INSTITUTO TECNOLÓGICO DE IZTAPALAPA

INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

TEMA:

AUTÓMATA CELULAR

LUGAR DE REALIZACIÓN:

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE IZTAPALAPA

PROFESOR

ING. ABIEL TOMAS PARRA HERNANDEZ

ALUMNOS:	**PARTICIPACION:**
RUIZ BARCO OSVALDO. 181080148	25%
REYES GÓMEZ JAVIER ROBERTO. 181080144	25%
CAMACHO CAPULIN ANGELICA BEATRIZ 421	25%
AVILEZ ARELLANO RAFAEL IVAN 181080381	25%

Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

INDICE

Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

RESUMEN.

El presente documento trata los conceptos fundamentales de autómatas celulares, como técnicas para modelar sistemas naturales que muestran un comportamiento complejo en función del tiempo, por medio de reglas lo mas simple y sencillas posibles.

En primer lugar, se define a los autómatas celulares “los cuales son sistemas dinámicos discretos que se definen de una manera sencilla y poseen una gran complejidad” y los conceptos asociados a estos.

Después de esto presentaremos el desarrollo en autómatas celular por John Conway, conocido como el juego de la vida” este es interesante porque es equivalente a una máquina universal de Turing, es decir, todo lo que se puede computar algorítmicamente se puede computar en el juego de la vida”.

En segundo lugar, se presenta el modelo propuesto por el físico Per Bak y Kim Sneppen, conocido como el modelo de Bak-Sneppen de evolución biológica “es un modelo sencillo de coevolución entre especies interactuantes, la dinámica de modelo elimina repetidamente la especie menos adaptada y lo muta a él y a sus vecinos para recrear la interacción entre especies”. Con este modelo se busca reproducir algunos resultados que el análisis de este modelo ha proporcionado, con el objetivo de obtener experiencia en el tratamiento de un fenómeno y la identificación de reglas que lo gobiernan.

Palabras Clave

Autómatas celulares, modelado de sistema, simulación

Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

Introducción

Los autómatas celulares son sistemas dinámicos discretos que se definen de una manera sencilla y poseen una gran complejidad, aparte de muchas otras bondades. Como veremos, un autómata celular es esencialmente una regla de evolución temporal sobre un conjunto discreto, es decir, dado un punto de este conjunto, presentamos una regla que le asocia otro punto del conjunto. El estudio de sistemas cuya construcción es sencilla pero cuyo comportamiento resulta extremadamente complicado ha llevado a una nueva disciplina de estudio llamada teoría de sistemas complejos, en la cual los métodos computacionales juegan un papel central. Partiendo de algunos ejemplos sencillos, queremos presentar una breve introducción a esta disciplina.

Se representaran los conceptos fundamentales que permiten entender lo que son los autómatas celulares acompañados de algunos ejemplos de estos que nos ayudaran a la comprensión de estos, estará avanzado del trabajo de Wolfram y su trabajo nombrado el juego de la vida y podremos observar por que para muchos aficionados, el juego de la vida solo era un desafío de programación y una manera divertida de usar ciclos de la CPU.1 Para otros, sin embargo, el juego adquirió más connotaciones filosóficas.

Se hablará del modelo Bak-Sneppen de evolución el cual es un modelo sencillo de coevolución entre especies interactuantes en el cual el algoritmo consiste en escoger la especie menos adaptada, y entonces reemplazarlo con sus dos vecinos más cercanos (entero anterior y próximo) por una especie nueva, con un factor de adaptación aleatorio nuevo. El cual a través de simulaciones podremos obtener resultados con el modelo de computación.

Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

Objetivos

Objetivo General

Analizar de manera discreto modelos basados en autómatas celulares que permitan mejor su entendimiento

Objetivos específicos

1.-Describir los procesos de generación de modelos, se presenta la división en modelos continuos y modelos discretos.

2.- Hacer una descripción de los autómatas celulares, revisando los conceptos fundamentales de los autómatas celulares.

3.- Dar ejemplos clásicos de autómatas celulares de Stephen wólfram teórico que ha estudiado a fondo a los autómatas celulares en una dimensión y del “juego de la vida” desarrollado por conway.

4.- Reproducir y analizar el modelo de evolución bilógico de bak-Sneppen

Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

Justificación

¿Por qué usar autómatas celulares?

