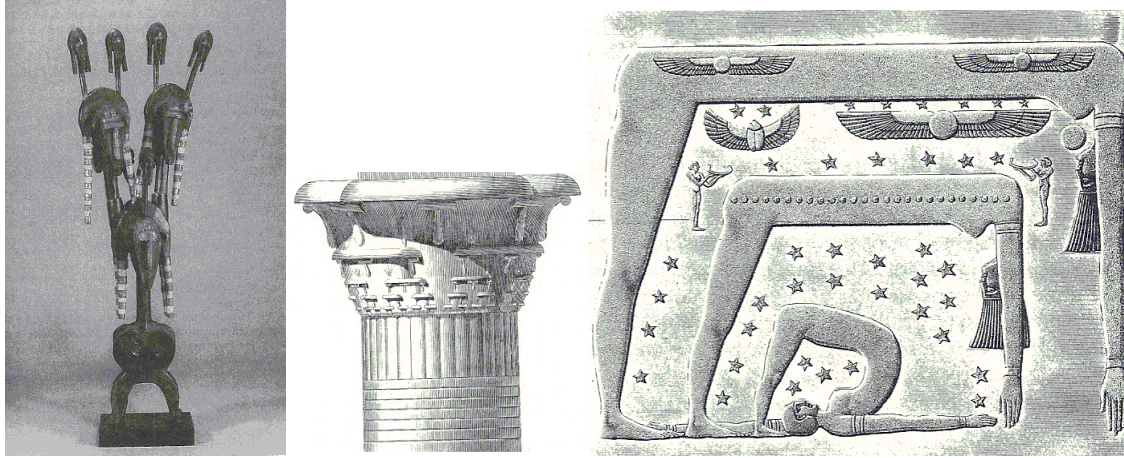


Fig. 9 – Recursividad

Las herramientas para la comprensión y el tratamiento de los fractales más claramente recursivos son innumerables. Cualquiera de los programas listados en el apéndice sirve para producir imágenes recursivas (sistemas-L) o iterativas (IFS). Ambas clases, y otras más, se pueden tratar en términos puramente iconológicos o manipulando ya sea las gramáticas o las matrices de reducción de copia correspondientes, como se verá más adelante. Las imágenes muestran tres instancias culturales para las cuales alguna forma de tratamiento recursivo sería relevante. La primera corresponde a una marioneta merenkun de los Bamana con auto-referencias en tres magnitudes de escala; la segunda es un capitel egipcio que exhibe claramente un proceso recursivo análogo al que genera el conjunto del polvo de Cantor; la tercera es una representación cosmológica egipcia con tres niveles de anidamiento recursivo (Eg lash 1997: 119).

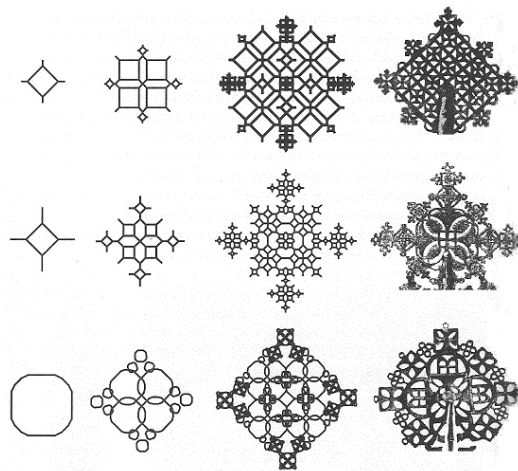


Fig. 10 - Recursividad

Numerosas herramientas fractales o simplemente geométricas permiten comprender mejor las ideas que se encuentran en las configuraciones repetitivas, anidadas, auto-referenciales. Las imágenes de la figura 10 aclaran el proceso constructivo de cruces recursivas de Etiopía según Ron Eglash (1997: 136), las cuales podrían generarse con las herramientas recursivas e iterativas que describiré más adelante.

