

## MODELO SOCIOFÍSICO DE LA INFLUENCIA DE PROPAGANDA MASIVA EN UN SISTEMA SOCIAL

M. G. COSENZA<sup>11</sup>, K. TUCCI<sup>12</sup>, J. C. GONZÁLEZ AVELLA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Área de Caos y Sistemas Complejos, Centro de Física Fundamental,  
Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

<sup>2</sup>SUMA-CESIMO, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

Recibido: noviembre de 2006

Recibido en forma final revisado: marzo de 2007

### RESUMEN

Luego de una breve revisión del reciente campo de la Sociofísica, se presenta un modelo tipo autómatas celulares de una influencia cultural externa o propaganda masiva actuando en un sistema social. El modelo está basado en la dinámica de diseminación cultural de Axelrod. Se encuentra que la propaganda induce una transición de fase en el sistema: si la intensidad de la propaganda aplicada es menor que un valor umbral, ésta logra imponer su estado en todo el sistema; es decir, el sistema adquiere un estado ordenado homogéneo e igual al estado cultural de la propaganda. Sin embargo, si la intensidad de la propaganda es mayor que el valor umbral, entonces el sistema alcanza un estado desordenado caracterizado por la presencia de muchos grupos culturales distintos. Estos estados se describen en el espacio de parámetros del sistema, dado por la intensidad de la propaganda y por el número de opciones culturales disponibles.

*Palabras clave:* autómatas celulares, Sociofísica, modelos de dinámica social, transición de fase, sistemas dinámicos.

### SOCIOPHYSICAL MODEL OF MASS MEDIA INFLUENCE ON A SOCIAL SYSTEM

#### ABSTRACT

After a brief review of the recent field of Sociophysics, we present a cellular automata model of an external cultural influence or message, such as a controlled mass media, acting on a social system. The model is based on the rules of cultural dissemination proposed by Axelrod. It is found that the external message induces a phase transition in the system: if the intensity of the message is less than some threshold value, the message can impose its cultural state to the system, that is, the system reaches an ordered, homogeneous state equal to the cultural state of the message. However, if the intensity of the transmitted message is above the threshold value, the system reaches a disordered state characterized by the presence of many different cultural groups. These states are described in the space of parameters of the system, consisting of the intensity of the message or mass media influence and the number of available cultural options.

*Keywords:* cellular automata, Sociophysics, models of social dynamics, phase transitions, dynamical systems.

#### INTRODUCCIÓN

En este artículo presentamos un modelo de dinámica social con una influencia cultural externa, tal como una propaganda o un mensaje globalmente transmitido. La intención es mostrar cómo algunos fenómenos sociales pueden ser modelados en forma matemática y cómo esos fenómenos tienen analogías con fenómenos físicos. Se trata de una aplicación de conceptos y herramientas del campo de estudio contemporáneo que se ha denominado sistemas complejos.

El concepto de sistema complejo (Boccaro, 2004) se aplica a

sistemas de elementos dinámicos interactivos o acoplados que presentan propiedades colectivas (estructuras, patrones, funcionalidad) que emergen de las interacciones. Por emergencia queremos decir que las propiedades colectivas no están presentes o no se pueden derivar trivialmente a partir del conocimiento del comportamiento de las partes constituyentes. En otras palabras, son sistemas donde el todo es distinto a la suma de las partes, lo cual es una consecuencia de las no linealidades invariablemente presentes en estos sistemas. Los sistemas complejos poseen características similares, independientemente del contexto: no linealidad, interacciones, adaptación y emergencia.

Ejemplos de este tipo de sistemas son los sistemas caóticos espaciotemporales, las colonias de insectos, el tráfico, sistemas fisiológicos, sistemas ecológicos, el cerebro, redes diversas, la economía, sistemas sociales, etc. (Mikhailov y Calenbuhr, 2002). En este tipo de sistemas se ha observado comportamientos colectivos universales, es decir, comportamientos emergentes que no dependen de la naturaleza o de los detalles específicos del sistema. Comportamientos comunes que ocurren en sistemas complejos son sincronización, coexistencia de orden global con caos local, aparición de particiones dinámicas, formación de patrones, transiciones de fase fuera de equilibrio, y redes de conectividad universales, tales como redes de pequeño mundo o redes libres de escala. El fenómeno de sincronización, por ejemplo, ocurre de manera similar en una variedad de sistemas constituidos por elementos acoplados, tales como osciladores mecánicos o electromagnéticos, poblaciones de insectos, patologías cerebrales (epilepsia), sociedades humanas, sistemas económicos, etc. (Pikovsky, 2001).

En el terreno de las aplicaciones a sistemas sociales, esta frontera de la ciencia contemporánea ha sido denominada Sociofísica (Ball, 2002).

