

## **"Teorías de la Complejidad y el Caos en Ciencias Sociales. Modelos Basados en Agentes y Sociedades Artificiales"**

Jorge E. Miceli - Sergio G. Guerrero - Ramón A. Quinteros - Diego Díaz - Mariano Jordan Kristoff – Mora Castro<sup>1</sup>

*En este trabajo presentaremos algunas ideas en torno a la relación entre las teorías de la complejidad y las ciencias sociales. Es nuestra intención focalizar en los alcances y límites de algunos modelos que surgen de estos marcos conceptuales. En primer lugar haremos una breve introducción vinculada a la historia de este espacio de investigación no unificado, que cuenta con diversas variantes como ser Modelos Basados en Agentes, Teoría de Juegos, etc. Nuestro enfoque priorizará la continuidad conceptual de ciertas nociones que servirán de base para la exhibición posterior de algunos ejemplos pertinentes. Específicamente nos referiremos a los modelos basados en agentes, una clase de modelos de simulación cuyas principales características son la generación de propiedades emergentes (no deducibles del comportamiento individual de los actores), la interacción local con información parcial por parte de los agentes intervinientes y la sensibilidad a las condiciones iniciales. Dentro de este marco abordaremos las sociedades artificiales, un caso especial de los modelos basados en agentes caracterizado por la emulación de fenómenos sociales. Nuestro propósito ulterior es, más allá de las reflexiones inducidas por esta casuística, incorporar un herramienta metodológica capaz de abordar procesos socioculturales desde una perspectiva hasta ahora marginal en la Antropología.*

Las primeras perspectivas teóricas que trataron con los sistemas complejos aparecieron en la década de 1940. Muy abarcativamente, y prescindiendo de la orientación fáctica específica de sus recortes, estos marcos conceptuales se pueden clasificar en dos grandes series (Reynoso ms). Por un lado contamos con los paradigmas globales de la complejidad, y por el otro con una colección de algoritmos más focalizados que permiten modelizar procesos emergentes.

Estas grandes teorías o paradigmas generales se manifestaron como colecciones de principios reunidos alrededor de alguna idea fuerza. Hoy en día, y ya transcurridas varias décadas desde el comienzo del desarrollo de esta familia de conceptos, tenemos una noción más panorámica del movimiento y podemos caracterizarlos a partir del siguiente conjunto de propuestas centrales:

---

<sup>1</sup> Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.

1) La cibernética propuesta por Norbert Wiener en la década de 1940 y basada en los mecanismos de retroalimentación y control. Las aplicaciones antropológicas más importantes derivadas de esta teoría son los planteos de Bateson centrados en la esquizmogénesis y la ecosistémica de Roy Rappaport.

2) La teoría general de los sistemas, formulada por Ludwig von Bertalanffy en la década de 1950, que pone énfasis en la organización de la estructura y la dinámica de los sistemas como conjunto de componentes y relaciones con propiedades distintas a la de sus componentes aislados.

3) Las teorías de las estructuras disipativas propuesta por Prigogine en la década del 60, con énfasis en el desequilibrio y en el papel del individuo. Los modelos de ecología cultural de Richard Además, centrados en los fenómenos de utilización de la energía de parte de poblaciones humanas concebidas como sistemas, son la aplicación antropológica por excelencia de estas ideas.

4) Finalmente tenemos la teoría de catástrofes, una rama cualitativa de las matemáticas que estudia las singularidades o procesos de ruptura y crisis. Las ideas originales de este paradigma fueron desarrolladas por René Thom en la década del 60 y están sustentadas en el estudio de las topologías formales de distintos tipos de fenómenos, pero la aplicación antropológica más relevante que encontramos es el estudio del colapso de la civilización maya hecho por Colin Renfrew.

Estas corrientes, caracterizadas por muchas pretensiones pero dotadas de escasos operadores teóricos, fueron quedando en desuso, al menos en sus aplicaciones a ciencias sociales.

Simultáneamente los algoritmos de la complejidad, que también nacieron en la década del 40 con los autómatas celulares propuestos por Von Neumann, siguieron un camino paralelo. Materializados en general en modelos de simulación utilizados para describir fenómenos acotados se fueron desarrollando pausadamente para estallar en la década del 90, cuando su publicación y difusión en la Web creó mecanismos de retroalimentación que los hicieron desarrollarse a ritmo vertiginoso. Hoy son dominantes dentro del campo de las teorías de la complejidad y a nuestro criterio sus aplicaciones en antropología y ciencias sociales encierran una enorme potencialidad.

