



ISSN: 1886-8452

Vol.6 Número 16, junio 2014

<http://www.eumed.net/rev/tecsistecat1/index.htm>

## USO DE LA SOCIOFÍSICA PARA REALIZAR PREDICCIONES ELECTORALES UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS.

Mario H. Ramírez Díaz<sup>1</sup>

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional, México

[mramirezd@ipn.mx](mailto:mramirezd@ipn.mx)

Eduardo Chávez Lima<sup>2</sup>

Escuela Superior de Cómputo, Instituto Politécnico Nacional, México

[echavezl@ipn.mx](mailto:echavezl@ipn.mx)

### Resumen

La sociofísica es una novedosa rama interdisciplinaria de la física que aboga por el uso de métodos y conceptos de la física de sistemas complejos para el estudio de interacciones colectivas en sociedades y de los fenómenos sociales como propiedades emergentes de un conjunto de individuos. En este trabajo se muestran los resultados de utilizar el enfoque sociofísico para la predicción de procesos electorales, siguiendo los trabajos realizados por Serge Galam. Se realizan correcciones a la "formula mágica" propuesta por Galam, la cual presenta errores. Por otro lado, se desarrolló un sistema computacional basado en algoritmos genéticos para implementar la ecuación obtenida a partir de las correcciones de la formula mágica. Finalmente, se prueba el sistema con datos de elecciones delegacionales reales en el Distrito Federal de México de 2006 y 2009 para probar su eficiencia y se realiza una predicción para las elecciones del año 2012.

*Descriptor:* Sociofísica, Modelo de Galam, Algoritmos Genéticos, Predicciones Electorales.

### Abstract

The sociophysics is a novel interdisciplinary branch of physics that works for the use of methods and concepts of complex systems physics to the studies of collective interactions in society and social phenomena as like as emergent properties of an individual set. Is a new discipline and a new point of view focus right now is the looking for general paths in the social behavior. This paper shows the results use sociophysical view to predict electoral process, following the Serge Galam's works. We made corrections to the "Magic Formula" proposed by Galam that have some mistakes. On the other hand, we developed a computational system based in genetic algorithm to implement the equation obtained from

---

<sup>1</sup> Mario H. Ramírez Díaz, es Doctor en Física Educativa por el Instituto Politécnico Nacional donde actualmente es profesor-investigador de tiempo completo en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Legaría y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Av. Legaría 694, Col. Irrigación, Del. Miguel Hidalgo, México D.F., CP 11500, Tel. (52)+55+57296000, Correo Electrónico [mramirezd@ipn.mx](mailto:mramirezd@ipn.mx) .

<sup>2</sup> Eduardo Chávez Lima, es Licenciado en Física y Matemáticas por el Instituto Politécnico Nacional donde actualmente es profesor-investigador de tiempo completo en la Escuela Superior de Cómputo. Av. Juan de Dios Batiz s/n esq. Miguel Othón de Mendizábal. Col. Linda vista. CP 07738, México DF. Correo Electrónico [echavezl@ipn.mx](mailto:echavezl@ipn.mx) .

correction of Magic Formula. Finally, the system was applied with real data of delegational elections in Mexico City of 2006 and 2009 to proof its efficiency and was made predictions to the 2012 elections.

*Keywords: Sociophysics, Galam Model, Genetic Algorithm, Electoral Predictions.*

## 1. Introducción

El campo de la sociofísica emergió en los años 70's con un muy escaso conglomerado de artículos en el ambiente hostil de la comunidad de físicos. Comenzó a atraer el interés de algunos físicos a principios de los años noventa y en los 15 años siguientes el número de físicos interesados en este campo tomó un gran auge. Ahora es un reconocido campo de la física emparentado con la física estadística. Este campo ha prosperado y se ha expandido con una gran cantidad de artículos en importantes publicaciones y revistas de física (Galam, 2008).

La sociofísica se puede ver como una rama a su vez de la econofísica (Mancilla, 2003). Ejemplos de econofísica incluyen el uso de la teoría de la Percolación para explicar fluctuaciones en los mercados, el uso de modelos de infarto cardíaco, criticalidad autorganizada y dinámica de placas tectónicas para explicar las caídas en las bolsas de valores. La Econofísica se preocupa por explicar fenómenos de escalamiento y autosimilares como las leyes de potencias en la distribución de la riqueza. Otro problema de la Econofísica, es el estudio de la existencia de caos determinista en los patrones de transacciones económicas y sus horizontes de predicción temporal. El campo de la econofísica toma como agentes aspectos financieros de alto impacto en los mercados bursátiles, en la bolsa de valores o en cualquier organización como serían las alzas en las acciones o las devaluaciones, la sociofísica trabaja de esta manera, analizando una población de agentes, con la diferencia de que la sociofísica estudia comportamientos de individuos en poblaciones, para predecir acciones de los mismos, un ejemplo de este serían procesos electorales, huelgas o incluso acciones terroristas.

En este sentido, investigadores como Dietrich Stauffer y Serge Galam son pioneros en el uso de la sociofísica. Galam en los últimos 25 años ha realizado trabajos pioneros en la sociofísica, en particular ha hecho revisión de cinco clases de modelos en sociofísica: Votación democrática en sistemas jerárquicos de abajo hacia arriba, toma de decisiones, fragmentación vs coaliciones, terrorismo y dinámicas de opinión (Galam, 2008).

En este trabajo se retoman las ideas de Galam para el primero de los modelos mencionados, la votación democrática en sistemas jerárquicos. La tesis inicial de Galam era bastante sencilla: aunque una gran mayoría de individuos esté a favor de una determinada reforma, esos mismos individuos se van a unir posteriormente para rechazarla, este primer estudio fue la pauta para posteriores trabajos realizados por el mismo y otros pioneros haciendo de esta una rama de la física.