El interés en tratar de explicar los fenómenos sociales como cualquier otro fenómeno natural no es nuevo. De hecho, la idea de que la sociedad humana puede ser estudiada usando los conceptos de la física se remonta a los orígenes mismos de la Mecánica y del método científico creados por Kepler, Galileo y Newton. Los trabajos de Galileo tuvieron mucha influencia en un filósofo inglés llamado Thomas Hobbes, quien además había sido ayudante de Francis Bacon en Inglaterra. Se tiene noticia de que Hobbes fue a visitar a Galileo en Florencia en 1636. Hobbes también conoció a René Descartes. De modo que Hobbes estaba, como muchos otros de su época, impresionado por el novedoso método científico y los descubrimientos de Galileo que revelaban la existencia de leyes matemáticas que regían los fenómenos naturales, y por el razonamiento analítico de Descartes. Posiblemente fue Hobbes el primero en aplicar estas ideas para desarrollar una teoría de la sociedad basada en principios mecánicos, que publicó en sus obra maestra *Leviatán* en 1651. Pensaba que para entender cómo funcionaba la sociedad había que entender como funcionaban los individuos, que consideraba como partículas o como piezas de engranajes que debían ajustarse para formar una máquina compleja que sería la sociedad. Hobbes usaba la analogía del principio de inercia de Galileo: el estado natural del hombre es la anarquía. Por eso, para conseguir un estado estable cuando hay muchos hombres o piezas mecánicas es necesario ponerse de acuerdo para que haya un rey que sirva de control para todos. Lo

novedoso de las ideas de Hobbes para su tiempo era que el rey o gobernante surgía por necesidad de equilibrio (una propiedad mecánica) del mismo sistema social, no por designio divino ni por arbitrariedad humana.

El gran éxito de la Mecánica durante los siglos siguientes (la explicación y predicción de eclipses y cometas; los inventos de máquinas, etc) hizo que el interés en tratar de aplicar las ideas de esta ciencia a la sociedad, persistiera entre los pensadores del siglo XIX. Auguste Comte (1842), considerado como el padre de la Sociología, estaba muy influenciado por el mecanicismo newtoniano y galileano y pensaba que la Física podía aplicarse a todos los fenómenos naturales, incluyendo los sociales. En su famosa clasificación de las ciencias, Comte suponía que todas las disciplinas científicas eran eventualmente aplicaciones o ramas de la Física. Así, discriminó entre la Física Inorgánica y la Física Orgánica, que a su vez contenían una serie de disciplinas cada una: Física Celeste (Astronomía), Física Terrestre (Geología); Física Fisiológica, etc. En ese esquema faltaba la Física Social, la cual se dedicaría a estudiar positivamente los fenómenos sociales. Comte se propuso desarrollar esa ciencia en su famoso tratado *Cours de Philosophie Positive* (Comte, 1839). Así que, el primer nombre de la Sociología fue Física Social.

Después de Comte, varios científicos y pensadores han tratado de encontrar leyes para fenómenos sociales, análogas a las leyes físicas. Muchos de los físicos que contribuyeron al desarrollo de la Mecánica Estadística y de la Termodinámica como Laplace, Maxwell, Boltzmann, Gibbs, Fisher y otros, con frecuencia establecieron analogías y paralelismos entre las leyes de estas ciencias y el comportamiento social. Algunas de esas analogías e ideas (comparación de la sociedad con una máquina, eficiencia, entropía y desorden social, transiciones de fase, puntos críticos y eventos históricos determinantes, etc) también han sido usadas por varios científicos sociales.

El auge reciente de la investigación e interés en los sistemas complejos ha llevado a muchos físicos a abordar problemas fuera de las fronteras tradicionales de esta ciencia. El estudio de los sistemas se ha caracterizado especialmente por su carácter interdisciplinario. El impulso inicial a las ideas de complejidad y emergencia en el ámbito de los sistemas sociales y económicos provino justamente de parte de investigadores de las ciencias sociales. Destacados sociólogos, politólogos y economistas, como Thomas Schelling (2006) y Robert Axelrod (1997a), propusieron modelos basados en agentes para explicar diversos fenómenos colectivos sociales. En la actualidad se trata de entender cómo fenómenos típicos de sistemas complejos surgen en sistemas sociales. En particular, el paradigma de

sistemas complejos en el contexto de sistemas sociales supone que hay estructuras colectivas que emergen de las propiedades dinámicas y de las interacciones entre los elementos del sistema. Es decir, asumimos que, al menos algunos fenómenos sociales son procesos colectivos emergentes comunes en diversos sistemas dinámicos y, por lo tanto, susceptibles de ser abordados por la física.