Los autómatas celulares han sido estudiados por un considerable numero de investigadores en todo el mundo, existe al menos cuatro características que motivan al estudio de este

Los autómatas celulares pueden verse como poderosos motores de cómputo.

Como simuladores discretos de sistemas dinámicos.

Como los vehículos conceptuales para el estudio de la formación de patrones y la complejidad.

Como modelos originales de física fundamental.

Vistos como simuladores discretos de sistemas dinámicos, los autómatas celulares permiten la investigación sistemática de fenómenos complejos que contienen cualquier número de propiedades físicas deseables.

Los modelos generalmente a partir de autómatas celulares, los cuales han sido adecuadamente generalizados según el fenómeno que estudien, son usados para el estudio de crecimiento de formación de cristales de dendrita, patrones especiales generados por la reacción de los sistemas de difusión, auto – organización de redes neuronales y turbulencia de sistemas hidrodinámicos, estos últimos son capaces de reproducir el comportamiento continuo del sistema a gran escala.

Por otro lado, los autómatas celulares como modelos originales de física fundamental, permite el estudio de la física con una aproximación microscópica.

La importancia de esta clase de modelos radica, no en el hecho de construir una red de calibre similar a la teoría, si no en reproducir con éxito el fenómeno a pesar de nunca haber escuchado hablar de las ecuaciones que lo gobiernen, la esperanza es de establecer un conjunto abstracto de leyes de la microfísica que reproducen el comportamiento conocido en la macroescala; en este sentido autores como Fredkin sostiene que ha llegado al extremo de afirmar que el universo es, en su núcleo, un autómata celular.

Son estas ideas las que dan origen a pensar que sistemas como la evolución biológica puede ser estudiada desde el punto de vista de sistemas continuos y discretos, concretamente los autómatas celulares

Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

Marco teórico.

MODELADO DE SISTEMAS

La historia del desarrollo de las ciencias naturales marca que el esfuerzo para entender el entorno comienza con la observación de fenómenos naturales, frecuentemente seguido de la clasificación de estos fenómenos, sobre todo siguiendo aspectos morfológicos. Pasando este análisis, se tiene el conocimiento sobre las componentes de un fenómeno, pero no se tiene conocimiento de las reglas que lo regulan.

Los sistemas interactúan con su entorno de una manera única, se conocen sus límites, puede formar parte de otros sistemas y pueden estar constituidos de sistemas, ejemplo de esto puede verse en un humano que es un sistema por sí solo, la economía de un país, etc. Para estudiar un sistema particular se hace necesaria una descripción de este, que no necesariamente será única dado que dependerá del punto de vista del cual se pretenda estudiar.

Modelos Continuos

Los modelos generalmente empleados para la descripción de sistemas o fenómenos son los modelos matemáticos, los cuales conjuntan una serie de reglas lógicas que conforman el modelo.

En la física matemática, tanto clásica como cuántica, prevalece la noción del "continuo". Las ecuaciones diferenciales forman la base matemática para los modelos más usuales de sistemas naturales; las ecuaciones diferenciales ordinarias son convenientes para sistemas con un pequeño número de grados continuos de la libertad, que evoluciona en una manera continua [6].

Los modelos continuos hacen una descripción de evolución en el tiempo y cada uno de

estos modelos son expresados como una función continua. Estas ecuaciones que representan el modelo continuo de un fenómeno son eficientes para obtener información de un elemento del sistema en un instante de tiempo determinado, sin embargo, si la información que se quiere obtener no obedece a una sola componente sino a un conjunto de componentes o a todas las del sistema, los problemas para hallar la solución se hacen más complicados.

Modelos Discretos

Los modelos de escala celular o modelos discretos consideran que el elemento (no el fenómeno en sí) juega un papel fundamental, dado que la dinámica de todo el fenómeno se observa en la simulación de efectos colectivos.

Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

En general, los modelos matemáticos de sistemas naturales están basados usualmente en ecuaciones diferenciales que describen una ligera variación de un parámetro como una función de algunos otros. Los autómatas celulares, que son sistemas discretos, son una alternativa a fenómenos constituidos por un gran número de componentes idénticas. Los modelos basados en autómatas celulares son más apropiados en sistemas físicos con un régimen altamente no lineal, y en sistemas químicos y biológicos donde tienen lugar umbrales discretos.