El modelo usado no tiene una contra parte directa en la física estadística. No obstante toma de está dos diferentes características. La primera es considerar una mezcla con dos especies A y B con densidades fijas, pero tal situación no es específica para modelos físicos. Por otra parte cabe destacar que a pesar de que se trata de dos especies A y B, nuestros agentes no son variables de Ising (McCoy, 1973). Cada agente pertenece a un partido y no cambia su afiliación. Estamos usando una mezcla de variables de estado.

La segunda característica utilizada es la matemática del mecanismo de renormalización del grupo en el espacio real, el cual usa una regla de mayoría para definir un súper spin. Pero la analogía termina ahí dado que nuestra implementación se realiza de una forma totalmente diferente que en física.

## 2. Votación en Sistemas Jerárquicos

Para Galam la principal cuestión en esta clase de modelos es hacer mediciones de la efectividad del balance democrático en organizaciones jerárquicas basadas en votaciones locales de abajo a arriba usando reglas locales de mayoría. El resultado neto es la singularización de una serie de efectos antidemocráticos. En particular se deriva aparentemente un modelo para "dictadura democrática" (Galam, 1986; 1990; 1991(a); 1991(b); 1993; 1999; 2000(a); 2000(b); 2000(c); 2001; 2002, 2005; 2006). Los modelos arrojan nueva luz sorprendentemente contraria a la intuición sobre algunos de los eventos políticos más importantes de los últimos años (Galam, 1997; 1998; 1999; 2002(a); 2002(b)).

El esquema principal considera una población con una mezcla de dos especies, A y B, cuyas proporciones son  $p_0$  y  $(1-p_0)$  respectivamente. Se construye una jerarquía de abajo hacia arriba

extrayendo aleatoriamente algunos agentes de los alrededores de la población. Estos agentes se distribuyen aleatoriamente en una serie de grupos de tamaño  $r$  finito, los cuales constituyen la parte alta de la jerarquía. Este es el nivel (0) de la jerarquía.

Entonces cada uno de estos grupos elige un representante de acuerdo a alguna bien definida regla de votación  $R_r(p_0)$ , la cual es una regla de mayoría en función de la composición actual del grupo. Esta composición es probabilística y depende de  $p_0$  dado que los miembros del grupo fueron seleccionados aleatoriamente de los alrededores de la población. Por lo tanto, la votación resultante para A tendrá una probabilidad de:

$$p_1 = R_r(p_0), \quad (1)$$

con una probabilidad  $(1 - p_1)$  para B. El conjunto de los representantes elegidos constituyen el primer nivel de la jerarquía.

El número de representantes electos constituye una fracción del número de agentes totales dado que  $r$  agentes son electos representantes. Cuando han sido electos forman otra serie de grupos de tamaño finito, de los cuales se elige un representante para un nivel mas elevado de acuerdo a la misma regla de votación usada con ellos. Este proceso se repite iterativamente con  $p_n = R_n(p_{n-1})$  hasta un nivel superior constituido por un solo grupo, del cual eventualmente se elige la jerarquía de presidente.

A partir de la relación anterior Galam propone considerar grupos los cuales están aleatoriamente constituidos por 3 agentes (Galam, 2008; Ramírez 2012). Se tiene entonces que la probabilidad de que A sea elegido en el nivel  $(n+1)$  a partir de un grupo en el nivel  $n$  es:

$$p_{n+1} \equiv P_3(p_n) = p_n^3 + 3p_n^2(1 - p_n), \quad (2)$$

Donde  $p_n$  es el porcentaje de personas que eligen a A en el nivel  $n$ .

La función de votación  $P_3(p_n)$  tiene 3 puntos fijos  $p_d = 0, p_{c,3} = \frac{1}{2}$  y  $p_t = 1$ . El primero corresponde a la desaparición de A. El último  $p_t$  representa la situación dictatorial donde solo A esta presente. Ambos son estables. Por el contrario  $p_c$  es inestable. Esto determina el umbral para poderes totales. Empezando en  $p_0 < 1/2$  la repetición de votación lleva a (0), mientras que el flujo es en la dirección de (1) para  $p_0 > 1/2$ .

Por lo tanto, la regla de mayoría produce auto eliminación de cualquier proporción de A siempre y cuando  $p_0 < 1/2$ , cuando existan los suficientes niveles de votación. Por tanto, es esencial para determinar el número de niveles necesarios para garantizar el liderazgo completo a la tendencia inicial más grande.

Por ejemplo, Galam propuso empezar con  $p_0 = 0.43$ , de manera que se tendrá sucesivamente  $p_1 = 0.40, p_2 = 0.35, p_3 = 0.28, p_4 = 0.20, p_5 = 0.10, p_6 = 0.03$  llegando a  $p_7 = 0.00$ . Por lo tanto, 7 niveles son suficientes para eliminar al 43% de la población.

Para el caso de grupos de 4 personas en lugar de 3 teniendo una configuración 2A-2B para la cual no existe mayoría Galam pregunta ¿cómo se resuelve este caso?

En la mayoría de las situaciones sociales es bien conocido que para cambiar una política se requiere tener de una clara mayoría. En el caso de no tenerla, las cosas permanecen como están. Esto es una vía natural a favor del status quo. En instituciones reales, una posible vía para evitar esta situación es dar un voto de calidad adicional al presidente del comité.