Para las formulaciones a las que nos referimos los fenómenos colectivos provienen de la interacción de los individuos componentes de un sistema, ya sea este de índole física o social. Surgidas luego de años de una modelización no sujeta a los cánones de una división académica clásicamente circunscriptora de áreas del conocimiento, estas perspectivas poseen la particularidad de presentar una

ontología que trasciende los objetos de estudio definidos disciplinarmente. Según San Miguel, Toral y Eguiluz:

"...una característica esencial del estudio de sistemas complejos es la aparición de conceptos generales independientes del contexto. El resultado es que hay campos del saber que tienen el potencial de ser significativamente reformulados y transformados por la disponibilidad de estos nuevos conceptos. Algunos aspectos de las Ciencias Sociales son uno de esos campos de mayor oportunidad donde aparece una importante actividad transdisciplinar de científicos provenientes del campo de las Ciencias Físicas (San Miguel et al 2004)"

La prueba quizás más contundente de esta afirmación es que la misma frase que citamos corresponde a un físico y no a un antropólogo o a un sociólogo. Frente a tradiciones epistemológicas recelosas de los territorios de análisis, los teóricos de esta corriente proponen una dinámica de transdisciplinariedad que es inherente y *común* a su objeto de estudio: los sistemas complejos. Este concepto, sin embargo, ha sido objeto de usos algo idiosincrásicos de los que preferimos mantenernos al margen. Tal deslinde exige algunas precisiones que nos servirán desde el comienzo para definir nuestra propia visión del tema.

En primer lugar, no concebimos a la complejidad como una mera sumatoria de variables. Esta noción, muy extendida en las ciencias sociales clásicas, no se ajusta ni al comportamiento ni a la ontología de tales sistemas, que pueden surgir de la interacción de muy pocas variables. De hecho, y en su faceta más fructífera, el estudio de la complejidad puede partir de sistemas asombrosamente sencillos.

La noción de complejidad refiere, en esta posición teórica, a la aparición de propiedades emergentes provenientes de la interacción local de un número de componentes que puede perfectamente ser muy modesto.

En segunda instancia, y como corolario de la afirmación anterior, asumimos que el comportamiento complejo obedece a causas que pueden tranquilamente ser muy simples en su estructura interna. No necesariamente un modelo muy complicado se aproxima más a la verdad que uno sencillo. A menudo la renuncia a la explicación apela, en las ciencias sociales, a la certeza de una difusa "complejidad" que no es posible abordar con modelos simples. Según los autores ya citados, y en una argumentación por demás atendible, esta actitud puede considerarse "acientífica" y epistemológicamente cercana al oscurantismo. (San Miguel, et al: 2004).

En tercer lugar, y contrariamente a lo que es usual escuchar cuando se habla de la naturaleza irreductible de los fenómenos físicos y sociales, sistemas ontológicamente distintos no se comportan de manera distinta, ya que para comprender el funcionamiento de un sistema no hay que tener en vista todos sus detalles. Operar con un modelo implica, por lo tanto, no considerar a todas las variables que lo conforman como igualmente relevantes. En una cantidad importante de aspectos, un cambio de fase en física puede ser estructuralmente similar a un proceso de cambio social, prescindiendo de la condición empíricamente disímil de ambos procesos.<sup>2</sup>

Establecido ya lo que la complejidad no es, nos interesa resaltar ahora sus propiedades positivas.

Podemos decir, de entrada, que el comportamiento complejo representa una situación intermedia entre un estado ordenado y otro totalmente desordenado. El crecimiento de una ciudad, por ejemplo, responde a pautas transicionales entre una distribución completamente aleatoria y otra caracterizada por una estaticidad absoluta (San Miguel, et al 2004 2). En rigor de verdad, la mayoría de los fenómenos sociales parecen mostrar esta pauta de delicado equilibrio entre orden y desorden. Tal situación de estrecho entrelazamiento entre ambos estados es también característica de los umbrales de cambio de comportamiento referidos por la física y otras disciplinas.

El comportamiento autosimilar es otra propiedad típica de los sistemas que se hallan en una situación de complejidad. La autosimilaridad implica que no importa cuanto se modifiquen las magnitudes escalares de un sistema físico, biológico o social, siempre el comportamiento del mismo mostrará la misma pauta autoorganizativa. Las llamadas "Redes libres de escala" ("Scale-Free Networks") muestran esta fascinante propiedad de invariancia escalar. Tal condición es fundamental para comprender, por ejemplo, la relativa robustez de muchos sistemas reticulares como la misma Internet, que no está constituida alrededor de una distribución de la conectividad con forma de campana de Gauss (mas o menos la misma cantidad de vínculos para la mayoría de los nodos), sino en torno a unos pocos nodos que disponen de una tremenda capacidad de vincularse al resto de la red (Barabasi y Bonabeau 2003: 53). Más allá de la porción de la red que se

---

<sup>2</sup> Este es el concepto de universalidad, desarrollado en los años setenta en el estudio de los fenómenos críticos en física. Los fenómenos críticos son un atributo particular de las transiciones de fase y son:

"el paradigma físico de un comportamiento colectivo en el que todas las moléculas de una sustancia "colaboran" para obtener un cambio observable a nivel macroscópico". (San Miguel, Toral y Eiguéluz: 2004).

considere en el análisis, la topología parece ser la misma. Ya sea que se agreguen o se supriman elementos siempre aparece una serie limitada de nodos centrales o "hubs" que permiten acceder al resto de los nodos con gran rapidez. Este trazado autosimilar muestra una elevada resistencia a los ataques informáticos aleatorios, ya que la posibilidad de inhabilitar al azar a un número importante de hubs parece muy reducida. Si Internet tuviese una topología de red aleatoria ("Random Network") la posibilidad de inhabilitarla en un ataque instrumentado al azar sería mucho mayor que en una red libre de escala, ya que habría un gran número de nodos con conectividad media que serían blancos ideales de una intrusión aleatoria.