SIMULACIÓN

Para construir un modelo es necesario experimentar con el sistema, en cierto sentido decimos que el modelo almacena el entorno experimental que le ha dado origen.

La finalidad de un modelo es proporcionar información sobre el sistema La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias -dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento del sistema.

Autómatas Celulares

Un autómata celular (A.C.) es un modelo matemático y computacional para un sistema dinámico que evoluciona en pasos discretos. Es adecuado para modelar sistemas naturales que puedan ser descritos como una colección masiva de objetos simples que interactúen localmente unos con otros.

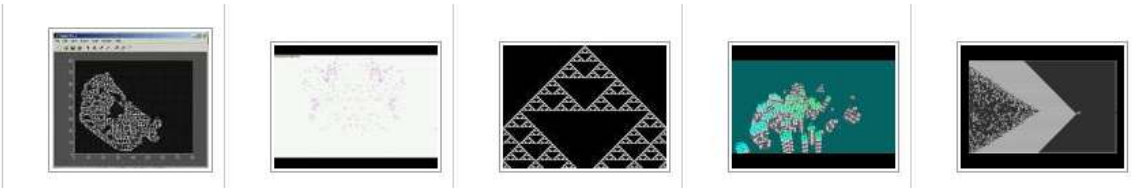
Los autómatas celulares (AC) surgen en la década de 1940 con John Von Neumann, que intentaba modelar una máquina que fuera capaz de autorreplicarse, llegando así a un modelo matemático de dicha maquina con reglas complicadas sobre una red rectangular. Inicialmente fueron interpretados como conjunto de células que crecían, se reproducían y morían a medida que pasaba el tiempo. Su nombre se debe a esta similitud con el crecimiento de las células.

Un autómata celular es un modelo matemático para un sistema dinámico compuesto por un conjunto de celdas o células que adquieren distintos estados o valores. Estos estados son alterados de un instante a otro en unidades de tiempo discreto, es decir, que se puede cuantificar con valores enteros a intervalos regulares. De esta manera este conjunto de células logra una evolución según una determinada expresión matemática, que es sensible a los estados de las células vecinas, y que se conoce como regla de transición local.

El aspecto que más caracteriza a los AC es su capacidad de lograr una serie de propiedades que surgen de la propia dinámica local a través del paso del tiempo y no desde un inicio, aplicándose a todo el sistema en general. Por lo tanto, no es fácil

Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

analizar las propiedades globales de un AC desde su comienzo, complejo por naturaleza, si no es por medio de una simulación, partiendo de un estado o configuración inicial de células y cambiando en cada instante los estados de todas ellas de forma síncrona.



Stephen Wolfram

Realizó un extenso análisis experimental de los patrones de crecimiento de los AC en una dimensión.

Para Wolfram, los autómatas celulares pueden ser usados como modelos matemáticos para sistemas físicos, biológicos y computacionales. Dado que son simples en la construcción, y potencialmente amigables con el análisis matemático preciso, son capaces de mostrar un comportamiento complejo. Define los AC como idealizaciones matemáticas simples de sistemas naturales, los cuales están constituidos de un arreglo de sitios discretos idénticos y cada sitio puede tomar un conjunto finito de estados.

El juego de la vida

Conway desarrolló otro espacio celular siendo éste un avance dado que es uno de los espacios celulares más simple que exhibe cómputo y un constructor universal.

Aunque Conway construyó las reglas de su espacio celular de manera que debe permitir la interacción compleja, las estructuras que son posibles de generar en este espacio se han descubierto después de que las reglas del espacio se establecieron. En contraste, la mayoría de los patrones utilizados por von Neumann para la construcción de su autómata se han desarrollado al mismo tiempo que las normas que rigen sus espacios, las normas son complejas y parece claro que eran elaboradas específicamente para permitir ciertas estructuras.

La idea básica es comenzar con una configuración simple de organismos, distribuidos en una retícula, uno por célula, luego observar cómo estos se cambian cuando se aplican lo que Gardner llamó “las leyes genéticas de Conway” para nacimientos, muertes, y supervivencia.

Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

MODELO BAK-SNEPPEN DE EVOLUCIÓN.