En consecuencia, la función de votación se volverá no simétrica. Asumiendo que B estuviera en el poder, para que A sea electo en el nivel  $n + 1$  la probabilidad se vuelve:

$$p_{n+1} \equiv P_4(p_n) = p_n^4 + 4P_n^3(1 - p_n), \quad (3)$$

Mientras para B esta es:

$$1 - P_4(n) = p_n^4 + 4P_n^3(1 - p_n) + 2p_n^2(1 - p_n)^2, \quad (4)$$

Donde el último termino representa el sesgo a favor de B. Los puntos asociados fijos siguen sin cambio en (0) y (1). Sin embargo, la inestabilidad cambia drásticamente a:

$$p_{c,4} = \frac{1 - \sqrt{13}}{6} \approx 0.77, \quad (5)$$

que determina el límite al poder de A a un valor mucho más alto que el esperado 50%. En suma el proceso de autoeliminación se acelera. Por ejemplo, empezando con  $p_0 = 0.69$  tendremos la serie  $p_1 = 0.63, p_2 = 0.53, p_3 = 0.36, p_4 = 0.14, p_5 = 0.01$  y  $p_6 = 0.00$ . La serie muestra como 63% de una población desaparece democráticamente de niveles de liderazgo con solamente 5 niveles de votación. El uso a priori de un sesgo razonable a favor de B convierte una regla de votación democrática en un resultado eficaz para la dictadura.

## 2.1 Grupos grandes de votación y “Formula Mágica”

De los casos particulares de las ecuaciones (2) y (3) para grupos con  $r = 3$  y  $r = 4$  respectivamente Galam propone para grupos de votación de cualquier tamaño  $r$ , la función de votación  $p_{n+1} = P_r(p_n)$  como (Galam, 2008):

$$P_r(p_n) = \sum_{l=r}^{m} \frac{r!}{l!(r-l)!} P_n^l (1 + P_n)^{r-l} \quad (6)$$

Donde  $m = (r + 1)/2$  para valores impares de  $r$  y  $m = (r + 1)/2$  para  $r$  pares, teniendo en cuenta el sesgo a favor de B.

A la ecuación (6) Galam la llama “Formula Mágica”. Sin embargo al hacer una revisión más detallada de dicha ecuación resulta claro que existen tres errores. El primero error esta en la operación  $(1 + P_n)^{r-l}$  donde el resultado siempre será mayor a uno y no podría corresponder a la probabilidad de B. El segundo error se encuentra en los límites de la sumatoria dado que claramente  $r > m$  ya que es sobre el número de integrantes de los grupos sobre los que se hace dicha sumatoria. Finalmente, las definiciones para  $m$  tanto pares como impares son las mismas lo cual evidentemente no es posible.

Por otro lado, es claro que al hacer las sustituciones con  $r = 3$  y  $r = 4$  en la ecuación (6), no se llega a las ecuaciones (2) y (3) como sería de esperarse.

La situación anterior es curiosa dado que la “Formula Mágica” es reportada por Galam en diversos trabajos con la misma forma de la ecuación (6) (poniendo en duda que sea un simple “error de dedo”) a pesar de ser claro que los resultados reportados no se pueden obtener a partir de esta.

Tomando en cuenta lo anterior, la ecuación (6) se puede reescribir como:

$$P_r(p_n) = \sum_{l=m}^r \frac{r!}{l!(r-l)!} P_n^l (1 - P_n)^{r-l} \quad (7)$$

Donde  $m = (r + 1)/2$  para valores impares de  $r$  y  $m = \frac{r}{2} + 1$  para  $r$  pares, teniendo en cuenta el sesgo a favor de B.

Con estas correcciones se recuperan los resultados reportados por Galam al hacer las sustituciones con  $r = 3$  y  $r = 4$  en la ecuación (7) y obtener a las ecuaciones (2) y (3).

A partir de (7) se pueden retomar los resultados de Galam donde los dos puntos fijos establecidos  $p_d = 0$  y  $p_t = 1$  son independientes del tamaño  $r$  del grupo. El punto inestable  $p_{c,r} = 1/2$  también es independiente del tamaño del grupo  $r$  para valores impares de  $r$ , para los cuales no existe sesgo. Por el contrario este varia con valores pares de  $r$ . Comienza en  $p_{c,2} = 1$  para  $r = 2$ , disminuyendo a  $p_{c,4} = (1 + \sqrt{13})/6 \approx 0.77$  para  $r = 4$  y se mantiene en decrecimiento asintótico por arriba de  $1/2$ .

Cuando  $p_0 < p_{c,r}$  podemos calcular analíticamente el número crítico de niveles  $n_c$  en el cual  $p_{n_c} = \varepsilon$ , siendo  $\varepsilon$  un número muy pequeño. Este número determina el nivel de confianza para la predicción de que A no sea elegido en el nivel  $n$  ó superior, es decir, solamente B es elegido. Para hacer la evaluación primero expandimos la función de votación  $p_n = P_r(p_{n-1})$  alrededor del punto fijo inestable  $p_{c,r}$ ,

$$p_n \approx p_{c,r} + (p_{n-1} - p_{c,r})\lambda_r, \quad (8)$$

Donde  $\lambda_r \equiv dP_r(p_n)/dp_n|_{p_{c,r}}$  con  $P_r(p_c) = p_{c,r}$ . Esto se puede reescribir como,

$$p_n - p_{c,r} \approx (p_{n-1} - p_{c,r})\lambda_r, \quad (10)$$

Que puede iterarse para obtener,

$$p_n - p_{c,r} \approx (p_0 - p_{c,r})\lambda_r^n. \quad (11)$$

El número crítico de niveles  $n_c$  en el cual  $p_{n_c} = \varepsilon$  se obtiene entonces aplicando logaritmo en ambos lados de la ecuación obteniendo,

$$n_c \approx -\frac{\ln(p_{c,r} - \varepsilon)}{\ln \lambda_r} + n_0, \quad (12)$$

Donde  $n_0 \equiv \frac{\ln(p_{c,r} - \varepsilon)}{\ln \lambda_r}$ . Suponiendo  $n_0 = 1$  cuando se toma la parte entera de la expresión se tiene una mejor estimación de  $n_c$  con respecto a los valores exactos estimados por las iteraciones.