Lo interesante es que este tipo de estructura reticular parece ser un rasgo definitorio de sistemas de índole muy diferente, y ello convalida la potencia descriptivo-explicativa de las teorías de la complejidad. Fenómenos como el metabolismo celular, las redes reguladoras de proteínas, los vínculos interpersonales de tipo sexual, etc. muestran las mismas propiedades de las redes libres de escala, lo que las hace resistentes a fallas localizadas y les permite seguir funcionando aún luego de deterioros parciales de su trama red (Barabasi y Bonabeau 2003: Pp. 55-56).

Sin embargo, es importante recordar que la complejidad es un efecto del abordaje aplicado a los objetos de estudio concebidos bajo el influjo de un modelo, no una propiedad ontológica intrínseca de aquello que se analiza. Según Reynoso:

"La escala de un modelo respecto de lo real es indecible, ya que la realidad puede ser casi infinitamente descompuesta, es analíticamente inagotable; una ameba puede llegar a ser tan complicada como un sistema planetario; el sol y la tierra, con ser inmensos y albergar tantas cosas, constituyen un sistema "pequeño", pues astronómicamente tienen solo doce grados de libertad. No hay entonces una escala propia de los fenómenos: teorías que tratan de enormes conjuntos sociales son a menudo más sencillas que teorías que abordan la personalidad de sujetos individuales" (Reynoso ms: 12).

No hay entonces una escala que pertenezca "naturalmente" al orden empírico que se somete a análisis. La complejidad, en estos términos, es básicamente un constructo teórico y el efecto circunscripto de una aplicación modélica, pero también un dispositivo analítico de extraordinaria ubicuidad epistemológica y poderosas consecuencias teóricas, ya que permite dar cuenta de procesos y fenómenos absolutamente disímiles entre sí. Ya que estamos en tren de aclaraciones, valga la pena recordar que, como en cualquier modelo que se precie, el hecho de que se apliquen procedimientos reductores de lo real no implica que bajo sus reglas

cualquier conclusión sea válida. Una vez asumidos los lineamientos de las teorías de la complejidad en su vertiente vinculada al Análisis de Redes Sociales (ARS), por ejemplo, es sencillo demostrar que no cualquier trazado reticular muestra las propiedades de las redes libres de escala, lo que no implica que los fenómenos que se analizan bajo este abordaje no puedan ser vistos desde perspectivas de otra naturaleza. Como en cualquier abstracción, es necesario medir con cuidado lo que se pierde y lo que se obtiene en el proceso traductor.

Esto nos lleva a revisar que significan epistemológicamente los Modelos Basados en Agentes, ya que representan una nueva forma de pensar el modo en que se ejerce la actividad científica. Las Ciencias Sociales se han debatido siempre entre dos modelos de *hacer ciencia* disímiles y enfrentados entre sí. Por un lado tenemos a los defensores del método hipotético deductivo que postulan la necesidad de partir de una serie de reglas *a priori* y deducir a partir de estas la existencia de patrones de conductas.

Por otro lado nos encontramos con los defensores del método inductivo quienes proponen que ante la falta de un conocimiento de primera mano del objeto de estudio es necesario la recolección de datos que nos permita establecer generalizaciones empíricas a partir de la cual conocemos nuestro objeto de estudio.

Si bien es cierto que el método deductivo es el que mas éxito ha tenido a la hora de establecer explicaciones causales de los fenómenos a los que se aplica, no menos cierto es que se necesita un conocimiento detallado de la empiria de los fenómenos de estudio en orden de establecer las consecuencias deducibles de los mismos. Así, si las hipótesis son deductivas, la contrastación debe ser deductiva, y si son inductivas, la contrastación debe ser inductiva, o en otras palabras, estadística.

En este sentido los modelos de simulación basados en Agentes establecen una tercera vía de hacer ciencia, que toman un camino intermedio entre los dos contextos de justificación. Los modelos aquí propuestos son construcciones del investigador el cual establece de antemano las reglas de conducta a investigar, acercándolos al método deductivo, pero como modelo, no significan que tengan valor de verdad, sino que son una evidencia más acerca de la validez de las reglas establecidas por el investigador. Los acerca así a los modelos inductivos ya que se convierten en una muestra más aplicable al objeto de estudio.