El modelo de evolución de Bak-Sneppen, considera el proceso evolutivo grosso modo, no se presenta de manera explícita un paisaje adaptativo, como existen en otros modelos. Sin embargo, el modelo toma la idea de los paisajes adaptativos, imitando los efectos que este produce en las especies, en términos de una sola medida de aptitud, barreras óptimas. La aptitud de cada especie se ve afectada por otras especies con las que esté relacionada en el ecosistema, esto significa, que los movimientos adaptativos de una especie asociada co-evolutivamente a otra, afectan la aptitud y los grados adaptativos de sus socios co-evolutivos.

La estabilidad de cada especie se caracteriza por una barrera de cierta altura que separa su aptitud local máxima de otras máximas mejores. La altura de la barrera es la medida del número de fragmentos de código genético(genotipo) que debe ser cambiado. La mutación de fragmentos ocurre a menudo, pero modificaciones complicadas, como el desarrollo de alas para permitir que una criatura vuele, son poco probables que ocurran ya que involucran grandes movimientos evolutivos coordinados. La escala de tiempo para cada mutación es exponencial. Cuando la aptitud es alta, es difícil encontrar una mejor máxima cercana de tal forma que esos estados son relativamente estables. Cuando la aptitud es baja es más probable encontrar estados mejores cercanos, de modo tal que las barreras son bajas.

Por lo tanto, para cada especie, sólo se considera la barrera más pequeña.

Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

Metodología de trabajo

Origen de los Autómatas Celulares

Los autómatas celulares no son sino una instancia especializada de la temática general de teoría de autómatas, la diferencia radica en el hecho de que los autómatas son impulsados por señales de entrada y producen señales de salida. Los AC disfrutan de todas las simetrías, mayormente de traslación, inherente a su disposición cristalográfica, pero los usos de determinados estados vecinos para señales de entrada no se consideran en general para producir una salida

Definición Formal de un Autómata Celular

Una “lattice” o “retícula” es un arreglo uniforme, generalmente infinito, formado por objetos idénticos llamados “células”. Este arreglo puede ser n-dimensional, pero para efectos de simulación de sistemas naturales se implementa de 1, 2 ó 3 dimensiones, de tamaño finito.

El juego de la vida

La idea básica es comenzar con una configuración simple de organismos, distribuidos en una retícula, uno por célula, luego observar como estos se cambian cuando se aplican lo que Gardner llamó “las leyes genéticas de Conway” para nacimientos, muertes, y supervivencia . Conceptualmente el AC del juego de la vida, fue diseñado para capturar, de una manera simple, la reproducción y muerte de una población. GL está definido en una lattice 2-dimensional donde cada célula que conforma el lattice puede tomar uno de dos estados: viva o muerta (1 ó 0, respectivamente).

Los AC reversibles, los cuales presentan una evolución en el tiempo que puede ser compleja, pero se describe de manera precisa, estos AC tienen la característica de que se puede encontrar una función de evolución que permite obtener la evolución del AC original, pero hacia atrás en el tiempo.

Conway construyó las reglas de su espacio celular de manera que debe permitir la interacción compleja, las estructuras que son posibles de generar en este espacio se han descubierto después de que las reglas del espacio se establecieron. En contraste, la mayoría de los patrones utilizados por von Neumann para la construcción de su autómata se han desarrollado al mismo tiempo que las normas que rigen sus espacios, las normas son complejas y parece claro que eran elaboradas específicamente para permitir ciertas estructuras. La idea básica es comenzar con una configuración simple de organismos, distribuidos en una retícula, uno por célula, luego observar cómo estos se cambian cuando se aplican lo que Gardner llamó “las leyes genéticas de Conway” para nacimientos, muertes, y supervivencia.

Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

El AC del juego de la vida (GL por sus siglas en inglés), fue diseñado para capturar, de una manera simple, la reproducción y muerte de una población. GL está definido en una lattice 2-dimensional donde cada célula que conforma el lattice puede tomar uno de dos estados: viva o muerta (1 ó 0, respectivamente). La función de transición para una célula toma en cuenta una vecindad de Moore descritas a continuación:

• Sobrevive: una célula en estado 1, tiene 2 o 3 vecinos en estado 1, entonces la célula sobrevive, es decir, continua en estado 1.

• Nacimiento: si una célula se encuentra en estado 0 y tiene exactamente 3 vecinos en estado 1, en el siguiente paso de tiempo la célula cambia a estado 1.