2.3 – Modelos fractales de difusión y teoría del paisaje fractal

Diversos modelos ligados al paradigma de la complejidad involucran diferentes configuraciones de “paisajes” virtuales (de alguna manera análogos a las topologías de la teoría de catástrofes o a los paisajes epigenéticos de Waddington) que deben ser recorridos ya sea para determinar óptimos máximos o para encontrar valores mínimos. Casi siempre dichos paisajes son topológicamente equivalentes a fractales de tipo plasma o difusión; estos también pueden utilizarse para parametrizar una tipología de texturas y pátinas, la cual a su vez podría ser de uso para clasificar niveles de microdesgaste u otras clases de fenómenos. Dada la extrema variedad de procedimientos estadísticos y geometrías existentes para el análisis y la síntesis de texturas, es improbable que una tipología fractal llegue a generalizarse entre los estudiosos en el corto plazo. Aún así, el investigador puede organizar sus propios materiales en función de parámetros simples en algunos de los programas en uso.

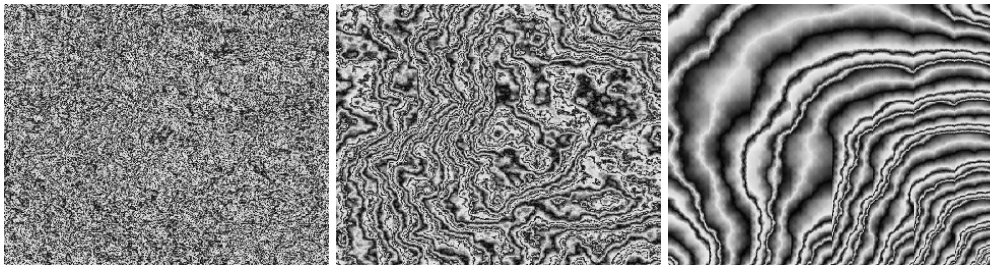


Fig. 11 – Plasmas MPD

Supongamos que un arqueólogo desea establecer una tabla que contemple la menor cantidad de variables posibles para describir aproximadamente una densidad de textura. ¿Cuál sería el procedimiento? ¿Cuáles son las nomenclaturas y dimensiones estándar? La geometría fractal está proporcionando algunas parametrizaciones relativamente simples. La ilustración de la figura 11 muestra la modulación de un plasma de desplazamiento de punto medio articulando la variable H , que determina la dimensión del objeto, utilizando

el programa Chaos Pro. La serie ilustra ejemplares para valores de H de -0.1433 , 0.96 y 14.92 , manteniendo las demás variables constantes.

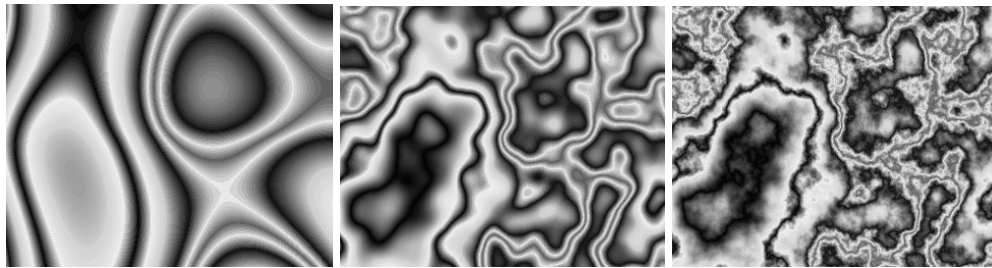


Fig. 12 – Plasmas brownianos

La serie de la figura 12 ilustra cuatro variantes de mismo plasma de movimiento browniano con 1, 4 y 20 iteraciones. Recurriendo a aplicaciones como ésta, el investigador dispone de una forma práctica y unívoca de ponderar configuraciones rugosas que no admiten una simple descripción verbal. De más está decir que los plasmas bidimensionales son fácilmente convertibles a paisajes tridimensionales.

