

OBESIDAD Y SOBREPESO EN EDAD ESCOLAR: UNA APROXIMACIÓN MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES CON ESTOCASTICIDAD

Nicolás Moreyra^a, Sebastián Metz^a, Mauricio Brunner^a, Natalia Godano^b y Carlos M. Pais^a

^a*Cátedra de Modelización de Sistemas Biológicos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos, Ruta Prov. N 11, Km. 10, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina, cpais@bioingenieria.edu.ar, <http://modelizacion-fiuner.wikidot.com>*

^b*CONIN, PARANIN, Santiago del Estero 527, Paraná, Entre Ríos, Argentina, nagobel@gmail.com, <http://www.paranin.com.ar>*

Palabras Clave: Conductas alimentarias, adolescentes, modelización, epidemia, autómatas celulares.

Resumen. A nivel global existe una tendencia al sobrepeso y obesidad en adolescentes en edad escolar, configurando una epidemia que puede aumentar los riesgos de aparición de otras enfermedades. Estudios realizados demuestran que las interacciones entre los individuos en el ámbito escolar influyen en su alimentación. Con la finalidad de simular estos hábitos y comportamientos y predecir su impacto en el sobrepeso de adolescentes, se implementó un modelo de autómatas celulares con estocasticidad. Debido a la falta de datos nacionales respecto a esta problemática, los parámetros del sistema fueron ajustados de acuerdo a un modelo determinístico desarrollado en Estados Unidos de Norte América. Los resultados obtenidos en este trabajo, como consecuencia del cambio de metodología de modelización, son superiores de los obtenidos por el enfoque determinístico y reflejan una tendencia del fenómeno que se adecua más al problema en estudio.

1. INTRODUCCIÓN

El ser humano, como todo organismo vivo, se comporta como un sistema complejo e integrado, que presenta la capacidad de generar y mantener sus propias estructuras y permitir un equilibrio interno constante. Puede, además, relacionarse con el medio que lo rodea y lograr metas específicas a través de la autoprogramación, autorregulación y adaptación. En este contexto, se puede definir conducta como cualquier proceso o actividad humana, que puede observarse o medirse objetivamente y con neutralidad (Troncoso y Amaya, 2009). Entre las conductas adquiridas por los seres humanos, las alimentarias son aquellas en las que se verifica un comportamiento habitual relacionado con hábitos alimentarios como selección de alimentos, preparaciones y volúmenes consumidos, etc.. Estos factores influyen directamente en el estado nutricional de los individuos pertenecientes a diversos grupos etarios. Es un fenómeno de naturaleza compleja y de origen multifactorial, que por definición es influenciado por diversos elementos, entre los cuales se distinguen la sociedad, cultura, religión, situación económica y disponibilidad de alimentos, entre otros (Troncoso y Amaya, 2009).

Si el análisis se centra en los adolescentes, ciertas investigaciones (Troncoso y Amaya, 2009; Valente et al., 2009) han demostrado que el entorno escolar influye en su conducta alimentaria, ya sea por la facilidad de acceso a colaciones poco saludables o por las interacciones sociales entre compañeros. Recientes estudios han revelado que existe una asociación entre el comportamiento individual y la amistad, así, personas con sobrepeso comen en menor cantidad cuando están alrededor de pares con peso normal, mientras que ingieren más cantidad en torno a pares con sobrepeso. Además, los grupos de adolescentes se conforman en torno a comportamientos (deportes, comidas, política, etc.) que afectan directa o indirectamente el peso corporal (Valente et al., 2009).

Las consecuencias de una inadecuada conducta alimentaria en la infancia y adolescencia pueden derivar en malnutrición por exceso o por déficit. La obesidad, definida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) 'como una acumulación anormal o excesiva de grasa que puede ser perjudicial para la salud' (OMS, 2011), es un importante factor de riesgo de enfermedades crónicas no transmisibles como lo son la hiperlipidemia, la hipertensión arterial y la diabetes mellitus tipo 2 (Dietz y Gortmaker, 2001).