La expresión anterior es interesante pero no permite definir una estrategia ya sea de A o B dado que la mayoría de las organizaciones tienen una estructura fija, la cual no puede ser modificada a voluntad en cada nueva elección, aún si esto se hace en algunas ocasiones. El número de niveles de jerarquía es entonces fijo y constante. Por lo tanto para hacer un análisis más útil es necesario que la pregunta:

*¿Cuántos niveles se necesitan para llevar a una tendencia a la eliminación?*

Se convierta en

*Dados  $n$  niveles, ¿Cuál es el soporte necesario en la población para tener con certeza el poder total?*

Se debe de tener en cuenta que las tendencias A y B no siempre son simétricas. En particular, no son simétricas para grupos de tamaño par. A continuación abordamos la dinámica de votación respecto a la perspectiva de A. Para implementar operativamente la pregunta reformulada reescribimos la ec. (10) como,

$$p_0 = p_{c,r} + (p_n - p_{c,r})\lambda_r^{-n}, \quad (12)$$

De la cual se obtienen dos diferentes umbrales críticos. El primero es el umbral de desaparición

$$p_{d,r}^n = p_{c,r}(1 - \lambda_r^{-n}). \quad (13)$$

En paralelo, haciendo nuevamente  $p_n = 1$  en la ec. (12) da el segundo umbral  $p_{f,r}^n$  a partir del cual A obtiene el poder total a nivel presidencial. Usando la ec. (12) obtenemos,

$$p_{f,r}^n = p_{d,r}^n + \lambda_r^{-n}. \quad (14)$$

La existencia de los dos umbrales  $p_{d,r}$  y  $p_{f,r}$  produce una nueva región  $p_{d,r}^n < p_0 < p_{f,r}^n$  en la cual ni A desaparece totalmente ni se tiene la certeza de que gane el poder totalmente.

Aquí  $p_n$  no es 0 ó 1. Hay entonces una región donde algunos principios de democráticos prevalecen dado que los resultados de un proceso electoral continúan siendo probabilísticos. No hay tendencia ganadora segura, haciendo la alternancia de liderazgo una realidad. Su extensión esta dada por  $\lambda_r^{-n}$  como se ve de la ec. (14). Esto muestra que la región de probabilidad se reduce a una ley de potencias en función del número  $n$  de niveles de jerarquía. Teniendo un número pequeño de niveles que ponen el umbral más alto para obtener el poder total pero a la vez reduce el umbral de la desaparición democrática. Para tener una idea practica de la ec. (14) veamos el caso con  $r = 4$ , donde tenemos  $\lambda = 1.64$  y  $p_{c,4} = 0.77$ . Considerando  $n = 3, 4, 5, 6, 7$  niveles en la organización,  $p_{d,r}^n$  será igual a 0.59, 0.66, 0.70, 0.73 y 0.74 respectivamente. En paralelo,  $p_{f,r}^n$  será igual a 0.82, 0.80, 0.79, 0.78 y 0.78. El rango asociado de extensión es 0.23, 0.14, 0.09, 0.05, 0.04. Esta serie enfatiza drásticamente el carácter dictatorial de los procesos de votación de abajo hacia arriba.

## 2.2 genéticos

## Algoritmos

Los algoritmos genéticos (AGs) son métodos adaptativos que pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización. Están basados en el proceso genético de los organismos vivos. A lo largo de las generaciones, las poblaciones evolucionan en la naturaleza de acorde con los principios de la selección natural y la supervivencia de los más fuertes, postulados por Darwin. Por imitación de este proceso, los algoritmos genéticos son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real. La evolución de dichas soluciones hacia valores óptimos del problema depende en buena medida de una adecuada codificación de las mismas.

Los algoritmos genéticos usan una analogía directa con el comportamiento natural. Trabajan con una población de individuos, cada uno de los cuales representa una solución factible a un problema dado. A cada individuo se le asigna un valor o puntuación, relacionado con la bondad de dicha solución. En la naturaleza esto equivaldría al grado de efectividad de un organismo para competir por unos determinados recursos. Cuanto mayor sea la adaptación de un individuo al problema, mayor será la probabilidad de que el mismo sea seleccionado para reproducirse, cruzando su material genético con otro individuo seleccionado de igual forma. Este cruce producirá nuevos individuos (descendientes de los anteriores) los cuales comparten algunas de las características de sus padres. Cuanto menor sea la adaptación de un individuo, menor será la probabilidad de que dicho individuo sea seleccionado para la reproducción, y por tanto de que su material genético se propague en sucesivas generaciones. De esta manera se produce una nueva población de posibles soluciones, la cual reemplaza a la anterior y verifica la interesante propiedad de que contiene una mayor proporción de buenas características en comparación con la población anterior. Así a lo largo de las generaciones las buenas características se propagan a través de la población. Favoreciendo el cruce de los individuos mejor adaptados, van siendo exploradas las áreas más prometedoras del espacio de búsqueda. Si el algoritmo genético ha sido bien diseñado, la población convergerá hacia una solución óptima del problema. El poder de los algoritmos genéticos proviene del hecho de que se trata de una técnica robusta, y pueden tratar con éxito una gran variedad de problemas provenientes de diferentes áreas, incluyendo aquellos en los que otros métodos encuentran dificultades. Si bien no se garantiza que el algoritmo genético encuentre la solución óptima del problema, existe evidencia empírica de que se encuentran soluciones de un nivel aceptable, en un tiempo competitivo con el resto de algoritmos de optimización combinatoria. En el caso de que existan técnicas especializadas para resolver un determinado problema, lo más probable es

que superen al algoritmo genético, tanto en rapidez como en eficacia. El gran campo de aplicación de los algoritmos genéticos se relaciona con aquellos problemas para los cuales no existen técnicas especializadas. Incluso en el caso en que dichas técnicas existan, y funcionen bien, pueden efectuarse mejoras de las mismas hibridándolas con los algoritmos genéticos (Coello, 2002; Eiben, 2008).