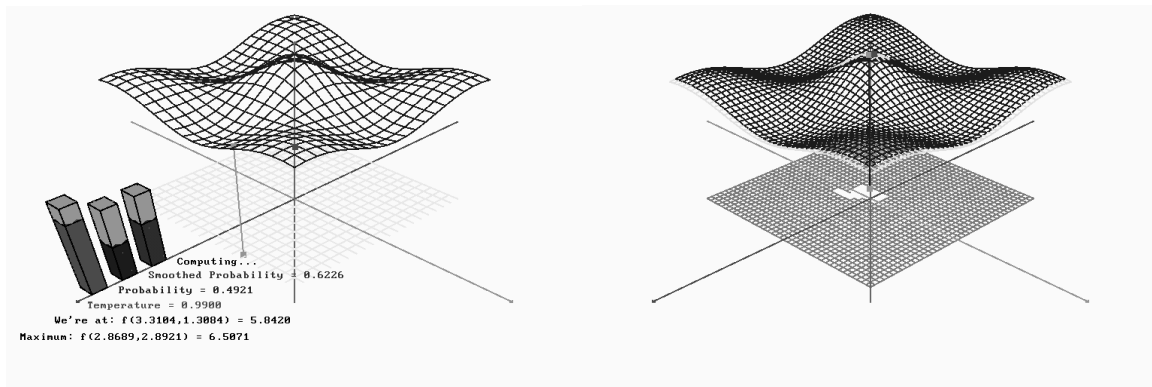


Fig. 13 – Paisajes estadísticos

Estas otras pantallas, a su vez, reproducen un paisaje de simulación de templado y una búsqueda tabú, dos de las técnicas metaheurísticas más conocidas, utilizando los programas provistos por el investigador Alberto Moreira. Cabe aclarar que la noción de “valor” o “paisaje de adecuación” (*fitness landscape*) en un espacio métrico abstracto es un concepto importante en teoría evolutiva. Cuando se encuentran paisajes fractales en el espacio de búsqueda, ello no tiene sólo un interés estético o valor de curiosidad, sino que el hecho está ligado además a una interpretación matemática particular: los paisajes fractales son bien conocidos indicadores de complejidad, muy diferentes, por ejemplo, a un mero ruido blanco. De hecho, un paisaje fractal es un indicador fundamental en las redes

booleanas NK o en los autómatas celulares de tipo complejo. Las consecuencias de dichos escenarios han sido delicadamente estudiadas en la nueva y emergente teoría del paisaje (Weinberger y Stadler 1993; Stadler 1995).

2.4 – Sistemas de funciones iteradas (IFS)

El análisis y síntesis de imágenes con regímenes de auto-similitud mediante el llamado Juego del Caos (o teorema del collage de Barnsley) involucra por un lado una extrema economía de representación y por el otro una lógica relativamente complicada, que obliga o bien a familiarizarse con programas aplicativos con diferentes clases de interfaces, o a saber lo que se está haciendo cuando se manipulan matrices algebraicas.

Las imágenes que he incluido en la figura 14 consisten en dos o tres millones de puntos, pero han sido generadas a partir de operaciones elementales sobre matrices sencillas de 20 o 30 elementos. Los fundamentos matemáticos no son en sí prohibitivamente complejos, pero el antropólogo debe saber que deberá consagrar algo así como una semana intensiva de su tiempo antes de poder modular las representaciones y sacar provecho de la técnica. Las operaciones involucradas en la síntesis de figuras iteradas son matemáticamente simples (básicamente sumas y multiplicaciones vectoriales en matrices) y el estudio no debe ni siquiera hacerlas manualmente, ya que los programas de IFS lo hacen mejor. Las seis operaciones geométricas concomitantes (copia, desplazamiento, reducción, inversión, rotación, estiramiento) también son fáciles de comprender. El problema radica en intuir cuáles y cuántas son las matrices o máquinas de reducción de copia que sintetizan la información que se requiere para producir una imagen.