En este escenario, un modelo propuesto por Robert Axelrod ha recibido recientemente considerable atención por parte de los físicos (Castellano *et al.*, 2000; Klemm *et al.*, 2003a, 2003b). Este modelo describe el proceso de la propagación de cultura entre agentes interactivos en un sistema social.

Basados en las ideas de Axelrod, en el presente artículo presentamos un modelo dinámico para estudiar el efecto de una influencia cultural externa, tales como medios de comunicación globales o propaganda masiva, en un sistema social. En la Sección 2 hacemos una breve revisión del modelo de Axelrod. En la Sección 3 explicamos las técnicas de simulación y visualización empleadas. La Sección 4 presenta nuestro modelo de influencia de propaganda y los resultados se muestran en la Sección 5. Finalmente, la Sección 6 contiene las conclusiones de este trabajo.

## MODELO DE DISEMINACIÓN CULTURAL DE AXELROD

Comenzaremos por revisar brevemente el modelo original de Axelrod con el fin de introducir algunas definiciones y notaciones que empleamos en el presente trabajo. En un famoso artículo Axelrod (1997b) plantea un problema fundamental que muchos pensadores de las ciencias sociales han considerado por largo tiempo. Axelrod comienza su artículo con la siguiente pregunta:

«If people tend to become more alike in their beliefs, attitudes and behavior when they interact, why do not all differences eventually disappear?» (1997b)

Para responder esta pregunta, Axelrod propone un modelo simple, con ingredientes mínimos, para explorar mecanismos de competencia entre la tendencia hacia la homogeneidad cultural o globalización, y la persistencia de diversidad cultural en sistemas sociales. El concepto de cultura aquí se define de manera general, como un conjunto de atributos individuales sujetos a la influencia social, es decir, todo lo que puede ser modificado por efecto de interacciones con otros individuos. Ejemplos de tales atributos culturales son lenguaje, arte, opiniones, convenciones sociales, estándares técnicos, etc. Ésta es una definición operativa de cultura como un fenómeno multidimensional.

La dinámica de interacción cultural se basa en dos premisas simples que se derivan de diversas observaciones sociológicas empíricas:

- 1) La probabilidad de interacción entre individuos es proporcional al número de atributos culturales que comparten.
- 2) La interacción aumenta la similitud cultural entre individuos.

En términos matemáticos, podemos formular el modelo de Axelrod de la siguiente manera. Consideraremos un sistema social compuesto por  $N$  agentes o individuos distribuidos espacialmente. Nos enfocaremos en una estructura de red bi-dimensional, como se muestra en la figura 1.

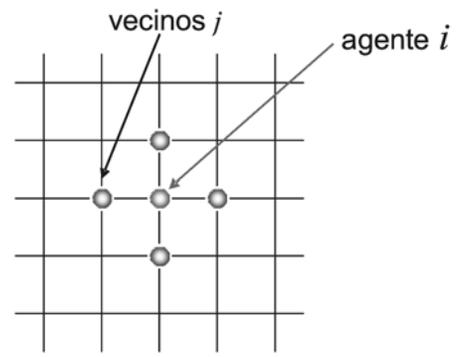


Figura 1. Red bidimensional en el modelo de Axelrod.

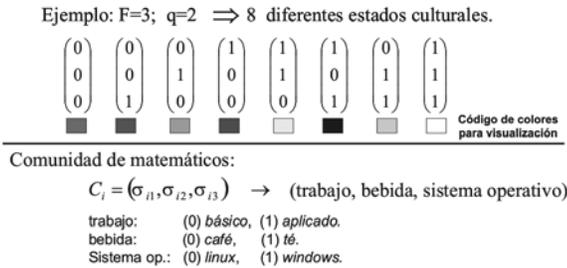
Asumiremos que el estado cultural de un individuo o agente  $i$  puede ser representado por un vector de  $F$  componentes o atributos culturales

$$C_i = (\sigma_{i1}, \sigma_{i2}, \dots, \sigma_{if}, \dots, \sigma_{iF}), \quad (1)$$

donde:

$$\sigma_{if} \in \{0, \dots, q-1\}.$$

Cada atributo  $\sigma_{if}$  puede tomar  $q$  valores o rasgos culturales. No existe ningún valor o significado específico dado a ningún atributo o rasgo; todos se consideran equivalentes. Por simplicidad, se asume que el número de atributos  $F$  es el mismo para todos los elementos en el sistema (individuos similares) y también que cada atributo posee el mismo conjunto posible de rasgos. Luego, hay un total de  $q^F$  estados culturales equivalentes posibles en el sistema. La figura 2 muestra el caso de un sistema caracterizado por  $F = 3$  y  $q = 2$  y que dispone por lo tanto de 8 vectores o estados culturales distintos posibles. Imaginemos una comunidad de matemáticos con vectores culturales compuestos por tres atributos  $C_i =$  (tipo de investigación, bebida preferida, sistema operativo en su PC).