Los algoritmos genéticos proponen puntos de cruce y probabilidades de mutación a través de sus generaciones para dar un enfoque de aleatoriedad como en los procesos de genética humana, esta aleatoriedad es importante en el trabajo ya que el comportamiento humano no tiene un carácter lógico ni analítico, siempre existe un gran factor de aleatoriedad.

Por otro lado, Galam en su trabajo propone a una población que evoluciona a través de un contexto con dos opciones basadas en una probabilidad de éxito o fracaso, de un espacio de individuos de tamaño cualquiera, en un principio se propone de estos individuos agrupar en particiones de 3 y generar una nueva población evaluando la mayoría predominante en esas particiones, este resultado se generaliza para llegar a la (ec.7) como se vio en la sección anterior. De lo anterior los algoritmos genéticos podrían adaptarse para realizar una simulación de un proceso que involucre la evolución de una población, en particular en el caso de un proceso electoral utilizando la "Formula Mágica" desarrollada por Galam (ec. 6) y corregida en este trabajo (ec. 7).

### **2.3 Visualizando la dinámica: Una simulación**

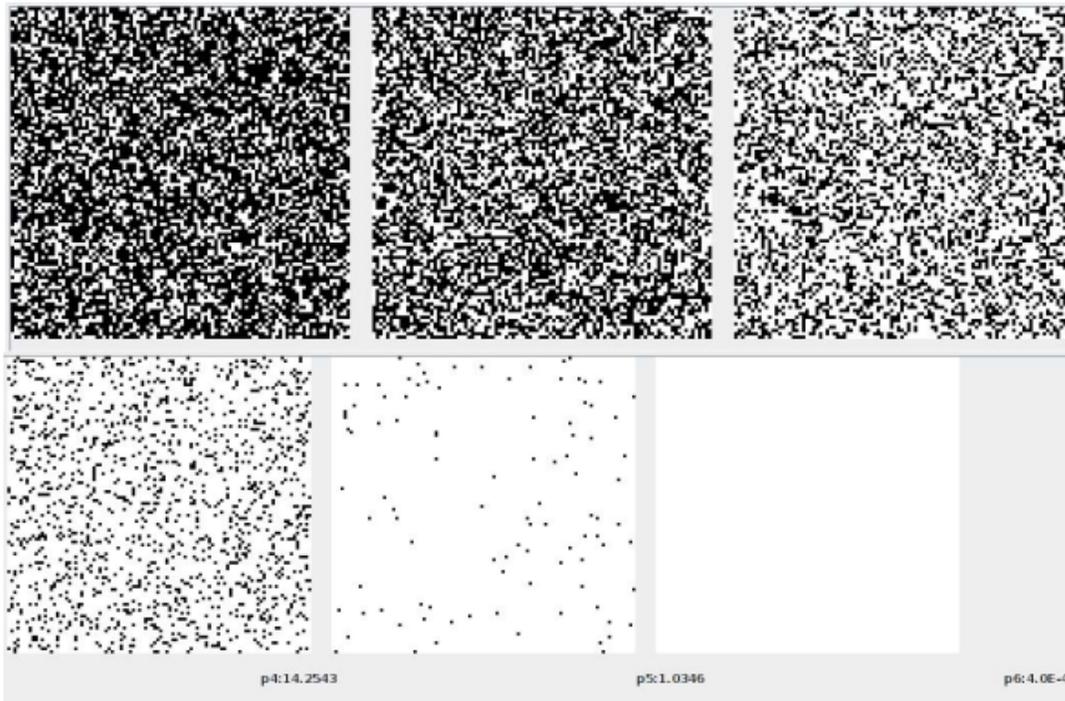
Para exhibir el fenómeno, Galam utilizó una serie de “instantáneas” de una simulación numérica hecha por Wonczak (Galam, 2000). Los dos partidos A y B son representados por cuadros blancos y negros respectivamente con el sesgo a favor de los negros. En esta simulación se menciona que se pueden llegar a utilizar algoritmos genéticos como herramienta alterna, sin embargo lo deja únicamente como posibilidad a futuro, en este trabajo se implementaron algoritmos genéticos para simular la (ec. 7). Una primera prueba consistió en “validar” nuestro sistema con los resultados reportados por Galam y Wonczak, se utilizaron los mismos valores y situación mencionados en el párrafo anterior La jerarquía de arriba abajo con grupos de votación de tamaño 4 y tiene 8 niveles incluyendo la parte baja de la jerarquía, es decir:

Porcentaje de aceptación inicial de A,  $p_0 = 69$ , tamaño de los grupos votantes  $r=4$

Se necesitaron siete iteraciones para una eliminación total de los adversarios

$$p_1 = 63, p_2 = 53, p_3 = 36, p_4 = 14, p_5 = 1, p_6 = 0$$

La evolución se muestra en la figura siguiente, donde los dos partidos A y B son representados por cuadros blancos y negros respectivamente en la Fig. (1).



**Fig (1).Un nivel de 8 jerarquías para grupos pares de 4 personas. Los partidos A y B están representados respectivamente en cuadros negros y blancos con sesgo a favor de los cuadros negros, es decir, un empate de votos 2-2 será para un cuadro negro. Los porcentajes escritos son para la representación blanca en cada nivel. El apoyo inicial blanco es de 69%.**

En el caso de los umbrales de victoria, derrota e incertidumbre Galam utilizó un tamaño de los grupos votantes de  $r=4$  y el número de jerarquías electorales:  $n=3$ ,  $n=4$ ,  $n=5$ . Con estos valores el sistema basado en algoritmo genético da por resultado:

Para asegurar la victoria el porcentaje de aceptación inicial debe ser mayor a:  
82.2488

La derrota estaría asegurada con un porcentaje de aceptación inicial menor a:  
59.4281

En la siguiente región no se asegura la victoria o derrota del partido o político:  
[59.4281, 82.2488]