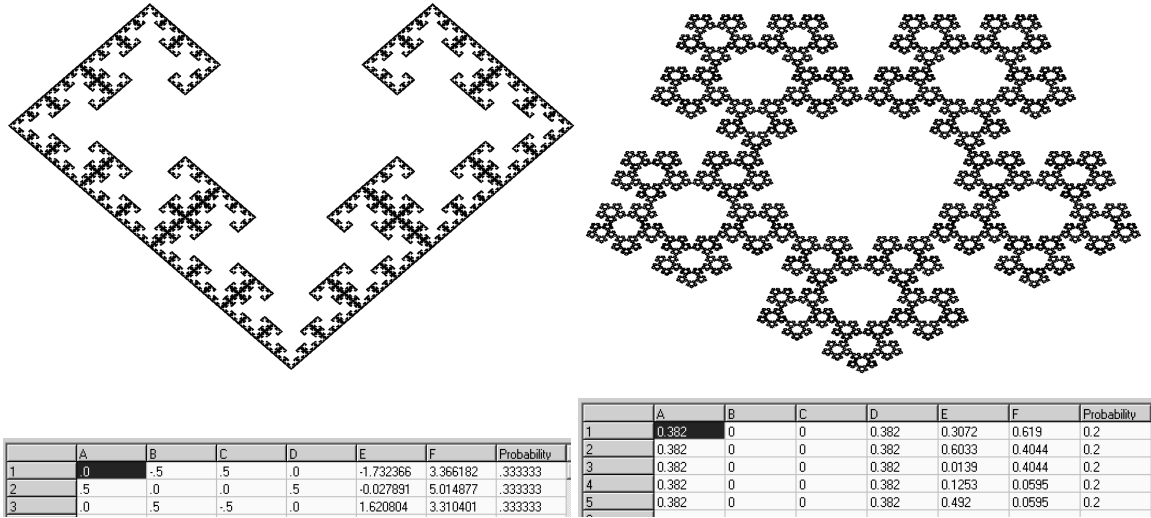


Fig. 14 – Sistemas de funciones iterativas

Algunos programas de generación de fractales, como Fractal Explorer, IFS Design, SteveCIFS o Brazil permiten tratar las matrices no sólo mediante notación numérica, sino mediante el posicionamiento gráfico de las máquinas de copia.

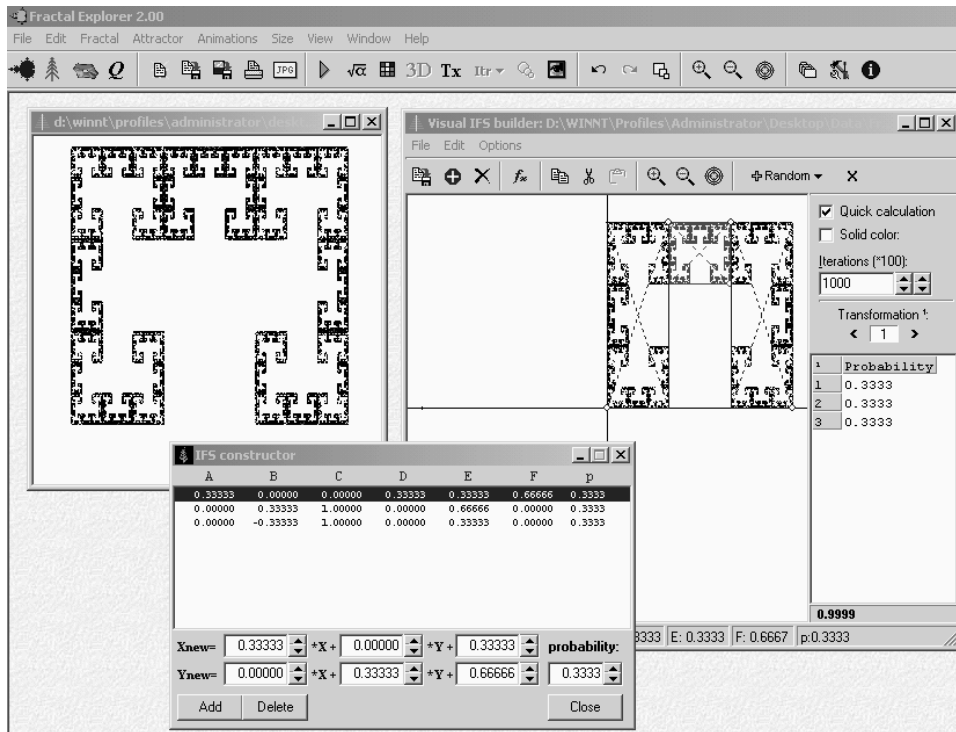


Fig. 15 – Síntesis de funciones de sistemas iterativos

La imagen de la figura 15 muestra una de las opciones más prácticas para experimentar con figuras repetitivas, que es la que brinda Fractal Explorer. La forma que se está sinteti-

zando es el llamado laberinto de Sierpiński, el cual surge a partir de tres matrices de transformación que se pueden visualizar en el constructor de IFS de la derecha. Las coordenadas se pueden especificar mediante números o arrastrando el ratón. El procedimiento no podría ser más sencillo; pero de todos modos la no-linealidad del efecto de generación (y la experiencia de trabajo en la enseñanza del mismo) me inducen a creer que se requiere bastante experimentación antes que el no-matemático sea capaz de generar los resultados totalmente bajo control.