Además, la obesidad determina riesgos psicológicos y sociales en quien la padece. Desde el punto de vista psicológico produce depresión, trastornos de la conducta alimentaria, aislamiento y disminución de la autoestima, lo que afecta la esfera de relaciones personales, familiares y académicas. Socialmente, perjudica a los individuos a la hora de encontrar trabajo, eleva los costos para la familia, la sociedad y el sistema de salud, no sólo relacionándolos con las muertes y la carga de enfermedades, sino también en lo que respecta a la discapacidad y la calidad de vida de la población (Guerra Cabrera et al., 2009).

Todos estos factores hacen que sea necesario aportar desde un enfoque interdisciplinar todas las herramientas que permitan planificar políticas tendientes a mejorar el estado nutricional de los adolescentes, sabiendo que éste va a tener un fuerte impacto en el estado de salud de las generaciones futuras.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Debido a que este trabajo se trata de un primer abordaje al problema en estudio desde la modelización local, se prefirió dar relevancia a la sencillez. Por consecuencia, fueron dejados de lado muchos de los formalismos que la definición de Modelos Observables de Markov (Fink, 2008) debe contener y por lo tanto el modelo que aquí se propone puede ser identificado como

Modelo Basado en Autómatas (Haefner, 2005).

De esta manera, en este trabajo se formula un modelo de autómatas celulares con estocasticidad con el objetivo de simular los comportamientos y cambios de hábitos de adolescentes en un entorno escolar, teniendo en cuenta las interacciones sociales existentes entre ellos.

La modelización mediante autómatas celulares (AC) es una técnica utilizada para analizar y comprender sistemas dinámicos que pueden ser descritos como una colección masiva de objetos relativamente simples que interactúan localmente unos con otros (Iyengar, 1997). Cada objeto representa a un autómata que evoluciona a través de un conjunto acotado de estados en pasos discretos de tiempo, siguiendo alguna función de cambio. Esta característica le brinda a cada objeto el nombre de Autómata de Estados Finitos (AEF) (Rosen y Agin, 1973). Tales transiciones de estado dependen de reglas que describen un fenómeno que se desea estudiar y, a su vez, éstas dependen de los estados de los vecinos de cada autómata. Estas reglas pueden ser determinísticas o probabilísticas.

La interconexión de los AEFs, genera una red de células acopladas, el AC. La interacción entre los AEFs los hace comportarse colectivamente de forma compleja y capaz de generar situaciones experimentales difíciles de reproducir. En este caso de estudio, un AC puede analizar de forma eficaz las transmisiones no lineales del comportamiento humano entre los estudiantes de una comunidad (Shannon y Weaver, 2002). Tales transmisiones representan las variaciones del estado social que los individuos pueden experimentar durante su escolaridad y las salidas de cada AEF coinciden con el estado en el que el mismo se encuentra, en el instante en estudio.

Los AC pueden ser definidos como matrices n -dimensionales de AEFs con cualquier relación geométrica entre vecinos. El número de AEFs vecinos definen otra propiedad del modelo, su tipo de vecindad. En una rejilla rectangular puede haber cuatro (red de VonNewman) u ocho (red de Moore) vecinos contiguos. Cada AEF a su vez puede relacionarse con los 4 u 8 vecinos contiguos o también con aquellos que se encuentran en un círculo o esfera de un determinado radio (Haefner, 2005).

En este trabajo se modeliza utilizando $\text{\textcircled{R}}$ Matlab el comportamiento de un grupo de adolescentes que interactúan en el ámbito escolar cuyo comportamiento puede identificarse en alguno de los siguientes estados: alimentación saludable llevando al colegio los nutrientes preparados en su hogar (LS), alimentación saludable adquiriendo los alimentos de los proveedores de la escuela (CS), alimentación no saludable llevando alimentos desde su hogar (LN) y, por último, alimentación no saludable adquirida de los proveedores de la escuela (CN) (Dabbaghian et al., 2012). Este modelo representa una posibilidad computacional para cuantificar cómo afecta el entorno escolar, tanto positiva como negativamente, en la alimentación de los adolescentes escolarizados.