**Fig (2). Umbrales de victoria y derrota para  $r=4$  y  $n=3$**

Para asegurar la victoria el porcentaje de aceptación inicial debe ser mayor a:  
80.2075

La derrota estaría asegurada con un porcentaje de aceptación inicial menor a:  
66.2619

En la siguiente región no se asegura la victoria o derrota del partido o político:  
[66.2619, 80.2075]

**Fig (3). Umbrales de victoria y derrota para  $r=4$  y  $n=4$**

Para asegurar la victoria el porcentaje de aceptación inicial debe ser mayor a:  
78.9601

La derrota estaría asegurada con un porcentaje de aceptación inicial menor a:  
70.438

En la siguiente región no se asegura la victoria o derrota del partido o político:  
[70.438, 78.9601]

**Fig (4). Umbrales de victoria y derrota para  $r=4$  y  $n=5$**

Los resultados mostrados en las Figs. (3-5) concuerdan con los reportados por Galam y las simulaciones hechas por Wonczak, por lo tanto el sistema utilizando algoritmos genéticos es apropiado para realizar simulaciones con datos reales como se muestra en la siguiente sección.

### 3. Simulando procesos electorales en México

Cómo se mostro en la sección anterior, la simulación de la (ec.7) por medio de algoritmos genéticos reproduce los resultados reportados por Galam y Wonczak. Sin embargo, dichas simulaciones no representan a ningún tipo de proceso real en particular. Se decidió entonces probar en un caso particular de proceso electoral, se eligió trabajar con las elecciones delegacionales del Distrito Federal en México. En primer lugar se probó con los procesos electorales del 2006 como punto de partida para los resultados de las elecciones de 2009, es decir, los resultados de 2006 fueron el  $p_0$  para la (ec.7).

### ELECCIONES LOCALES 2006

RESULTADOS DE VOTACIÓN POR DELEGACIÓN DE LA ELECCIÓN DE JEFES DELEGACIONALES

CLAVE DELEGACIÓN	DELEGACIÓN	CANDIDATO ELECTO	PAN	PRI-PVEM	PRD-PT-CONV	NUEVA ALIANZA	PASC	PAN-NUEVA ALIANZA	VOTOS NULOS	VOTACIÓN TOTAL
2	AZCAPOTZALCO	Alejandro Carbajal González (PRD-PT-CONV)	90490	36045	123745	9763	5178	--	3844	269065
3	COYOACÁN	Antonio Heberto Castillo Suárez (PRD-PT-CONV)	118779	45612	195807	16391	8601	--	5353	390543
4	CUAJIMALPA DE MORELOS	Remedios Ledesma García (PRD-PT-CONV)	21640	14913	29134	9541	1983	--	1513	78724
5	GUSTAVO A. MADERO	Francisco Chiquil Figueroa (PRD-PT-CONV)	157713	83637	375688	40299	16656	--	11012	685005

Tabla (1). Resultados delegacionales del 2006 en el Distrito Federal, México.<sup>3</sup>

### ELECCIONES LOCALES 2009

RESULTADOS DE VOTACIÓN POR DELEGACIÓN DE LA ELECCIÓN DE JEFES DELEGACIONALES

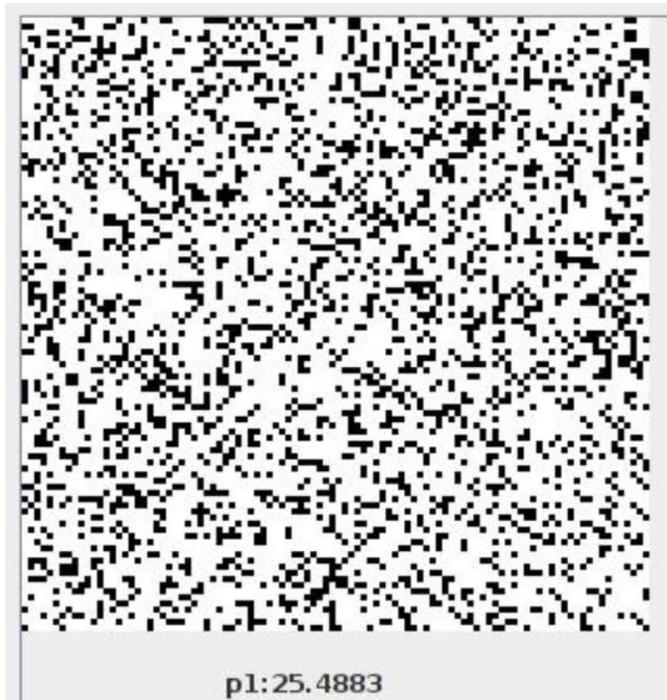
Delegación	Nombre del Jefe Delegacional	PAN	PRI	PRD	PT	PVEM	Convergencia	Nueva Alianza	PSD	PRD-PT- Convergencia	PRD-PT	PRD- Convergencia	Votos Nulos	Votación Total
Azcapotzalco	ENRIQUE VARGAS ANAYA (PRD- Convergencia)	43450	29386	51532	9444	11376	3014	5314	1888	0	0	56273	14670	171801
Coyoacán	RAÚL ANTONIO FLORES GARCÍA (PRD-PT- Convergencia)	73651	34625	74570	16891	12818	3817	6027	3662	99480	0	0	23891	254154
Cuajimalpa de Morelos	CARLOS ORVAÑANOS REA (PAN)	25194	6927	17863	1429	1848	428	2019	577	20893	0	0	3636	61094
Gustavo A. Madero	VICTOR HUGO LOBO ROMÁN (PRD)	75949	69256	149401	27375	30998	10634	13787	5484	0	0	0	41041	422925

Tabla (2). Resultados delegacionales del 2009 en el Distrito Federal, México

Se tomaron los valores iniciales del 2006 por delegación tomando al ganador como el porcentaje de aceptación inicial, por ejemplo en la delegación Azcapotzalco el político ganador fue el correspondiente al partido: "PRD-PT-Convergencia" con 123,745 votos a favor de un total de 269,065, en base a estos datos, tomando en cuenta al tamaño de grupos votantes como 4 porque son 4 delegaciones en total las que se analizan, y un número de jerarquías electorales de 1 porque se realiza un solo conteo, se tiene :  $p_0 = (123745/269065)(100) = 45.99$ , para  $r = 4$  y  $n = 1$

Con los datos anteriores se evalúa en el sistema y se obtiene  $p_1 = 25.4883$  como se muestra en la Fig. (5)

<sup>3</sup> Fuente [www.iedf.gob.mx](http://www.iedf.gob.mx)



**Fig. (5).** Predicción para la delegación Azcapotzalco, los cuadros negros representan la coalición PRD-PT-Convergencia.