### **Modelos basados en Agentes**

En primer lugar, los modelos de la complejidad que estudiaremos son modelos de simulación con soporte computacional que intentan emular a través de

sistemas basados en agentes, procesos que se dan en la realidad. Esto quiere decir que no tiene como fin igualarlos o explicarlos sino que el propósito del desarrollo de este tipo de enfoques es echar luz sobre el posible funcionamiento de fenómenos que el investigador considere que puedan ser tratados desde una perspectiva compleja. Es decir, es una herramienta más que, con el conocimiento técnico suficiente y la exploración adecuada se convertiría en un instrumento de valioso provecho para las ciencias sociales en general y en lo que nos toca, la Antropología en particular.

Los Modelos Basados en Agentes así como los Autómatas Celulares se materializan en programas basados en unidades que pueden adoptar la forma de células, habitualmente bidimensionales en una pantalla con forma de grilla por la cual estos agentes se trasladan de acuerdo a reglas muy sencillas de comportamiento y movilidad. De allí que lo complejo se forme en el seno de lo simple. Por ello también se los denomina programas bottom-up (de abajo hacia arriba) pues el comportamiento general es impredecible desde las reglas acordadas previamente; la intuición, el sentido común no pueden dilucidar la manera en que la pequeña sociedad artificial se comportará luego de un período de tiempo calculado y a través de un espacio conocido.

Por otro lado, como decíamos anteriormente, la complejidad no se corresponde con una suma de variables las cuales pudiendo ser formuladas acabarían con un resultado establecido. Dice C. Reynoso “Emergencia implica lo contra intuitivo”<sup>3</sup> ya que es definida como “un patrón de conducta que resulta del procesamiento de información por parte de las celdas individuales (...) y surge cuando cierto número de agentes designados para comportarse de determinada forma, se involucra en interacciones locales con otros agentes, formando patrones globales de procesamiento de información que pueden percibirse cuando se observa a un nivel macroscópico” Es decir, que a diferencia de otras líneas teóricas en ciencias sociales, la teoría basada en agentes sostiene que la interacción social local es determinante para el comportamiento de los individuos ya que este es discreto, no lineal y simultáneo respecto al resto de los agentes. A su vez, en la relación entre lo local y lo general se esconde el secreto de la dinámica social en su conjunto que puede ser emulada por la construcción de una sociedad artificial en la cual las reglas creadas para ella se asemejen a las supuestas características sociales reales.

Es interesante resaltar cómo los Modelos Basados en Agentes aportan en lo referido a una de las cuestiones centrales de las ciencias sociales: la Racionalidad. Este concepto, que suscita múltiples debates, es interpretado, en muchas ocasiones,

de diferente forma; lo que de algún modo genera las interminables discusiones. La definición más acotada es la que proviene de la economía neoclásica, y que implica que los Agentes (o Actores Sociales) toman sus decisiones en arreglo a un conocimiento *a priori* y completo de la situación. Esta postura filosófica también asume que las acciones individuales influyen sobre el conjunto social del mismo modo, sin diferencias producidas por la distancia física o social. Esta abstracción se apoya en los requisitos de la lógica aristotélica, que exigen por ejemplo, para la derivación de un silogismo (Sócrates es mortal), que la información se encuentre contenida en las premisas (Todos los hombres son mortales y Sócrates es Hombre). De allí que a las derivaciones correctas, se las denomine tautologías. Si bien la lógica es una herramienta muy poderosa, en la realidad no siempre se dan las condiciones adecuadas para su uso, y cuando estas se dan, se aplican a ámbitos muy acotados. Los Modelos Basados en Agentes no asumen una racionalidad como la explicitada<sup>4</sup>, sino que adoptan una postura denominada Adaptabilidad. Esto implica que la información que tienen los Actores no es completa ni apriorística, sino que está acotada a lo que observa de sus vecinos. Del mismo modo, su influencia no es total, sino que únicamente alcanza a su vecindario. Que sus actos tengan consecuencias globales son efectos emergentes, no reductibles a la sumatoria de sus actos individuales. En palabras de Axelrod: “The main alternative to the assumption of rational choice is some form of adaptive behavior. The adaptation may be at the individual level through learning, or it may be at the population level through differential survival and reproduction of the more successful individuals. Either way, the consequences of adaptive processes are often very hard to deduce when there are many interacting agents following rules that have non linear effects. Thus the simulation of an agent-based model is often the only viable way to study populations of agents who are adaptive rather than fully rational” (Axelrod, 1997:4).

Si quisiéramos ordenar estos algoritmos de la complejidad podríamos poner en el nivel más abstracto a los Autómatas Celulares definidos como una grilla de celdas o sitios en la que a cada momento, cada celda tiene un valor, tomado de una tabla de valores posibles para las celdas; y en las que estos valores se actualizan periódicamente en arreglo a una regla fija que especifica exactamente como se computa el nuevo valor de cada celda tomando en cuenta su propio valor y el de sus vecinos inmediatos (Axtell, Epstein 1996:17). Los Modelos Basados en Agentes pueden contener autómatas celulares pero se diferencian de estos en que los

---

<sup>3</sup> Reynoso, C.: ms.