**Figura 2.** Estados culturales posibles correspondientes a  $F = 3, q = 2$ , indicando código de colores para visualización e incluyendo un ejemplo ilustrativo.

Convenientemente, a cada vector cultural le podemos asignar un código de color o escala de grises para su visualización en simulaciones computacionales; de modo que elementos que poseen el mismo estado cultural exhiben el mismo color. La formación y evolución de regiones culturales puede fácilmente visualizarse de esta manera.

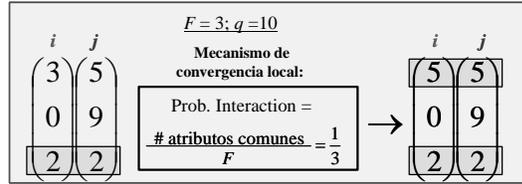
El modelo de Axelrod es un sistema dinámico espaciotemporal perteneciente a la clase de autómatas celulares; es decir, sistemas con tiempo, espacio y estados discretos. Se parte de una distribución inicial aleatoria uniforme de los rasgos por atributo en cada elemento del sistema. La dinámica de interacción se define mediante el siguiente algoritmo:

1. Seleccionar al azar un elemento  $i$  en el sistema (elemento activo).
2. Seleccionar al azar un elemento  $j$  perteneciente al entorno inmediato de  $i$ .
3. Calcular la similitud cultural entre  $i$  y  $j$  definida por:

$$l(i, j) = \sum_{f=1}^F \delta_{\sigma_{if}, \sigma_{jf}}$$

4. Si  $0 < l(i, j) < F$ , los elementos  $i, j$  interactúan con probabilidad  $l(i, j) / F$ .
5. En caso de interacción, escoger un  $h$  al azar tal que  $\sigma_{ih} \ll \sigma_{jh}$ , y asignar  $\sigma_{ih} = \sigma_{jh}$

La figura 3 muestra un ejemplo de la dinámica de interacción para el caso  $F = 3, q = 10$ . Los elementos  $i$  y  $j$  poseen un rasgo en común para su tercer atributo, luego su similitud cultural y también su probabilidad de interacción es  $1/3$ . Si la interacción ocurre, entonces el elemento  $i$  cambia alguno de sus atributos en los que difiere de  $j$ , adoptando el valor que  $j$  tiene para ese atributo.



**Figura 3.** Ejemplo de la dinámica de interacción en el modelo de Axelrod.

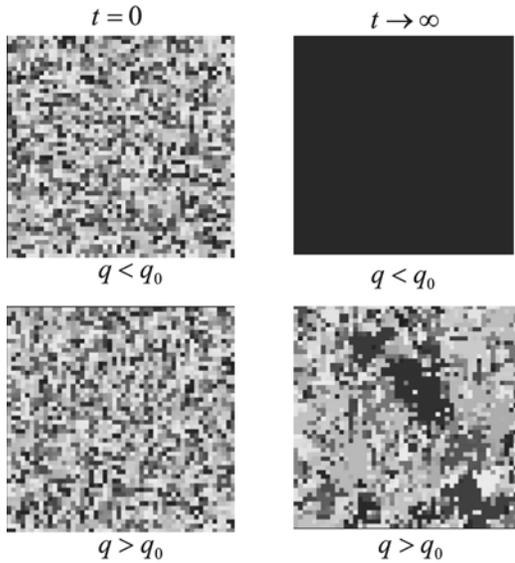
Nótese que la dinámica del modelo original de Axelrod es un proceso adaptativo; esto es, los elementos tratan de parecerse o adaptarse a su entorno. Este tipo de comportamiento es típico de sistemas sociales y biológicos. En este modelo no hay racionalidad, intencionalidad u objetivos específicos; ni tampoco existe una autoridad central. En tal sentido, el comportamiento colectivo resultante de las interacciones del sistema es auto-organizado o emergente.

### VISUALIZACIÓN DE LA DINÁMICA Y TRANSICIÓN DE FASE EN EL MODELO DE AXELROD

Partiendo de condiciones iniciales aleatorias, se encuentra que un sistema finito con la dinámica de Axelrod invariablemente alcanza un estado estático o congelado, en el cual no ocurren más interacciones.