De esta manera se tiene un porcentaje de aceptación final de 25.48 proveniente del sistema, ahora, se evaluará el porcentaje de aceptación en las elecciones de 2009 de igual manera como se calculó  $p_0$  en 2006:

$$p = (56273 / 171801)(100) = 32.75\%$$

Desarrollando la resta entre el porcentaje real y el dato calculado por predicción se tiene una diferencia de 7.27 % de error en la predicción, lo cual es una buena aproximación. El mismo procedimiento se siguió para las 4 delegaciones mostradas en las tablas anteriores, a continuación se muestran los resultados obtenidos:

Aceptación en 2006	Predicción a 2009	Aceptación en 2009	Error
45.99%	25.48%	32.75%	7.27%
50.13%	31.44%	39.14%	7.70%
37.00%	14.63%	41.23%	26.60%
54.84%	38.83%	35.08%	3.75%

**Tabla (3).** Comparativo entre los datos reales y los obtenidos por la predicción hecha por el sistema

Los resultados predichos son sumamente precisos a excepción de la delegación Magdalena Contreras, sin embargo, para algoritmos genéticos se documenta que tener errores entre 20 y 30 % representan una buena predicción. No obstante se deben considerar las circunstancias que rodean este tipo de predicciones, una situación importante es que no tiene un número fijo de electores (agentes) de una

elección a la siguiente, además de que el sistema considera únicamente dos opciones A y B, mientras que las elecciones reales tienen más opciones que al interactuar pueden cargar la votación hacia una de las opciones con probabilidades más altas sesgando las probabilidades, situación que no se considera en el sesgo de la ec. (7).

Ya con estas validaciones tanto a la ec. (7) como al sistema con algoritmo genético se procedió a realizar una verdadera predicción, es decir, sobre un proceso electoral cuyos resultados finales se desconozcan para lo cual se siguió con las mismas 4 delegaciones que se utilizaron para validar el sistema.

### 3.1 Predicción electoral delegacional para 2012.

Siguiendo el mismo procedimiento de la sección anterior se buscó conocer la predicción electoral para la delegación Azcapotzalco del Distrito Federal en México, tomando como  $p_0$  los resultados oficiales del proceso electoral inmediato anterior, en este caso del 2009. Los resultados se muestran a continuación.

*Azcapotzalco:*

PRD\_Convergencia, ganador a 2009:  $p_0=32.75$ . Aceptación final PRD\_Convergencia a 2012;  $p_f=10.5994$ . El gráfico de la distribución de vencedores contra el complemento de los derrotados de esta predicción es el siguiente:



De acuerdo a los resultados obtenidos a partir de las ecs. (13) y (14) el sistema calcula los umbrales de para éxito y eliminación tal como se mostro en la validación del sistema con los resultados de Galam, para la presente predicción los resultados son los siguientes:

Para asegurar la victoria el porcentaje de aceptación inicial debe ser mayor a:  
85.5891

La derrota estaria asegurada con un porcentaje de aceptación inicial menor a:  
48.2452

En la siguiente región no se asegura la victoria o derrota del partido o politico:  
[48.2452,85.5891]

Estos umbrales indican que para asegurar la victoria se necesitaría un porcentaje mayor al 85%, algo que ningún partido muestra actualmente. Por otra parte, la ventana de umbral indica una gran incertidumbre sobre los resultados, es decir, existe una región entre 85% y 48% donde no se puede determinar con precisión si el candidato será exitoso o perderá en la elección, y por los porcentajes iniciales de los diferentes partidos ninguno esta en dicha región, de hecho todos esta por debajo de 32% y se podría asumir que la tendencia sería hacia el cero, es decir, tenderían a la eliminación.

#### 4. Conclusiones

El uso de la sociofísica para el desarrollo de simulaciones que permitan hacer predicciones electorales no es totalmente nuevo, sin embargo, la simulación presentada en este trabajo utilizando algoritmos genéticos no se tiene antecedente de haberse realizado. Serge Galam en sus trabajos menciona a los algoritmos genéticos como opción para el desarrollo de simulaciones de problemas en sociofísica, pero siempre lo deja como trabajo a realizar en el futuro. En este trabajo se muestra que el sistema desarrollado con algoritmos genéticos para implementar la ec. (7) (la llamada "Formula Magica") es preciso, validando los resultados reportados por Galam con otro tipo de simulaciones.

Es importante mencionar que la ec. (6) se corrige de manera que los resultados obtenidos a partir de la ec. (7) al evaluar con los datos reales de las elecciones delegacionales del 2009 son bastante precisos, teniendo un error promedio de 11% en las cuatro delegaciones estudiadas.

Es importante señalar por otro lado que las condiciones para aplicar este tipo de método para la predicción de procesos electorales no son siempre homogéneas dado que no se puede tomar en cuenta la variación de la población inicial de un proceso electoral al siguiente, situaciones como abstención, voto nulo o voto foráneo no se pueden considerar. Tomando en cuenta los argumentos anteriores los resultados obtenidos se pueden considerar altamente precisos (de hecho en algunos casos más que algunas encuestas).