2.5 – Sistemas recursivos (L-Systems)

Los sistemas L, propuestos por el botánico Lindenmayer antes que se popularizaran computadoras y fractales, permiten generar formas complejas, iterativas o recursivas, especificando un elemento de origen (llamado axioma o semilla) y reglas de producción de reescriben el elemento. La técnica de dibujo de los sistemas-L, que en rigor equivale a una gramática chomskyana, implementa por lo común gráficos de tortuga. Existe además una fuerte correspondencia entre la descripción del procedimiento generativo por parte de los matemáticos y las reglas que se utilizan en las diversas culturas para construir dichas configuraciones.

La etnomatemática o etnogeometría que se ha constituido recientemente ha deslindado las complejas técnicas de construcción en unas pocas sociedades, en particular en la India (las pinturas de arena kolam o rangoli) y entre los Chokwe de Africa (pintura sona). Sin duda numerosas artes etnográficas y arqueológicas, en especial los diseños textiles y las geometrías de cerámicas y arte rupestre, son susceptibles de describirse y sintetizarse mediante estas gramáticas. El valor agregado de esta técnica no radica sólo en poder hacerlo, sino en que al ganar acceso a las reglas generativas de los ejemplares se dispone de criterios de comparación y sistematización de otro modo inaccesibles.

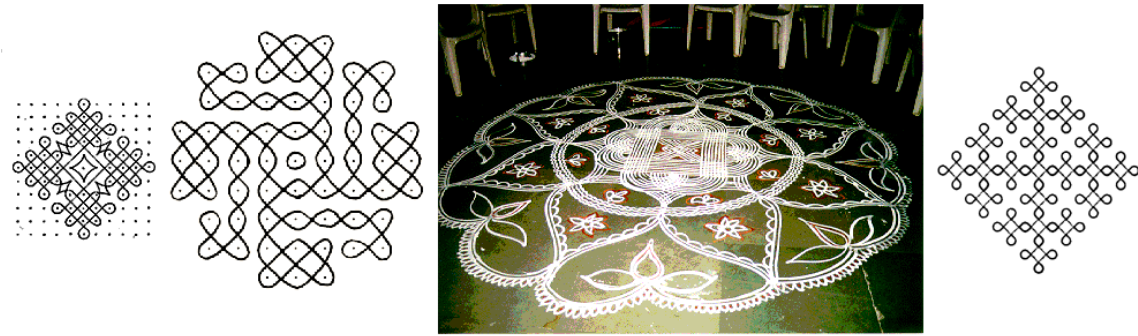


Fig. 16 – Kolam recursivos

La imagen reproduce de la figura 16 algunos patrones de arte kolam y rangoli de la India, que comparte con las pinturas en arena sosa del Africa una similitud de formas y de procesos constructivos, según han deslindado independientemente especialistas como Gift Siromoney y Paulus Gerdes en las respectivas áreas geográficas.

La capacidad de los sistemas-L para el análisis y síntesis de imágenes es notable. Tras un poco de práctica con los programas de generación fractal más comunes del mercado, el estudioso estará en condiciones de diseñar patrones de extraordinaria complejidad a partir de principios constructivos muy simples. Acaso se pueda pensar en proponer como tareas en seminarios de antropología del arte o de técnicas complejas la realización de determinados ejemplares de los abundantes corpus que están aún sin explorar, dado que todavía están por estudiarse los procedimientos generativos de numerosas artes geométricas iteradas, recursivas o auto-repetitivas en prácticamente todo el mundo etnográfico y arqueológico.