Para visualizar la dinámica del modelo de Axelrod, consideremos una red con  $N = 50 \times 50$  elementos, con condiciones de frontera abiertas,  $F = 10$  y valor variable de  $q$ , como se muestra en la figura 4. También en esta figura se observa que para valores pequeños de  $q$ , el sistema evoluciona hacia un estado ordenado, culturalmente homogéneo (monocultural) en el cual  $C_i = C_j, \forall i, j$ . Este estado monocultural puede ser cualquiera de los posibles estados equivalentes del sistema. Sin embargo, para valores de  $q$  mayores que un cierto valor crítico  $q_c$ , el sistema alcanza un estado multicultural, en el cual coexisten regiones o dominios espaciales con diferentes estados culturales. Un dominio cultural se define como un conjunto de elementos adyacentes que poseen idéntico vector cultural, y por lo tanto se distingue por un color específico. Luego el número de opciones o rasgos disponibles por atributo cultural determina el estado global asintótico del sistema, que puede ser ordenado (homogéneo) o desordenado (multicultural).

Si se aumenta el número de atributos  $F$ , manteniendo  $q$  fijo, no se incrementa la tendencia hacia la multiculturalidad en el sistema. De hecho, ocurre lo contrario. Con más componentes en sus vectores culturales, existe una mayor probabilidad de que los elementos vecinos tengan algunos atributos en común y, por lo tanto, sean capaces de interactuar e incrementar la convergencia del sistema hacia



**Figura 4.** Estados finales en una red de tamaño  $N=50 \times 50$  elementos y  $F=10$  en el modelo de Axelrod, para diferentes valores de  $q$  por encima y por debajo del valor crítico  $q_c$ .

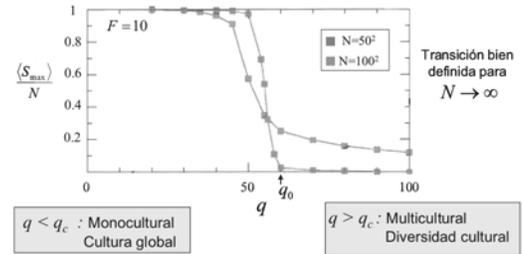
un estado homogéneo. Este modelo ilustra cómo una dinámica de convergencia local puede generar diferenciación a nivel global.

Lo que ha capturado la atención de los físicos en el modelo de Axelrod, ha sido el descubrimiento reciente de la existencia de una transición de fase en las propiedades colectivas de los estados asintóticos del sistema (Castellano *et al.*, 2000, Klemm *et al.*, 2003a, 2003b). En otras palabras, el sistema experimenta una transición colectiva entre una fase o régimen ordenado (cultura homogénea) y una fase desordenada (culturalmente fragmentada) al variar un parámetro. Este fenómeno es análogo a las transiciones de fase que ocurren en una variedad de sistemas físicos, como sistemas de spines, transiciones líquido-sólido, transición laminaridad-turbulencia en fluidos, etc.

Las propiedades estadísticas del sistema pueden ser caracterizadas mediante lo que se denomina un parámetro de orden; una cantidad global que mida el grado de orden en el sistema. Se puede usar como parámetro de orden al tamaño medio del dominio cultural más grande  $\langle S_{\max} \rangle$ , calculado sobre varias realizaciones de condiciones iniciales.

En la figura 5 se muestra el parámetro de orden normalizado (fracción de elementos del sistema correspondiente al dominio más grande) como función de  $q$  para  $F=10$ . Vemos que para valores de  $q > q_c$ , el sistema alcanza un estado final consistente en un solo dominio o estado monocultural, caracterizado por un valor del parámetro de orden

normalizado igual a 1; mientras que para  $q < q_c$ , se forman múltiples dominios culturales y el parámetro de orden normalizado tiende a ser muy pequeño. Una transición abrupta entre estos dos estados ocurre para un valor  $q = q_c$ ,  $H \gg 55$ , que se denomina un valor crítico. Luego, estamos en presencia de una transición de fase orden-desorden, análoga a otras transiciones observadas en diversos sistemas físicos.



**Figura 5.** Parámetro de orden  $\langle S_{\max} \rangle / N$  en función de  $q$ , muestra una transición de fase en el modelo de Axelrod.

Como muestra la figura 5, la transición de fase se vuelve mejor definida a medida que el tamaño del sistema se incrementa, lo que se denomina límite termodinámico y es una propiedad típica de sistemas compuestos de muchos elementos. De hecho, algunos investigadores han argumentado, mediante simulaciones numéricas, que la transición es efectivamente discontinua o de primer orden.

## DINÁMICA SOCIAL CON PROPAGANDA

Las investigaciones realizadas hasta ahora en el modelo de Axelrod se han concentrado en las propiedades colectivas del sistema que resultan de las interacciones entre los elementos y que representan la influencia social. Desde el punto de vista de sistemas dinámicos, el modelo de Axelrod corresponde a un sistema autónomo, sin influencias externas. Como se ha dicho, este modelo es llamativo porque exhibe una transición de fase no trivial en sus propiedades de ordenamiento colectivo, similar a las que se han observado en otros sistemas con ingredientes mínimos constituidos por elementos interactivos, y que sugiere la existencia de comportamientos universales en sistemas complejos.