3. EL MODELO PROPUESTO

Para representar el sistema en estudio se utilizó una grilla de 40 por 40 AEFs, donde cada celda simuló un estudiante. La matriz de AC fue inicializada de forma aleatoria con 400 estudiantes en cada estado. Los estados por los que puede transitar cada AEF son cuatro: LS , CS , LN y CN (Figura 1) y las transiciones de estado son probabilísticas. Todas las transiciones son posibles, dado que si un autómata se encuentra en un estado, puede cambiar a cualquiera de los otros 3 posibles o mantenerse en el mismo. Para analizar la vecindad de los individuos ubicados en los contornos de la grilla se utilizó condiciones periódicas de contorno.

El AC fue definido con vecindad de Moore de radio 1, por lo que cada sujeto en estudio se entiende influenciado por 8 compañeros vecinos en la matriz.

Las probabilidades de cambio de estado usadas en la simulación son las que se observan en

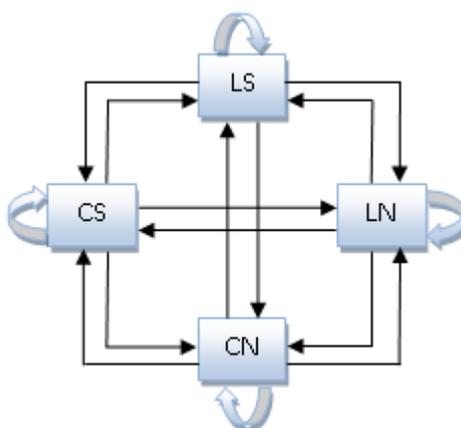


Figura 1: Esquema representativo de las posibles transiciones de estado.

Estado Actual \ Futuro	LS	CS	LN	CN
LS	0.9845	0,0055	0,0050	0,0050
CS	0,0055	0.9845	0,0050	0,0050
LN	0,0055	0,0055	0.9840	0,0050
CN	0,0055	0,0055	0,0050	0.9840

Tabla 1: Matriz de probabilidades de transición de estado con 'Influencia positiva'.

la Tabla 1. Estas probabilidades se definieron de forma iterativa, buscando que los resultados del modelo con estocasticidad propuesta coincidieran con los resultados obtenidos por (Dabbaghian et al., 2012), para el caso en el que existe influencia positiva de los compañeros sobre cada AEF. En este trabajo se entiende por influencia positiva al fenómeno que puede llevar al sujeto en estudio a optar por conductas alimentarias saludables.

En cada instante de tiempo se calcula la proporción de los estados en los que se encuentran los vecinos de cada AEF. Es decir que si para un instante y autómatas determinados, de los 8 vecinos hay 4 en estado *CS* y 4 en *LN*, entonces la proporción es de $0 * LS$; $0,5 * CS$; $0,5 * LN$ y $0 * CN$.

A continuación, se multiplica la proporción obtenida de vecinos por la probabilidad de cambio de estado, que se encuentra en la matriz de transición.

Luego, se crea un vector acumulado, donde se establecen los rangos de transición posibles, para los valores calculados anteriormente (proporción por probabilidad de cambio). En este vector cada rango corresponde a un posible futuro estado del AEF en estudio.

Por último, mediante la generación de un número aleatorio con probabilidad plana con valor entre 0 y el valor acumulado total (sumatoria de las cuatro probabilidades de transición por proporción de vecinos), se calcula la transición que será aplicada al AEF en estudio (Iyengar, 1997).

Continuando con el ejemplo esbozado anteriormente, si el AEF en estudio se encuentra en estado *LS*, entonces calculando el vector acumulado se obtiene que el próximo estado de ese sujeto tiene un 0% de probabilidades de quedarse en *LS*, un 52,4% de probabilidades de pasar al estado *CS*, un 47,6% de probabilidades de pasar *LN* y 0% de probabilidades de pasar a

CS. Para este caso en particular el valor acumulado total es de 0,0150 y por lo tanto el valor aleatorio con probabilidad plana debe obtenerse en el rango $[0 \dots 0,0150]$. Si el valor aleatorio da por encima de 0,0055, entonces el AEF transiciona al estado *CS*, pero si es menor a 0,0055, entonces pasará a estar en estado *LN*.