• Muerte: una célula en estado 1 muere por inanición si en su vecindad existe 1 o menos células en estado 1, ó muere por hacinamiento si existen 4 o más células en estado 1 en su vecindad. Deacuerdo a la definición 2.2, el juego de la vida es un AC 2-dimensional.

Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

Desarrollo E Implementación

Los ACs consisten en un sistema discreto de rejillas que mantiene algunos elementos (células idénticas) iniciales, donde su evolución se basa en la información local. Estos contienen: 1) un espacio d-dimensional que es dividido por rejillas idénticas, b) un conjunto finito de posibles estados, y c) una regla de transición que define el estado de la célula al tiempo t + 1, el cual depende de su estado anterior y de su vecindad. En este apartado se expone la formulación formal de esta herramienta y los aspectos generales de El juego de la vida.

Formulación formal

El AC es un sistema dinámico discreto (en espacio y tiempo). Este se define como sigue de acuerdo con:

Sea s: Z x N {0, 1} La función satisface la ecuación

(∀i∈Z) (∀t∈Z) s (i, t + 1) = f(s(i − r, t), s(i − r + 1, t), ..., s (i + r, t))(∀i∈Z) (∀t∈Z) s (i, t + 1) = f(s(i - r, t), s(i - r + 1, t), ..., s (i + r, t))

Tal que

(∀i ∈Z) s (i, 0) = s0(i),(∀i ∈Z) s (i, 0) = s0(i),

Donde N es el conjunto de enteros no negativos, Z es el conjunto de todos los enteros, y s 0: Z →{0, 1} una función dada que especifica la condición inicial, para un sistema de una-dimensión. Para d-dimensiones el AC podría ser definido de forma similar. El mapeo f: {0, 1} 2r+i →{0, 1} determina el dinamismo. Esto refiriéndose a la regla local del AC. El entero positivo r es el rango -o el radio- de la regla. La función S t : i →s(i, t) es el estado del AC al tiempo t. S: {0, 1} z es el estado del espacio. Un elemento del estado del espacio se le llama configuración. A partir del estado al tiempo t + 1 es enteramente determinado por el estado al tiempo t y la regla f, f induce el mapeo f:S→S, llamada regla global -u operador de evolución- tal que,

st+1=f(St)st+1=f(St)

Dada la regla f, que está limitada al conjunto Af está definida por

Af=limt→∞ft(S)=Ut≥0ft(S)Af=limt→∞ft(S)=Ut≥0ft(S)

Donde, para cualquier t∊N, ft+1=f of´ con f´=f Af es claramente invariante, esto es, f(Af)=Af. Desde que cualquier f-subconjuntos invariantes que pertenecen a Af, el limite del conjunto de f es el máximo f- del subconjunto invariante de S.

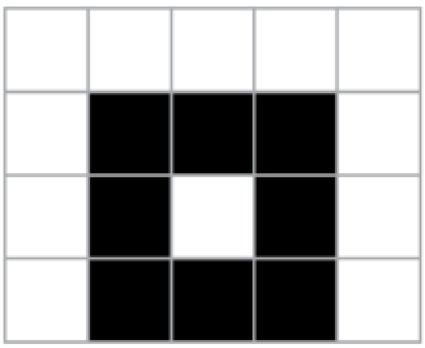
Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

El juego de la vida

En esta investigación se emplea el más famoso diseño de ACs: El juego de la vida, de Conway. Para este juego se tiene:

1) un espacio de 2 dimensiones, 2) los estados son de ceros (0, muerte de la célula) y unos (1, nacimiento o vida de la célula), y 3) la regla de transición que genera un patrón que indica cuando una célula cambia de estado o permanece en el mismo.

La primera consideración pertinente en El juego de la vida es la influencia que existe entre las células, es decir, el criterio que se mantiene para especificar un tipo de vecindad. Para este caso, se considera el tipo de vecindad Moore, en este son ocho vecinos (de color negro) quienes ejercen influencia sobre la célula central.