Sin embargo, muchos sistemas naturales y artificiales están sujetos a influencias externas que son capaces de inducir una variedad de comportamientos colectivos interesantes, muchos de los cuales tienen utilidad práctica. Los sistemas sometidos a influencias externas se denominan sistemas dinámicos no autónomos o forzados.

En el presente trabajo hemos investigado el efecto que tiene una influencia cultural externa, tal como medios de comunicación masivos o una propaganda global, sobre un

sistema social. Parafraseando a Axelrod, nos preguntamos ¿Cómo se comporta un sistema social cuando está sujeto a una influencia cultural externa?

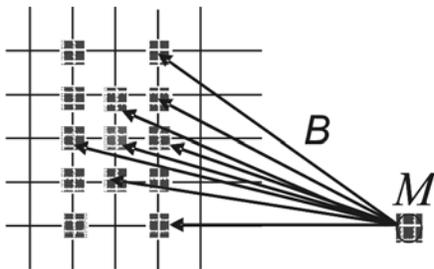
Para responder esta pregunta, proponemos un modelo sencillo de dinámica social con una influencia cultural externa o propaganda, conservando los principios básicos de interacción del modelo de Axelrod. En tal sentido, definimos como propaganda a un vector cultural externo  $M$  que puede interactuar con todos los elementos del sistema:

$$M = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_f, \dots, \mu_F), \quad (2)$$

donde:

$$\mu_f \in \{0, \dots, q-1\}.$$

Definimos también un parámetro  $B \in (0,1)$  que cuantifica la intensidad relativa con que se transmite la propaganda al sistema o la probabilidad que tiene el vector  $M$  de llamar la atención de los agentes en el sistema. Este parámetro representa factores moduladores de la propaganda transmitida, tales como su amplitud, frecuencia, atractivo, etc. Asumimos que  $B$  es uniforme, es decir, que la propaganda llega a todos los elementos del sistema con igual intensidad, como un campo externo uniforme. En cualquier instante dado, suponemos que cualquier agente puede interactuar con la propaganda o con otros agentes en su entorno. Luego, cada agente en el sistema posee una probabilidad  $B$  de ser atraído hacia la propaganda, y una probabilidad  $(1-B)$  de interactuar con sus vecinos. La figura 6 ilustra estas ideas.



**Figura 6.** Modelo de la influencia de un vector cultural de propaganda  $M$  considerado como un campo externo actuando uniformemente sobre el sistema. El parámetro  $B$  describe la intensidad de la propaganda, o la probabilidad de captar la atención de los agentes del sistema.

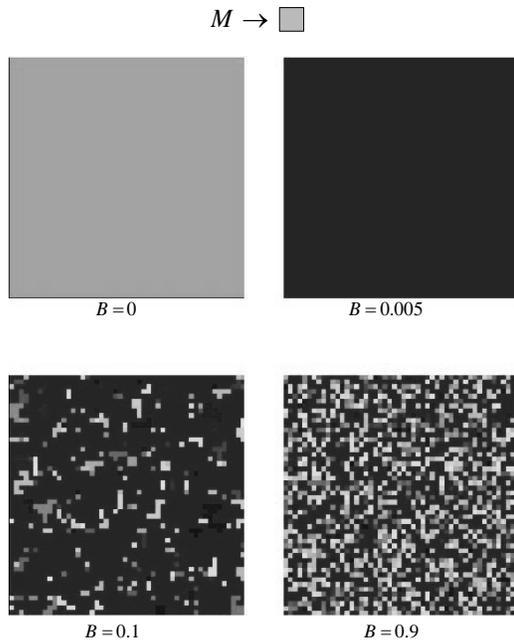
Si un agente  $i$  es seleccionado para interactuar con la propaganda, la probabilidad de interacción específica es proporcional al número de atributos culturales que el vector  $C_i$  comparte con el vector  $M$ , o sea,  $l(i,M)/F$ . En caso de interacción, el elemento  $i$  cambia al azar algún atributo que no comparte con  $M$ , adoptando el valor correspondiente del atributo de  $M$ . Por simplicidad, asumimos que el vector propaganda es fijo y actúa uniformemente; sin embargo, diversas variaciones del modelo pueden ser implementadas mediante la extensión de este algoritmo básico. Nótese que el caso  $B = 0$  corresponde al modelo original de Axelrod.