De esta forma, en cada instante de tiempo se recorre toda la matriz y con los valores actuales de cada individuo y sus 8 vecinos se calcula el estado del instante futuro de cada AEF en la matriz. Una vez que se terminó de recorrer el AC completo, la matriz generada para el instante futuro pasa a ser la matriz del instante actual y se repite todo el proceso.

Se utilizaron períodos de 365 y 1095 instantes, lo que equivaldría a uno y tres años de simulación, respectivamente.

Para medir cómo evoluciona la conformación de grupos dominantes se utiliza el índice de diversidad específica de Shannon-Wiener (Haefner, 2005). Como se desprende de la Ecuación 1, un valor alto de H expresa que todos los estados posibles están presentes en la misma proporción entre todos los individuos, pero a medida que se van formando agrupamientos y va disminuyendo la cantidad de individuos que se encuentran en algunos estados, el valor del índice va disminuyendo.

$$H = - \sum_i^s p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

donde s es la cantidad de estados (en nuestro caso 4) y p_i es la proporción de individuos en el estado i , respecto de la cantidad total de individuos.

4. RESULTADOS

En las Figuras 2 y 3 puede observarse cómo a medida que transcurre el tiempo, la cantidad de individuos en estado *CS* y *LS* tiende a incrementarse y la cantidad de AEFs que se encuentran en estados *CN* y *LN* tiende a disminuir. Los valores de la tendencia central en la cantidad de individuos en cada estado a lo largo del tiempo, como era de esperarse, conciben con el trabajo publicado por Dabbaghian et al. (2012). La diferencia sobresaliente entre ambos trabajos tiene que ver con la naturaleza pseudo-aleatoria de nuestros resultados, situación más cercana a la realidad para sistemas vivos en general. Por otro lado, el modelo presentado es capaz de llegar a resultados similares con una mayor sencillez de planteo, donde no existen fórmulas o derivadas y todo el fenómeno se encuentra dominado por el conjunto de probabilidades definido en la matriz de transición de estados de la Tabla 1.

Si la Tabla 1 se modifica aumentando las probabilidades de transición a estados nutricionales no saludables (*CN* y *LN*) se obtienen las evoluciones que se muestran en las figuras 4 y 5.

En la Figura 6 se puede observar la evolución de la cantidad de transiciones de estado a estados distintos, en ella puede observarse cómo a medida que transcurre el tiempo, la cantidad de estos tipos de transiciones va disminuyendo, lo que demuestra la tendencia del modelo a formar grupos cada vez más estables.

La Figura 7 presenta la grilla de distribución de estudiantes donde pueden observarse agrupaciones (clusters) de individuos que comparten la misma conducta alimenticia. Esta gráfica también permite observar cómo, dependiendo de la matriz de transiciones característica que domina el fenómeno, a medida que transcurre el tiempo, algunos grupos se hacen cada vez más grandes y otros van tendiendo a desaparecer.