<sup>4</sup> Si bien hay que decir que la implementación de una racionalidad con una base lógica (no restringida a la lógica aristotélica) podría ser fácilmente incorporada a las reglas que siguen los Agentes, si así lo requiriera la investigación.



Agentes no son dependientes del espacio (se puede imaginar un entorno en el que cada Agente interactúa con cada uno de los otros Agentes). También se diferencian en que los Agentes, al contrario de lo que sucede con las celdas de los Autómatas Celulares, pueden tener muchos atributos, tales como distintos estados internos o diferentes reglas de conducta (Axtell, Epstein 1996:18). Cuando las técnicas de los Modelos Basados en Agentes se aplican al estudio de procesos sociales es cuando decimos que aparecen las Sociedades Artificiales. Estos laboratorios (inéditos en las ciencias sociales), permiten observar la emergencia de estructuras sociales o de comportamientos grupales generados a partir de las interacciones locales y acotadas de los Agentes (Axtell, Epstein 1996:4).

Los elementos que conforman un Modelo Basado en Agentes son: Los Agentes en sí mismos, quienes poseen estados internos y reglas de conducta. Estos estados internos pueden ser fijos o cambiantes. Las reglas de conducta pueden referirse a la interacción entre los Agentes o entre los Agentes y el Entorno., toda Sociedad Artificial posee alguna clase de contexto, que funciona como el medio sobre el que los Agentes operan y con el que interactúan. Por último están las reglas, que se aplican a los Agentes entre sí, a la interacción de los Agentes con el medioambiente y al propio medioambiente (Axtell, Epstein 1996:6).

Este sencillo bagaje permite representar una gran variedad de fenómenos sociales, limitados únicamente por la imaginación, y por el necesario rigor con el que debe contar toda empresa científica. Para la construcción de esta clase de modelos las fuentes de datos empíricas no se hallan limitadas a las de un solo tipo. De acuerdo a las necesidades del investigador, los datos pueden ser cualitativos, cuantitativos o combinados; recolectados de primera mano o de fuentes secundarias; teniendo en mente esta clase de modelos u otras formulaciones teóricas. Seguramente puede preverse un intercambio fructífero entre esta novedosa forma de plantear los problemas y la recolección de los datos en el campo; ya que siempre que se desarrolla el conocimiento se establece entre la teoría y el ámbito empírico una retroalimentación negativa, entendida esta última como la reducción de las desviaciones a la manera de la cibernética clásica (Reynoso ms: 23). Esta relación de naturaleza dialéctica, refinará los modelos y seguramente influenciará en los métodos de recolección de datos; pero lo más interesante desde el punto de vista epistemológico, es que la adecuación de la información empírica a la forma teórica que subyace en la construcción del modelo, puede ser testada dinámicamente en la implementación computacional de la sociedad artificial.

Lo que en el vocabulario especializado se denomina “correr” significa poner en marcha el sistema, observar como se desarrolla delante de nuestro monitor, el

fenómeno social emulado. De este modo no sólo se iluminan algunos aspectos que puedan servir para brindar una explicación, sino que también pueden vislumbrarse nuevos cursos de acción no previstos en las condiciones actuales y así brindar una herramienta a los proyectos de intervención.

### **Modelos de Sociedades Artificiales: Sugarscape**

Uno de los objetivos del presente trabajo es destacar las aplicaciones de los modelos basados en sociedades artificiales para el estudio de sociedades humanas reales.

Para poder brindar una visión clara de estos modelos describiremos uno en particular, el modelo Sugarscape. El Sugarscape es una implementación computacional, de un modelo basado en agentes orientado hacia las sociedades artificiales. El objetivo principal del sistema es poner a prueba diferentes escenarios, relacionados con situaciones referidas a ecología, economía, difusión de cultura, etc. Un supuesto que atraviesa el desarrollo del Sugarscape es el siguiente: si el comportamiento de los individuos sigue reglas específicas, entonces la sociedad concebida macroestructuralmente debe exhibir algunas propiedades particulares.

La pregunta de fondo es cómo hace el heterogéneo micro mundo de comportamientos individuales para generar regularidades macro estructurales de la sociedad. Como todo modelo de sociedades artificiales, el sugarscape busca modelizar el estudio de los fenómenos sociales mediante el uso de técnicas computacionales. Los elementos básicos del sugarscape son los siguientes:

Reglas, son normas de comportamiento para los agentes y para los sitios del entorno.

Entorno, medio en el cual el agente opera e interactúa. Cuenta con distintos valores de azúcar y o especia variables en el espacio (casilleros) y según el consumo anterior de otros agentes (reposición) en el tiempo (turnos).

Agentes, son entendidos como la población de la sociedad artificial. Su representación gráfica son puntos que se desplazan por el territorio del Sugarscape. Tienen estados internos y reglas de comportamientos.