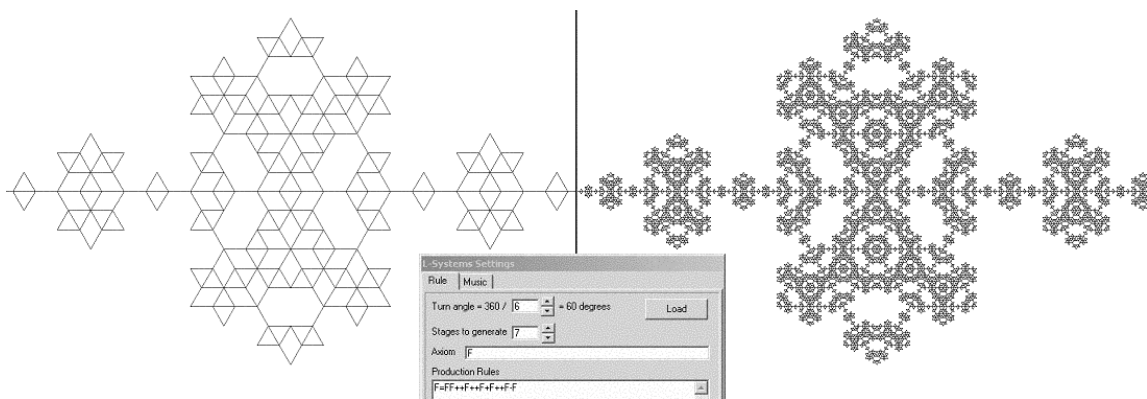


Fig. 17 – Sistemas-L

La imagen de la figura 17 representa la síntesis de un objeto recursivo (una figura de puntilla) en el programa Visions Of Chaos. Ambos ejemplares se obtienen a partir de un axioma F y una regla de re-escritura $F \rightarrow FF++F++F+F++F-F$. La instrucción “F” indica dibujar hacia adelante; los signos indican giros a derecha o izquierda. El primer objeto fractal ha sido objeto de 3 recursiones y el segundo de 5.

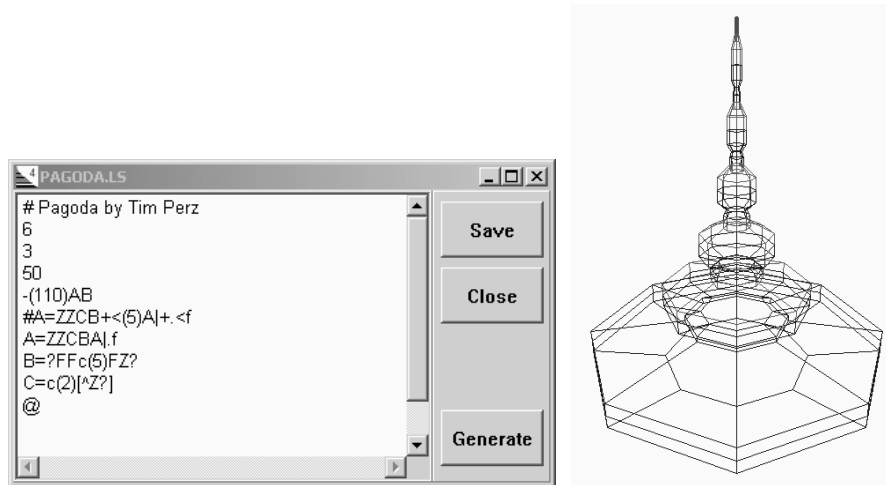


Fig. 18 – Sistema-L tridimensional

Esta última representación es un ejemplo de sistema-L tridimensional, trabajado con Lsystems4. Obsérvese la simplicidad de los axiomas que generan una pagoda tridimensional, la cual puede además revestirse con planos sólidos texturados. No existe ninguna proporcionalidad entre la economía de las reglas y la riqueza de las figuras resultantes. El “lenguaje” de las reglas de generación suele ser peculiar a cada implementación, pero de todos modos es susceptible de aprenderse en unas cuantas horas.

Conclusiones

El campo de las herramientas de modelización y de los tipos de modelos a que nos abren las ciencias de la complejidad y el caos recién comienza a delinearse, y esta ha sido sólo una exploración preliminar. Considero que la fuerza de estas técnicas habla por sí misma, y por eso desearía cerrar esta presentación con una advertencia. Estimo que el carácter explosivo del desarrollo del paradigma y de sus herramientas (y la naturaleza muchas veces adictiva del trabajo computacional) no debería redundar en una aventura disciplinaria que se satisfaga en el despliegue de los instrumentos como una finalidad en sí misma, como ha sucedido tantas veces a propósito de otras clases de modelos, mecánicos