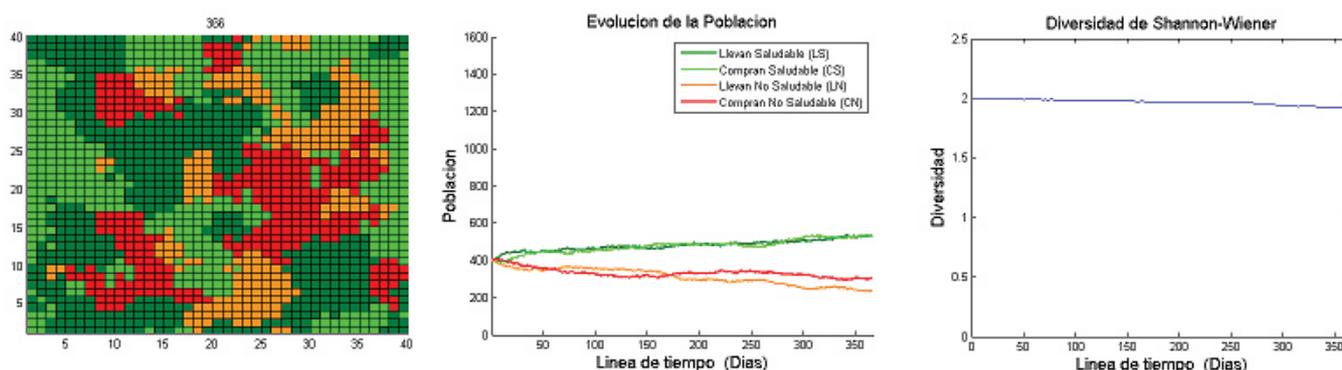


Figura 2: En el panel de la izquierda se presenta el AC a 365 días de comenzada la simulación, en el panel del medio las tendencias de la cantidad de individuos en los distintos estados para la matriz positiva de la Tabla 1 y en el panel de la derecha el diagrama de Shannon-Wiener que se calcula según la ecuación 1.

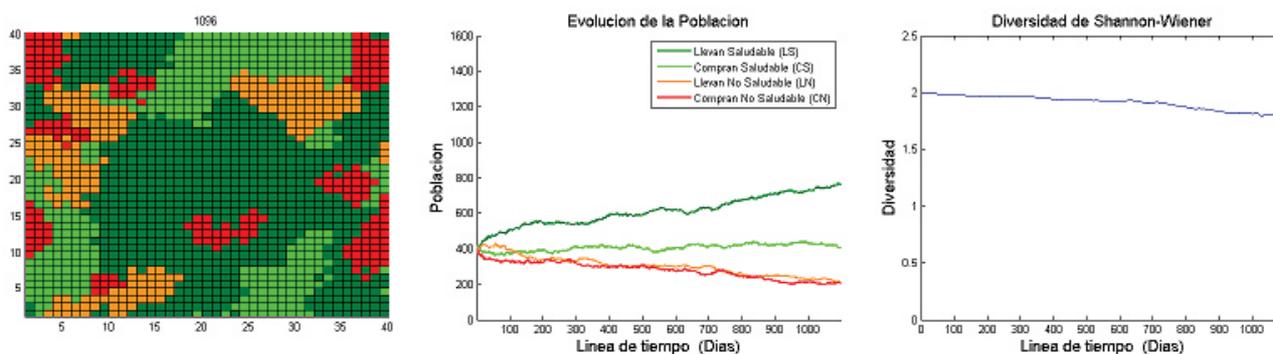


Figura 3: En el panel de la izquierda el AC a 1096 días de comenzada la simulación, en el panel del medio las tendencias para la matriz positiva de la Tabla 1 y en el panel de la derecha el correspondiente diagrama de Shannon-Wiener.

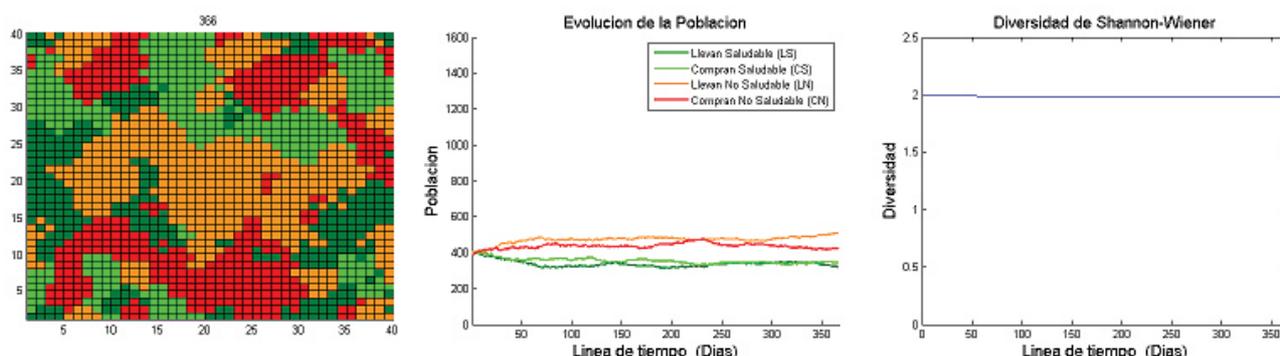


Figura 4: En el panel de la izquierda se grafica el AC a 365 días de comenzada la simulación con una matriz negativa, en el panel del medio las tendencias y en el panel de la derecha su diagrama de Shannon-Wiener.