Algunos de estos estados internos son susceptibles de cambio en la interacción con otros agentes, Otros estados internos acompañan a los agentes durante toda su vida independientemente de la interacción, como por ejemplo, el sexo, su capacidad visual y su capacidad para metabolizar el azúcar consumida. Sin embargo, aunque la interacción de los agentes con otros agentes y con el entorno no cambie estos estados internos particulares, dicha interacción sí cambia la

distribución de estos atributos en la estructura macro resultante de la interacción. Así, en un entorno de bajos recursos, se espera que los agentes con alta visión y bajo metabolismo, sobrevivan y tengan energía suficiente para dejar descendencia, mientras que los agentes de baja visión y alto metabolismo (consumen más energía al desplazarse) se esperará que mueran por falta de alimentación sin dejar descendencia. En ambos casos, estos estados internos (visión y metabolismo) no cambian por la interacción, pero aunque estos estados no cambien intra-individualmente, dicha interacción determina y altera el desarrollo del agente particular (muerte, dejar descendencia, etc.) y también altera otros resultados macro como la sobreexplotación del entorno, la selección de ciertas variables de los atributos (visión alta), etc. En los casos en que se introduzca un índice de mutación aleatorio al azar, aparecerán nuevas o repetidas variables en los atributos fijos, pero incluso éstas seguirán sin variar en la propia vida del agente que nació con la mutación.

Un punto interesante es destacar la interpretación a distintos niveles que permiten interpretar los modelos basados en sociedades artificiales. Si nos focalizamos en el cambio del estado interno de cada agente, veremos que hay atributos susceptibles de cambio (Ej.: identidad cultural, estado de salud, número de hijos) y hay atributos que se mantienen fijos en la vida de cada agente (Ej.: capacidad de visión y género sexual). Si analizamos estos atributos o estados internos desde una perspectiva microfocalizada en los agentes, tendremos dos grandes conjuntos de atributos (que tienen valores distintos para cada agente): están los atributos que cambian y los que no cambian.

Saliendo de la perspectiva microfocalizada, podemos analizar la evolución de los estados internos de los agentes destacando el resultado macro en la distribución de los atributos a lo largo del tiempo (medido en turnos). Analizando a nuestra sociedad artificial macroestructuralmente veremos que partiendo de los mismos elementos (los atributos internos de los agentes) ya no tendremos los dos conjuntos que se aprecian microsocionalmente tomando como unidad a cada agente (los atributos fijos y los atributos variables). Ahora, tomando como unidad el estado macroestructural de nuestra sociedad artificial antes de la interacción y luego de la interacción, veremos que tenemos un solo conjunto: el de los atributos que cambian con la interacción, pues desde esta perspectiva macro todos los atributos cambian. Por ejemplo, el atributo de la visión, que es fijo para el agente, es un atributo variable macrosocionalmente pues puede aumentar o bajar su frecuencia en la distribución total de la población.

A favor del dinamismo, debemos decir que si bien en la historia de vida particular de los agentes tenemos atributos que no cambian, en la historia de la sociedad, todos los atributos pueden cambiar, incluso aquellos que son fijos para la vida particular de los agentes. Igualmente, alguien que haga interactuar a los agentes en un entorno, supongamos, con pocos recursos de alimentos, podría suponer acertadamente que se terminarían seleccionando los atributos genéticos más aptos (visión alta y metabolismo bajo), y que esta situación no cambia con el correr del tiempo (los turnos). Sin embargo podría pasar, como de hecho comprobamos, que con el correr de los turnos, si quedan muchos agentes muy aptos pueden llegar a sobreexplotar los recursos de azúcar y extinguirse, y por lo tanto, dar lugar a un cambio estructural. A su vez podrían incluso introducirse reglas para que los azúcares se repongan más rápidamente, y así alcanzar un cierto equilibrio entre los agentes y el entorno. Como se aprecian, son múltiples las posibilidades.

### *Aplicación en Ciencias Sociales*

Los modelos basados en sociedades artificiales permiten gran cantidad de aplicaciones y enfoques. Uno de los puntos más interesantes, es que necesariamente se deben definir atributos (con valores que pueden ser variables entre los agentes) y se deben definir reglas de comportamiento, ya sea para los agentes, para el entorno, como para el espacio y tiempo. En este hecho, los modelos basados en sociedades artificiales exigen al investigador que quiera diseñar y programar una sociedad artificial, un interesante esfuerzo de selección de las variables relevantes que se quieran estudiar, que es un esfuerzo de sistematización tanto cualitativa como cuantitativa, puesto que deberá decidir que atributos poner en juego, y qué valor darles. Además, todos estos esfuerzos ponen al investigador en una situación de construcción, selección, focalización y corroboración en la que no puede dejar de notar que como en todo acto de conocimiento, existe una síntesis y una selección, y al mismo tiempo obliga al investigador a trazar un puente entre sus supuestos (implícitos en la definición de los atributos, reglas y demás características) y la corroboración de resultados, dada luego de la interacción de los elementos que componen la sociedad artificial.

Como herramienta metodológica, tiene una gran potencialidad. Queda en el investigador la tarea de percibir en un sistema sociocultural real, sus elementos, funciones, variables, reglas y atributos relevantes, y tener la creatividad, el esfuerzo y la capacidad para construir un modelo artificial en la que estos aspectos puedan ponerse en juego de manera tal que permitan acercarnos a un conocimiento adecuado de la sociedad estudiada.