La figura 7 muestra los patrones espaciales finales de la distribución de culturas que se forman cuando se varía la intensidad de la propaganda aplicada sobre un sistema con  $F = 10$  y  $q = 35 < q_o$ . En ausencia de propaganda ( $B = 0$ ), el sistema alcanza un estado homogéneo correspondiente a cualquiera de sus  $q^F$  posibles estados monoculturales. Cuando la intensidad de la propaganda se aumenta, el sistema converge al estado monocultural correspondiente al vector de propaganda  $M$ , es decir,  $C_i = M, \forall i$ . Sin embargo, existe un valor umbral de intensidad  $B_c$  por encima del cual el sistema ya no converge al estado homogéneo especificado por la propaganda, sino que alcanza en un estado multicultural en el cual persisten dominios con el estado  $M$ . Estos dominios se vuelven más pequeños a medida que  $B$  se incrementa por encima del valor  $B_c$ . Tenemos aquí un resultado sorprendente: si la intensidad de la propaganda se encuentra por encima de un cierto valor, la propaganda global más bien contribuye a aumentar la diversidad cultural en el sistema

## TRANSICIÓN DE FASE INDUCIDA POR LA PROPAGANDA

La figura 8 muestra el cálculo numérico del parámetro de orden  $\langle S_{\max} \rangle / N$  como función de  $q$  para diferentes valores de la intensidad de la propaganda  $B$ . Se observa que el valor crítico  $q_c$  para la transición orden-desorden decrece cuando se incrementa  $B$ , y tiende a  $q = q_o$  cuando  $B = 0$ . Para valores de  $q > q_c$ , el sistema siempre alcanza un estado multicultural, independiente de la intensidad de la propaganda.

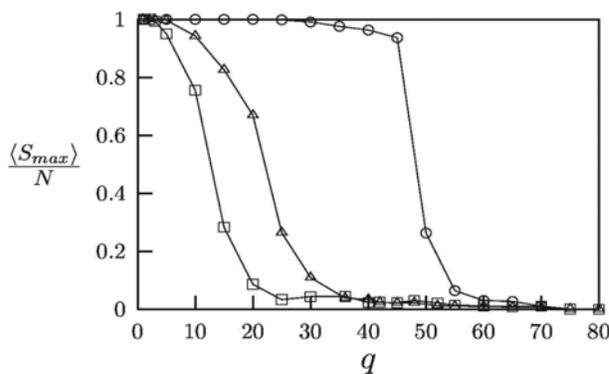
Los valores críticos de  $q$  en función de intensidad de la propaganda  $B$ , calculados a partir de la figura 8, se muestran en la figura 9. El ajuste numérico de los puntos en la figura 8 se describe bastante bien por la relación:



**Figura 7.** Estados finales del sistema para diferentes valores de la intensidad de la propaganda  $B$  y parámetros fijos  $F = 10$  y  $q = 35 < q_o$ . El color asignado al vector propaganda está indicado:

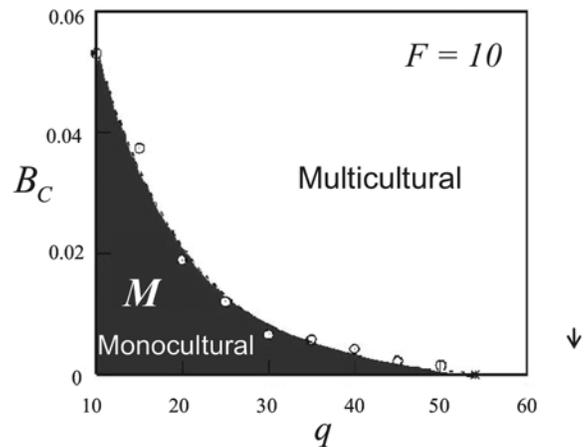
$$B_c \propto (e^{-kq} - e^{-kq_o}), \quad (3)$$

la cual conduce a  $q = q_o = 55$  para  $B = 0$ , como se muestra en la figura 9. Por lo tanto, en ausencia de propaganda, el valor crítico del número de opciones por atributo cultural para la transición de homogeneidad a multiculturalidad predicha por nuestro modelo es  $q_o = 55$ . Esta predicción concuerda con el valor obtenido numéricamente para la transición orden-desorden en el modelo original de Axelrod con  $F = 10$  (Klemm *et al.*, 2003b).



**Figura 8.** Parámetro de orden  $\langle S_{max} \rangle / N$  como función de  $q$  para distintos valores de la intensidad de la propaganda  $B$ .  
Círculos  $B = 0$ ; triángulos  $B = 0.001$ ; cuadrados  $B = 0.02$ .