El modelo de Galam en principio se aplica a procesos de elección con opciones A y B, en los cálculos realizados en este trabajo se considero a A la opción ganadora en el proceso electoral anterior, mientras que la opción B fueron el resto de los partidos, con lo que el sistema da una predicción sobre las posibilidades de triunfo de la opción A –en nuestro estudio de caso para 2012 de la coalición PRD-PT-Convergencia- contra el resto de los partidos. Es posible ampliarlo a 3 o más opciones, sin embargo, es notorio en los procesos electorales en muchos países (entre ellos México) que al acercarse las elecciones la tercera opción suele ser relegada en cierto punto del proceso para convertir a la elección en un proceso de los dos finalistas punteros (lo que se ha dado por llamar el voto útil). Este tipo de predicción tampoco esta formulada de manera temporal, es decir, considera únicamente la evolución a partir de una probabilidad inicial  $p_0$  y desde ahí el interesado puede definir el tamaño de los grupos y el número de jerarquías que desee estudiar para la predicción, este tipo de formato es por lo tanto más adecuado a países con elecciones "primarias" como los Estados Unidos, donde no se tiene una democracia directa, sino que esta es jerarquizada. En el caso de México, el proceso es de una sola jerarquía, de ahí que los umbrales de incertidumbre calculados resultan ser muy amplios, por lo que es prácticamente imposible determinar la eliminación total de una de las opciones. En el caso estudiado en este trabajo no se encontró eliminación de ninguna opción para la elección delegacional en Azcapotzalco para el 2012 y si se tiene una gran incertidumbre, aunque es si es posible determinar el porcentaje de votación a obtener por la opción A. Este sistema permite hacer predicción en cualquier momento utilizando si así se desea la probabilidad de ese momento, en nuestro caso se partió con el porcentaje de triunfo en la elección de 2009, sin embargo se pueden tomar como base los resultados de encuestas al momento para realizar predicciones más cercanas a la fecha de la elección donde se consideran elementos imprevistos en el sistema (Debates, escándalos y otro tipo de sesgos).

#### Referencias

Agoston E. Eiben, J.E. Smith (2008). *Introduction to evolutionary computing*. Springer.

Galam, S. *Majority rule, hierarchical structures and democratic totalitarianism: A statistical approach*, J. Math. Psychol. 30, 426–434 (1986).

Galam, S. *Social paradoxes of majority rule voting and renormalization group*, J. Stat. Phys. 61, 943–951 (1990).

Galam, S. *Political paradoxes of majority rule voting and hierarchical systems*, Int. J. General Syst. 18, 191–200 (1991).

Galam, S. *Real space renormalization group and social paradoxes in hierarchical organizations*, Models of Self-organization in Complex Systems (Moses), Vol. 64 (Akademie-Verlag, Berlin, 1991), pp. 53–59.

Galam, S. *Paradoxes de la rgle majoritaire dans les systmes hi´erarchiques*, Revue de Bibliologie 38, 62–68 (1993).

Galam, S. *Le dangereux seuil critique du FN*, Le Monde 30, 17 (1997).

Galam, S. *Crier, mais pourquoi*, Lib´eration 17, 6 (1998).

Galam, S. *Le vote majoritaire est-il totalitaire? Pour La Science, Hors s´erie*, Les Math´ematiques Sociales 90–94 (1999).

Galam, S. *Application of statistical physics to politics*, Physica A 274, 132–139 (1999).

S. Galam, *Real space renormalization group and totalitarian paradox of majority rule voting*, Physica A 285, 66–76 (2000).

Galam S. and Wonzak, S. *Dictatorship from majority rule voting*, Eur. Phys. J. B 18, 183–186 (2000).

Galam, S. *Democratic voting in hierarchical structures*, in *Application of Simulation to Social Sciences*, eds. G. Ballot and G. Weisbush (Hermes, Paris, 2000), pp. 171–180.

Galam, S. *Building a dictatorship from majority rule voting*, in *ECAI 2000 Modelling Artificial Societies*, eds. C. Jonker et al. (Humboldt U. Press, 2001), pp. 23–26.

Galam, S. *How to become a dictator*, in *Scaling and Disordered Systems*. International Workshop and Collection of Articles Honoring Professor Antonio Coniglio on the Occasion of his 60th Birthday, eds. F. Family, M. Daoud, H. J. Herrmann and H. E. Stanley (World Scientific, Singapore, 2002), pp. 243–249.

Galam, S. Citation in front page of the Figaro in an editorial from Jean d'Ormesson,  
Le Figaro 4, 1 (2002).

Galam, S. *Le FN au microscope*, Le Minotaure 6, 88–91 (2004).

Galam, S. *Dictatorship effect of the majority rule voting in hierarchical systems*, in  
*Self-Organization and Evolution of Social Systems*, Chap. 8, ed. C. Hemelrijk (Cambridge  
University Press, 2005).

S. Galam, *Stability of leadership in bottom-up hierarchical organizations*, J. Soc.  
Complexity 2, 62–75 (2006).

Galam, S. (2008) *Sociophysics: A review of Galam models*. International Journal of Modern Physics  
C, Vol. 19 No. 3 409-440 (2008).

Coello, C., Van Veldhuizen, D. and Gary, B. (2002). *Lamont, Evolutionary Algorithms for solving  
Multi-Objective Problems*, Kluwer Academic Publishers, New York.

Mansilla, R. (2003). *Introducción a la Econofísica*. Equipo Sirius S.A. España.

McCoy, B. and T. Wu (1973). *The Two Dimensional Ising Model*. Harvard University Press,  
Cambridge Massachusetts.

Ramírez, M., Olvera, M. y Aviles, M. (2012). *Una breve Introducción a la Sociofísica en los  
Procesos Electorales*. Editorial Académica Española, Madrid.