Al ser un modelo de simulación de dinámica de agentes usufructuando recursos, tanto las reglas de conducta de los mismos, como la naturaleza de los recursos están determinadas por el problema de investigación.

En este sentido las reglas de comportamiento cubren un rango que va desde estrategias adaptativas dinámicas (acceso diferencial a recursos, racionalidad en el aprovechamiento de los mismos, crecimiento demográfico, formación y crecimiento de redes, etc.), hasta conductas más complejas en el comportamiento de los agentes (transmisión cultural, conflicto racionalidad económica, comercio, transmisión de enfermedades, etc.)

En cuanto a los recursos, éstos pueden ser tan variados como las reglas antedichas pudiéndose discriminar entre: Naturales (recursos agrícolas, pastoriles, acceso a fuentes de agua o materias primas) o culturales (acceso a riquezas, fuentes de financiamiento, etc.) En definitiva Sugarscape propone la generación de patrones emergentes en situaciones que son definidas por el problema de estudio.

Una aplicación por demás interesante desarrollada por el Instituto Santa Fe y el Tree Ring Laboratory de la Universidad de Arizona es la simulación de las condiciones de crecimiento de la dinámica poblacional y patrones de asentamiento de los Anazasi entre los años 400 al 1400 d.C. en el área de Long House Valley, Black Mesa. El uso de datos reconstruidos por métodos arqueológicos de crecimiento demográfico y cambio ambiental permite reconstruir no solo el patrón de asentamiento Anazasi, sino también el colapso de esta civilización ante la falta de respuestas culturales a cambios medioambientales a corto plazo.

### *Ejemplificación: El sistema normativo y la acumulación de riquezas*

Ahora bien, uno de los beneficios de trabajar con sociedades artificiales es que podemos definir variables, probar su interacción dinámica y permitirnos apreciar su resultado.

Desarrollaremos un ejemplo para ilustrar el trabajo con modelos basados en sociedades artificiales.

Supongamos que queremos analizar, dentro de una sociedad, la relación de dos variables: El sistema normativo y la acumulación de riquezas.

Las características de la sociedad artificial que diseñaremos para nuestro fin pueden ser sencillas o muy complicadas, pero dado que el objetivo de este ejemplo es meramente ilustrativo, y a fin de hacer inteligible nuestro desarrollo, ejemplificaremos con una sociedad muy sencilla.

Nuestra sociedad tendrá reglas homogéneas (sistema normativo) para todos los agentes. Esta regla será: todo agente pueda acumular recursos ilimitadamente

Dado que nos focalizaremos puntualmente en la relación entre el sistema normativo y en la acumulación de riquezas, no complicaremos nuestra sociedad y daremos a los agentes los mismos estados internos, en función de mostrar claramente la interacción entre las reglas y la riqueza (medida en puntos de azúcar) Entonces, todos nuestros agentes tendrán la misma capacidad visual, el mismo metabolismo, y no pondremos más reglas para los agentes que la del desplazamiento y acumulación de azúcar.

A pesar de que en nuestra sencilla sociedad artificial todos los agentes tienen los mismos atributos internos, tanto en nuestro sencillo ejemplo como en toda sociedad humana, tendremos agentes que ocupan un lugar distinto en tiempo y espacio, y por ello, son agentes heterogéneos. Nótese su heterogeneidad por dos razones:

-por ocupar un lugar distinto en el tiempo y espacio de un entorno ecológicamente heterogéneo (tanto en los recursos como en la vecindad de los agentes)

-por el resultado de su comportamiento, que lógicamente es heterogéneo por proceder sobre distintas variables del entorno.

Las reglas serán homogéneas. Todos estarán sujetos a las mismas reglas y las reglas operaran igual para todos.

En nuestro ejemplo, queremos lograr una sociedad igualitaria en la que no exista diferencia en la acumulación de riqueza de los agentes. Nuestra sencilla sociedad, en un punto coincide con una sociedad humana compleja: dado que el entorno es heterogéneo, los individuos jamás tendrán "las mismas posibilidades". La posibilidad de acumular riqueza es un resultado de la interacción del agente con el entorno, y dado que son ambos heterogéneos, los agentes nunca vivirán en una sociedad que les brinde las mismas posibilidades.

Veamos entonces cuál ha de ser la característica de las reglas que permitan desigualdad de riqueza y cuales las características de las que permitan igualdad. Una regla homogénea en un entorno heterogéneo no implica igualdad, sencillamente porque las posibilidades de los agentes para acumular riquezas son realmente desiguales. Veamos también las características de nuestra sociedad artificial. A nivel de nuestros agentes, nuestra sociedad tiene: reglas homogéneas, entorno heterogéneo y agentes heterogéneos. El resultado de esta sociedad con reglas

homogéneas, luego de la interacción, es desigualdad en la acumulación de riqueza (medida en azúcar acumulado)

¿Habrá una manera para que en el desarrollo del sistema, los agentes homogéneos en cuanto a atributos, terminen siendo agentes con igual riqueza? Se nos ocurren dos maneras en lo que esto sea posible: la primera, posible para modelos artificiales, pero imposible e irrelevante para sociedades reales, es que el entorno sea homogéneo y que los turnos sean equivalentes para todos, y con agentes con los mismos estados internos, por lo que su heterogeneidad espacial y temporal dentro del entorno es irrelevante puesto que todos los agentes y todos los casilleros tienen el mismo valor.