5. CONCLUSIONES

En las Figuras 2, 4, 3 y 5 a medida que transcurre el tiempo la diversidad de Shannon-Wiener va disminuyendo al igual que la cantidad de cambios a estados diferentes. Estos gráficos plantean una tendencia al agrupamiento que coincide con las conductas gregarias exacerbadas en la adolescencia (Valente et al., 2009). Esto demuestra la necesidad de plantear políticas

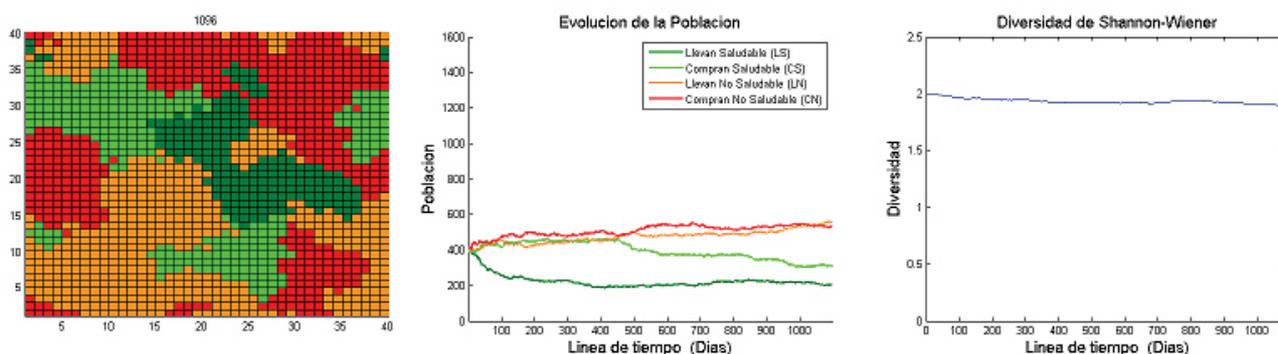


Figura 5: En el panel de la izquierda el AC a 1096 días de comenzada la simulación con una matriz negativa, en el panel del medio las tendencias y en el panel de la derecha su diagrama de Shannon-Wiener.