o estadísticos. A escala de lo que han sido hasta hoy nuestros cánones, algunas técnicas pueden llegar a parecer acaso demasiado buenas para ser verdad. Así como en días pasados el estudioso caía en la tentación de insistir más allá de lo necesario en haber transitado en carne propia los lugares exóticos de su trabajo de campo, existe ahora el riesgo de que los instrumentos usurpen la jerarquía que sólo merecen los asuntos a los que se aplican, como si de pronto los medios se hubieran convertido en los fines. El síndrome del “yo estuve allí” podría transformarse en algo así como “¡Mira, mamá, manejo redes neuronales!”. Y así como lo primero nunca pudo aspirar a encarnar la experiencia nativa verdadera, es improbable que lo segundo califique como trabajo serio ante el juicio de los expertos genuinos. El tratamiento de las herramientas debería por ende restringirse a eventos y publicaciones referidos a métodos y técnicas como el presente (o a la labor de estudiosos de teoría y método como quien suscribe), y no invadir el espacio de la investigación sustantiva. Podemos ahora abordar problemas que antes eran intratables y descubrir nuevas fronteras de problematicidad. Pero estimo, en fin, que las ciencias de la complejidad y el caos serán plenamente exitosas en la práctica disciplinaria el día que el antropólogo ya no encuentre necesario documentar las vicisitudes que ha experimentado para llegar a ejercer dominio sobre sus herramientas.

CARLOS REYNOSO

Universidad de Buenos Aires

Herramientas de modelización

Alberto Moreira's Repository (Anneal, Evol, Hill, PAnneal, Tabu) – © 2002, Alberto Moreira.

AScape (ABM) – Versión 1.9 © 1998-2000, The Brookings Institution

Box Counting Method – © 1991-2001, Martin Nežádal

Brazil Design (IFS) – Versión 0.5 Beta © 1998, David Chardonnet

ChaosPro – Versión 3.1 © 1997-2003, Martin Pflingstl

Fractal Analysis – Versión 3.4 © 1998-2002, NILGS-NARO (Hiroyuki Sasaki)

Fractal Explorer – Versión 2.00 © 1998-2003, Sirotinsky Arthur & Olga Fedorenko

HarFA – Harmonic and Fractal Image Analyzer – Versión 4.9.3 © 1999-2001, Zmeškal-Nežádal

Java Neural Network Simulator – Versión 1.1 © 1996-2002 WSI, Universidad de Tübingen

LSystem4 – Versión 4.01 © 1999, Timothy C. Perz

Mirek's Celebration – Versión 4.20.0.500 © 2001, Mirek Wójtowicz

NeuroSolutions – Versión 4.24 © 1994-2003, Neuro Dimensions, Inc.

SteveCIFS – Versión 1.0 © 1997-2000, Damien Jones

UltraFractal – Versión 3.02 © 1997-2003, Frederik Slijkerman

Visions Of Chaos (Fractales, autómatas, simulaciones) – Trial Version 40.2 © 2003, Jason Rampe

Winfract – Versión 18.21 © 1993, Stone Soup Group

Referencias bibliográficas

Bentley, R. Alexander y Herbert Marschner. 2003. *Complex systems and archaeology*. Salt Lake City, University of Utah Press.

Casti, John L. 1997. *Would-Be Worlds: How Simulation is Changing the Frontiers of Science*. Londres, John Wiley and Sons.

Epstein, Joshua y Robert Axtell. 1996. *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. The Brookings Institution Press, Washington, D. C. & The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Hegselmann, Rainer. - 1998. “Modeling social dynamics by cellular automata”, en Wim Liebrand, Andrzej Nowak y R. Hegselmann (comps.), *Computer modeling of social processes*. Londres, Sage, pp. 37-64.

Reynoso, Carlos. 2004. *Teorías y métodos de la complejidad y el caos: Una exploración antropológica*. (En curso de edición).

Stadler, Peter. 1995. “Toward a theory of landscapes”. En R. López Peña y R. Capovilla (comps.), *Complex systems and binary networks*. Nueva York, Springer Verlag, pp. 77-163.

Weinberger, Edward y Peter Stadler. 1993. “Why some fitness landscapes are fractal”. *Journal of Theoretical Biology*, 163: 255--275.