Aceptando que el entorno será siempre heterogéneo, existe una segunda opción para lograr una sociedad en la que sus agentes heterogéneos que habitan en un entorno también heterogéneo, puedan vivir en una sociedad más igualitaria. Pero igualitaria no en la falacia de las posibilidades ya descrita, sino igualitaria en la medida de un resultado empírico y concreto: la acumulación de riqueza, que en nuestra sencilla sociedad se mide en puntos de azúcar.

¿Qué debemos hacer para conseguir que nuestra sencilla sociedad artificial termine siendo una sociedad igualitaria en cuanto a acumulación de riqueza?

Una sociedad humana, por supuesto, es terriblemente más compleja que nuestra sencilla sociedad artificial. Pero ambas tienen las siguientes características: entorno heterogéneo y agentes heterogéneos. En nuestra sencilla sociedad artificial la igualdad de reglas resultó ser una condición suficiente para mantener la desigualdad en las riquezas. Es decir, un sistema normativo de reglas igualitarias para todos los agentes actuó como elemento neutral, manteniendo las diferentes posibilidades de acumulación que los agentes tenían al nacer. Nuestra regla fue sencilla: todo agente pueda acumular recursos ilimitadamente. El resultado fue que los que nacieron en un entorno favorable acumularon más que los que no tuvieron esa suerte. Podríamos afirmar en este sentido que en una sociedad con entorno y agentes heterogéneos en cuanto a posibilidades de acumular riquezas, la igualdad de reglas es una condición suficiente para mantener la desigualdad en dicha acumulación, que en el Sugarscape se mide en puntos de azúcar.

## **Conclusiones**

Los modelos basados en agentes se proponen como una nueva forma de investigación abierta a mucha experimentación y desarrollo teórico por parte de las Ciencias Sociales. Establecen una pauta de investigación de fenómenos sociales

capaz de analizar a los mismos cual si fuera un laboratorio, en el cual podemos ensayar las propiedades emergentes de reglas de conducta. Su significación para modelos de desarrollo económico y sustentabilidad ecológica es por demás pertinente y promete ser una herramienta de trabajo con alcances insospechados.

Epistemológicamente estos modelos también, nos proveen una nueva perspectiva a la hora de hacer ciencia. La generación de reglas a priori que se pueden poner a prueba nos fuerza a desarrollar, cada vez mas, herramientas teóricas posibles de ser aplicadas a nuestra disciplina.

Por último se destaca la capacidad de trabajar con sistemas que a partir de reglas simples generan patrones complejos hasta ahora prácticamente inabordables para las ciencias sociales.



## Bibliografía

- Axelrod, Robert 1997. **The complexity of cooperation**, Princeton University Press, New Jersey,
- Axtell, Robert y Epstein, Joshua 1996 **Growing Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up** Washington DC Brookings Institution Press
- Axtell Robert 2000: Why Agents? On the Varied Motivations for Agent Computing in the Social Sciences Center on Social and Economic Dynamics. Working Paper No 17
- Barabasi, Laszlo y Bonabeau Eric 2003 "Scale-Free Networks", Scientific American: Vol. 50
- Bateson, Gregory 1985 **Pasos hacia una ecología de la mente** Buenos Aires Carlos Lohe.
- Bertalanffy, Ludwig Von 1976 **Teoría General de los sistemas** México F.C.E.
- Rapaport Roy 1987 **Cerdos para los Antepasados** Madrid Siglo XXI
- Rennard, Jean-Philippe 2000: "Introduction to Cellular Automata" Disponible en: [www.rennard.org/alife](http://www.rennard.org/alife). Bajado en enero de 2001.
- Reynoso, Carlos ms. "**Teorías y Métodos de la Complejidad y el Caos: Una exploración antropológica**"
- Reynoso, Carlos 1998 **Teorías Antropológicas Contemporáneas** Buenos Aires Biblos.
- San Miguel, Maxi, Toral, Raúl y Egueluz, Victor 2004 "Redes complejas en la dinámica social" en **INGURUAK**, Revista vasca de Sociología y Ciencia Política.
- Terna Pietro 2001 Creating Artificial Worlds: A Note on Sugarscape and Two Comments en **Journal of Artificial Societies and Social Simulation** vol 4 no 2
- Watts Duncan 2003 **Six Degrees, The Science of connected Age** Random House, Londres.
- Wiener, Norbert 1985 **Cibernética** Barcelona Tusquets.