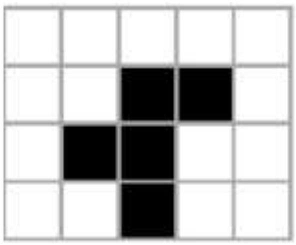
Una segunda consideración es la estructura de las células iniciales que, en este caso, es una poliforma de cinco células. En *El juego de la vida* se emplea una estructura en forma de F (que se mantiene en movimiento, *glider*) que junto con el tipo de vecindad Moore se aplican las siguientes reglas:

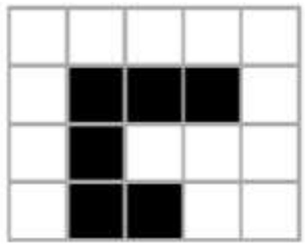
1. Si hay tres células vecinas vivas para una célula cero, entonces nace una célula (de 0 a 1).
2. Si hay entre una y tres células vecinas vivas para una célula uno, entonces permanece viva la célula (se mantiene en 1).
3. Si hay más de tres células vecinas vivas para una célula uno, entonces muere la célula (de 1 a 0).
4. Si hay una célula vecina viva para una célula cero, entonces se mantienen muerta (se mantienen en 0).

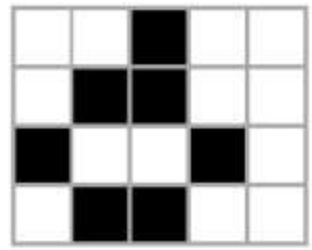
Se muestran tres columnas con rejillas que contienen tanto células vivas (en negro) como células muertas (en blanco), en la parte superior de la primera columna se presentan las células iniciales (forma de F) o la generación cero, mientras que en la parte inferior se visualizan cuales células cambiarán de estado (por ejemplo, las que indican un tres y un tono gris oscuro son aquellas células que nacerán, y las que indican un seis y un tono de gris claro son aquellas que morirán) en la próxima

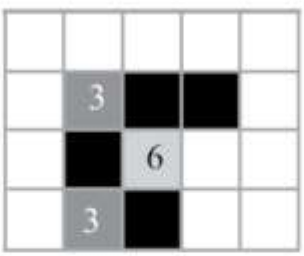
Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

generación. En la segunda columna se representan las células de la primera generación (aplicando la vecindad Moore y las reglas), en este punto ya no es posible seguir omitiendo una tercera consideración: el tipo de frontera, pues en este juego se emplean fronteras periódicas que significa una conexión entre los bordes (o fronteras) laterales, y el superior con el inferior (por ejemplo, la célula que indican un cuatro morirá en la siguiente generación debido a la influencia de la célula situada en el extremo del otro borde, es decir, por influencia de la célula situada en el extremo izquierdo); en la tercera columna se muestra el resultado de los criterios anteriores que llevan a la segunda generación.