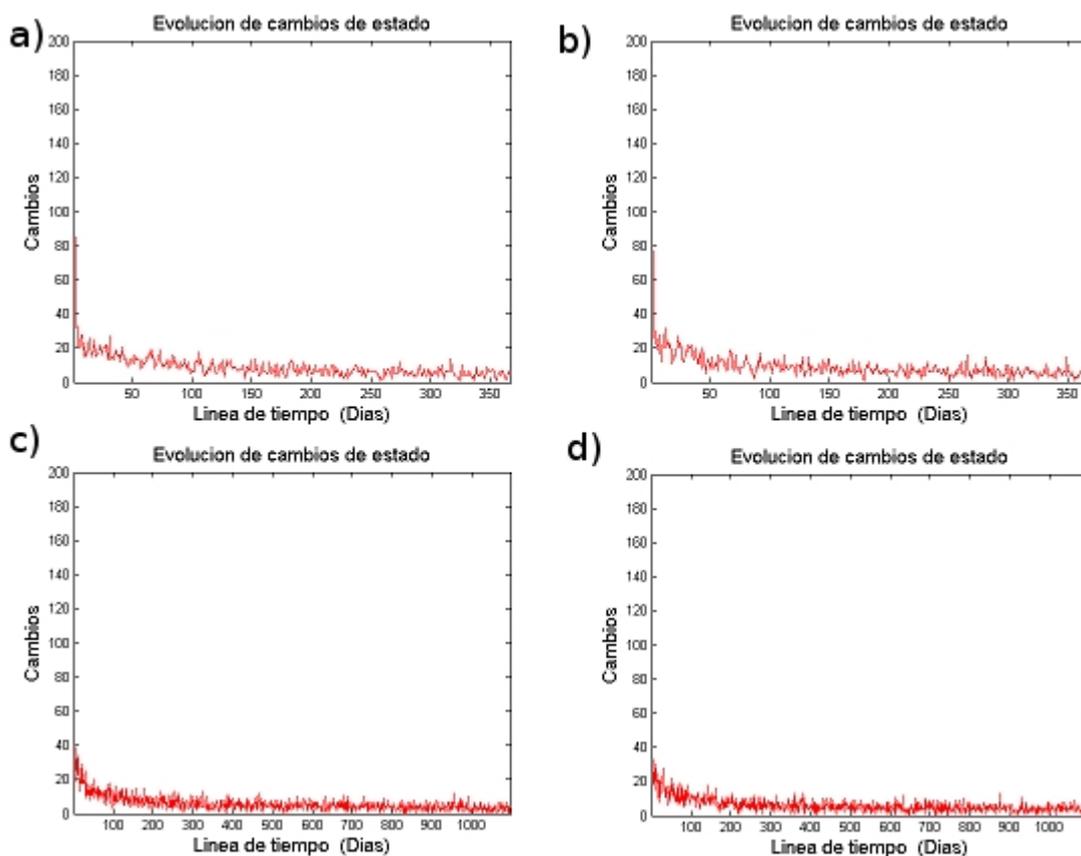


Figura 6: Gráfica de evolución de cambio de estados. a) Simulación de 365 días y tendencias positivas. b) 365 días y tendencias negativas. c) 1095 días y tendencias positivas. d) 1095 días y tendencias negativas.

de salud que instalen hábitos saludables en los estudiantes cuando recién ingresan al colegio secundario y todavía los grupos no han sido conformados, ya que a medida que transcurre el tiempo, se van formando agrupamientos de individuos que comparten conductas alimentarias donde existe cierta tendencia a no cambiar de estado.

Por otro lado, cuando se aumentan las probabilidades de transición (influencias) positivas (*CS* y *LS*) o negativas (*CN* y *LN*) en un 20%, los grupos de estudiantes con la misma conducta se agrupan de forma mas definida y conservada. Además, en cada caso aumentan los agrupamientos y las cantidades de estudiantes con similares conductas alimentarias (saludables

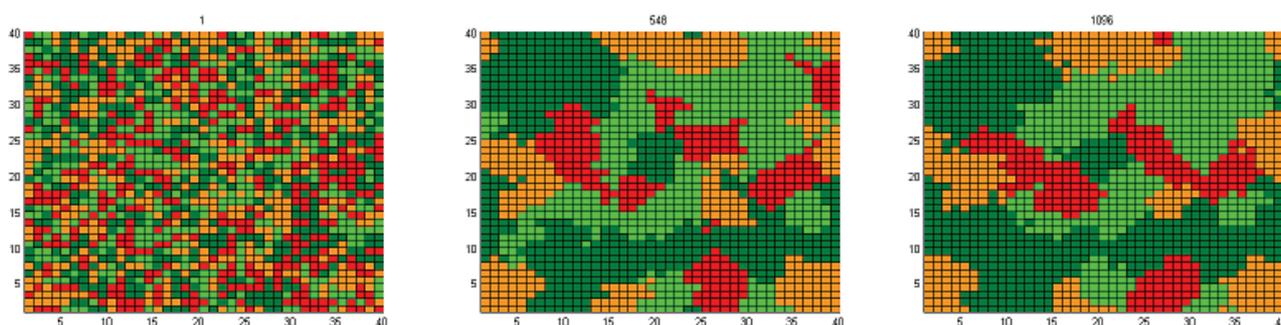


Figura 7: Representación de grilla de estudiantes, con influencias positivas en el tiempo inicial a 548 días y a 1096 días.

o tendientes a la obesidad).

En las simulaciones realizadas en un periodo de 1095 días, se observan cambios mucho mas significativos que los vislumbrados para un lapso de 365, pese que hacia el final de la simulación, unos 150 días antes de llegar a los 3 años, los agrupamientos tienden a mantener su cantidad total de individuos. Esto permite concluir que existe un período de tiempo en el que es posible impactar en las conductas alimentarias de los adolescentes, antes que éstos hayan terminado de formar sus agrupamientos.