La frontera crítica  $B_c$  vs  $q$  en la figura 9 separa la región multicultural de la región monocultural inducida por la propaganda en el espacio de parámetros del sistema  $(B, q)$ . La figura 9 revela que la capacidad de la propaganda para imponer su estado cultural a todo el sistema disminuye a medida que el número de opciones por atributo aumenta. Por encima de esta curva umbral, la propaganda no puede transmitir su estado cultural a todo el sistema, y por lo tanto, se establece un estado multicultural. Recientemente, se ha demostrado que aunque una propaganda de baja intensidad es más eficiente para imponer su estado cultural a un sistema, el tiempo que ésta tarda en homogeneizar al sistema es mucho mayor que el tiempo de convergencia a un estado multicultural inducido por una propaganda muy intensa (González-Avella *et al.*, 2005).



**Figura 9.** Diagrama de fases en el espacio de parámetros  $(B, q)$  para el sistema con  $F = 10$  sujeto a una propaganda externa.

## CONCLUSIONES

Este trabajo muestra que es posible establecer analogías entre modelos de dinámica social y sistemas físicos. Hemos presentado un modelo con ingredientes mínimos que permite estudiar la influencia de factores culturales externos sobre un sistema social. Nuestro modelo constituye una generalización del modelo de diseminación cultural de Axelrod que incluye un forzamiento externo, es decir, una extensión a un sistema dinámico no autónomo.

Por simplicidad, la influencia externa o propaganda global ha sido asumida como un campo vectorial constante que actúa uniformemente sobre el sistema; sin embargo diversas extensiones de esta condición se pueden implementar mediante pequeñas variantes del algoritmo básico presentado. Las simulaciones numéricas muestran que el sistema experimenta una transición entre una fase homogénea impuesta por la propaganda y una fase

desordenada, que consiste en la ocurrencia de múltiples dominios culturales. La frontera crítica que separa estas dos fases ha sido calculada en el espacio de parámetros del sistema, descrito por la intensidad de la propaganda y por el número de opciones culturales disponibles. Hemos encontrado una expresión para esta frontera.

Este modelo muestra que una propaganda masiva de baja intensidad es eficiente para imponer su mensaje cultural a todo el sistema social. Sorprendentemente, si la intensidad de la propaganda es mayor que un cierto valor umbral, entonces el sistema se fragmenta culturalmente y la propaganda no logra imponer su mensaje a todo el sistema. El resultado principal y no trivial del presente trabajo es que una propaganda global puede inducir diversidad cultural en un sistema social en condiciones donde el sistema sería culturalmente homogéneo.

Nuestros resultados sugieren diversas analogías con fenómenos culturales observables. Este modelo abre numerosas posibilidades interesantes de estudio para el futuro, tales como la consideración de propaganda variable en el tiempo y/o en el espacio, competencia entre varias propagandas simultáneas, ruido, y la exploración de otras topologías de interacción entre los elementos (redes de pequeño mundo, estructuras jerárquicas, redes libres de escala, redes de conectividad global, etc).

## AGRADECIMIENTO

Este trabajo ha sido apoyado por FONACIT a través del Proyecto No. F-2002000426.

## REFERENCIAS

- AXELROD, A., (1997a): *The complexity of cooperation*, Princeton University Press, Princeton.
- AXELROD R., (1997b): *The dissemination of culture*, J. Conflict Resolution 41, p. 203.
- BALL P., (2002): *The physical modeling of society*, Physica A 314, p. 1.
- BOCCARA N., (2004): *Modeling Complex Systems*, Cambridge University Press.
- CASTELLANO C., MARSILI M., AND VESPIGNANI A., (2000): *Nonequilibrium phase transition in a model for social influence*. Phys. Rev. Lett. 85, 3536.
- COMTE A., (1842): *Cours de Philosophie Positive*, 6 volúmenes, París.

GONZÁLEZ-AVELLA J. C., COSENZA M. G., AND TUCCI K., (2005): *Nonequilibrium transition induced by mass media in a model for social influence*. Phys. Rev. E (Rapid Comm.) 72, p. 065102(R).

KLEMM K., EGUILUZ V. M., TORAL R., AND SAN MIGUEL M., (2003a): *Nonequilibrium transitions in complex networks: a model of social interaction*. Phys. Rev. E 67, 026120.

KLEMM K., EGUILUZ V. M., TORAL R., AND SAN MIGUEL M., (2003b): *Global culture: a noise induced transition in finite systems*. Phys. Rev. E (Rapid Comm.) 67, 045101(R).

MILHAILOV A., V.CALENBUHR V., (2002): *From Swarms to Societies: Models of Complex Behavior*, Springer, Berlin.

PIKOVSKY A., ROSENBLUM M., KURTHS J., (2001): *Synchronization, A universal concept in nonlinear sciences*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

SCHELLING T. C., (2006): *Micromotives and Macrobehavior*, W. W. Norton; Revised edition.