Este trabajo reafirma que es fundamental conocer y valorar el grado de influencia del entorno social en los hábitos alimenticios de jóvenes en edad escolar, para intentar formular e implementar prevenciones contra la obesidad y el sobrepeso.

Es resaltable cómo el AC siempre tiende a la generación de grupos de estudiantes debido a sus hábitos alimenticios, los cuales son generados a largo plazo en períodos de uno a tres años. Esto indica que los cambios de hábito no son instantáneos, sino que llevan un cierto tiempo en instalarse y que, principalmente, están afectados por el entorno y las amistades de cada estudiante.

Si bien se logró obtener buenos desempeños cualitativos del modelo, las probabilidades de transición de la matriz de la Tabla 1 fueron estimadas en función de los datos del trabajo americano [Dabbaghian et al. \(2012\)](#), por lo que resulta necesario realizar un estudio de campo para hallar las probabilidades de transición exactas para la realidad donde vaya a ser aplicado el estudio.

6. PERSPECTIVAS FUTURAS

En trabajos futuros se puede estudiar cómo determinadas acciones impactan en los parámetros y, de esa forma, replicar las implementaciones de determinadas políticas, tales como la eliminación de las máquinas expendedoras de golosinas en la escuela o la concientización de los padres de la necesidad de acotar la cantidad de dinero que ofrecen a sus hijos para llevar a la escuela. A la vez, tanto la cantidad de máquinas expendedoras de golosinas como la cantidad de dinero en manos del adolescente, pueden ser identificadas como parámetros de influencia negativa. Esta característica de nuestro enfoque puede servir como herramienta para evaluar políticas antes de ser implementadas en campo.

Sería interesante poder darles posibilidad de movimiento a los autómatas, por lo que el modelo pasaría de ser de AC a Agentes. Esto podría brindar mejores resultados, aunque aumentaría la complejidad del código y los tiempos de máquina que una corrida de 3 años podría insumir.

Por último, se espera validar el modelo con datos experimentales locales y de esa forma

lograr confeccionar una matriz de probabilidades de transición de estados propia. Además, el agregar otros factores influyentes podría ayudar a que el modelo se adapte mejor a la realidad en estudio.

REFERENCIAS

- Dabbaghian V., Mago V.K., Wu T., Fritz C., y Alimadad A. Social interactions of eating behaviour among high school students: a cellular automata approach. *BMC medical research methodology*, 12(1):155, 2012.
- Dietz W.H. y Gortmaker S.L. Preventing obesity in children and adolescents 1. *Annual review of public health*, 22(1):337–353, 2001.
- Fink G.A. Markov models for pattern recognition. *p127*, página 127, 2008.
- Guerra Cabrera C., Vila Díaz J., Apolinaire Pennini J., Cabrera Romero A., Santana Carballosa I., y Almaguer Sabina P. Factores de riesgo asociados a sobrepeso y obesidad en adolescentes. *Medisur*, 7(2):25–34, 2009.
- Haefner J.W. *Modeling Biological Systems:: Principles and Applications*. Springer, New York, New York, USA, 2005. ISBN -10:0-387-25011-5.
- Iyengar S.S. *Computer modeling and simulations of complex biological systems*. CRC Press, New York, New York, USA, 1997.
- OMS. Sobrepeso y obesidad. 2011. *Nota descriptiva núm 311*. [en línea] Disponible en URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/index.html>, 2011.
- Rosen R. y Agin D.P. *Foundations of Mathematical Biology: Supercellular Systems*, volumen 3. Academic Press, 1973.
- Shannon C.E. y Weaver W. The mathematical theory of communication. 2002.
- Troncoso C. y Amaya J.P. Factores sociales en las conductas alimentarias de estudiantes universitarios. *Revista chilena de nutrición*, 36(4):1090–1097, 2009.
- Valente T.W., Fujimoto K., Chou C.P., y Spruijt-Metz D. Adolescent affiliations and adiposity: a social network analysis of friendships and obesity. *Journal of Adolescent Health*, 45(2):202–204, 2009.