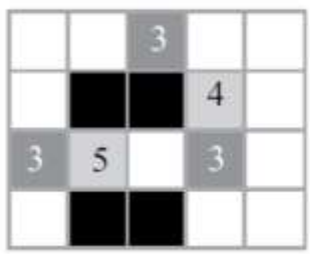

Celulas iniciales


Primera generación


Segunda generación



Para la primera generación

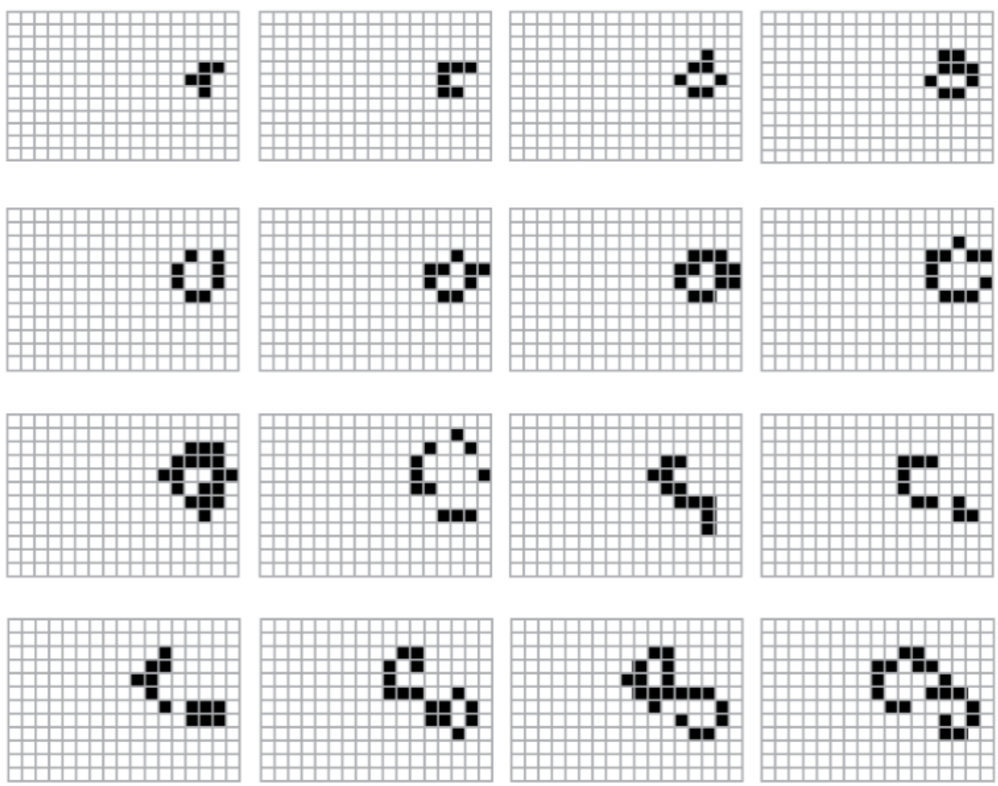


Para la segunda generación

Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

Resultados

Se muestra *El juego de la vida* y las primeras 30 generaciones. En el extremo izquierdo superior se ubica la rejilla que contiene las células iniciales, la primera generación se encuentra a la derecha y así, sucesivamente. Mientras que la cuarta generación se localiza por debajo de la generación cero y se continua con el criterio anterior. En esencia, se muestra el comportamiento dinámico de las estructuras en espacio (rejilla) y tiempo (30 generaciones) discreto. Para el caso de la última generación, el número de células vivas se ha quintuplicado y ha recorrido casi todo el espacio.



Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

```java
private static final int COLS_NUMBER = 45;
private int stationary;
private boolean leftButtonPressed;
private boolean change;
private boolean click;
private boolean isStandalone;
private Vivarium vivarium;
private JLabel[][] area;
private JPanel jPanel1;
private JPanel jPanel2;
private JPanel jPanel3;
private JPanel jPanel4;
private GridLayout gridLayout1;
private JButton nextgenButton;
private JButton aboutButton;
private JButton eraseButton;
private JCheckBox ballCheckbox;
private JLabel stationaryLabel;
```

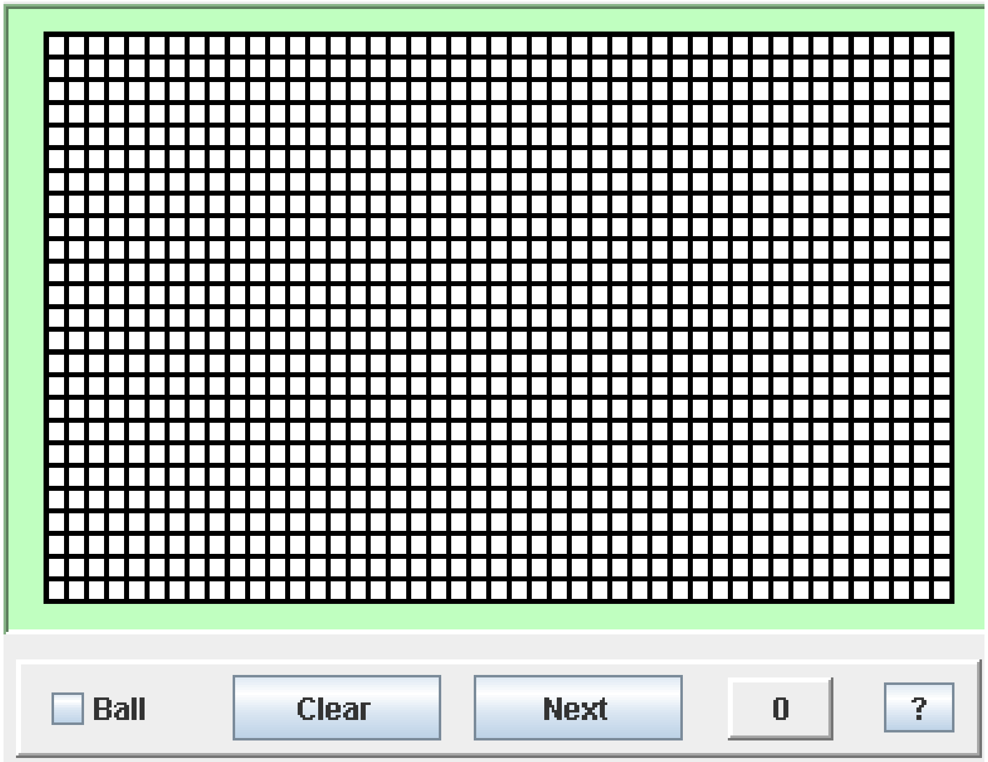
```java
public TheGameOfLife() {
    // <editor-fold defaultstate="collapsed" desc="Compiled Code">
    /* 0: aload_0
     * 1: invokespecial javax/swing/JApplet."<init>":()V
     * 4: aload_0
     * 5: iconst_0
     * 6: putfield      the_game_of_life/TheGameOfLife.change:Z
     * 9: aload_0
     * 10: iconst_0
     * 11: putfield      the_game_of_life/TheGameOfLife.click:Z
     * 14: aload_0
     * 15: iconst_0
     * 16: putfield      the_game_of_life/TheGameOfLife.isStandalone:Z
     * 19: aload_0
     * 20: new           the_game_of_life/Vivarium
     * 23: dup
     * 24: bipush        25
     * 26: bipush        45
     * 28: iconst_0
     * 29: invokespecial the_game_of_life/Vivarium."<init>":(IIZ)V
     * 32: putfield      the_game_of_life/TheGameOfLife.vivarium:Lthe_game_of_life/Vivarium;
     * 35: aload_0
     * 36: bipush        25
     * 38: bipush        45
     * 40: multianewarray #54,  2            // class "[[Ljavax/swing/JLabel;"
     * 44: putfield      the_game_of_life/TheGameOfLife.area:[[Ljavax/swing/JLabel;
     * 47: aload_0
     * 48: new           javax/swing/JPanel
```


Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

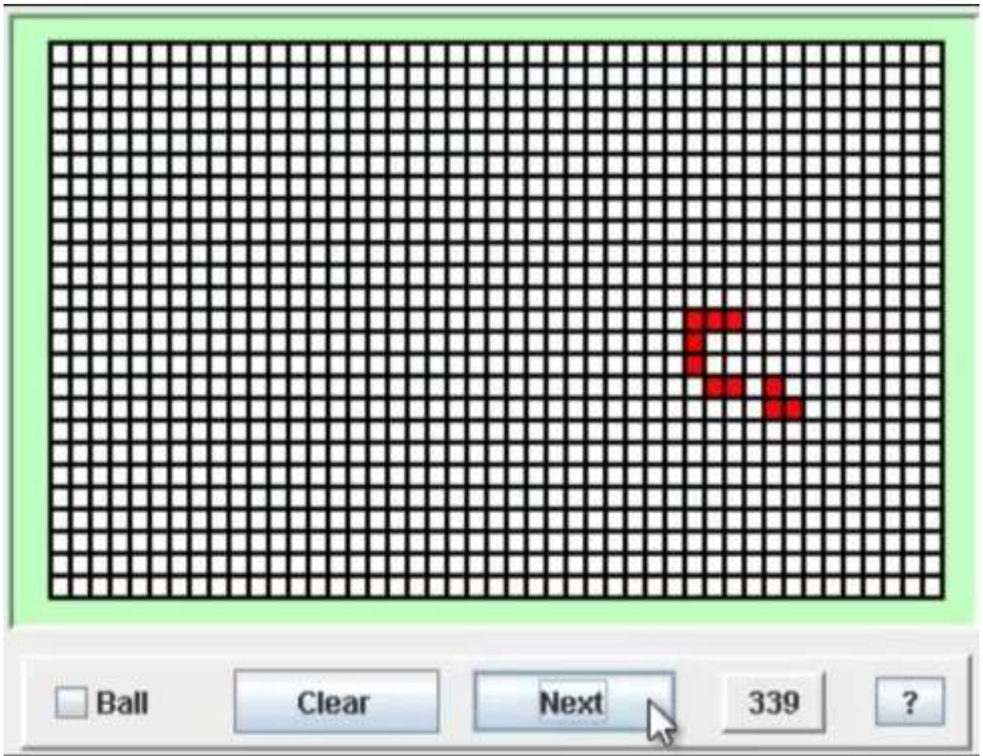
```java
private void nextGen() {
    // <editor-fold defaultstate="collapsed" desc="Compiled Code">
    /* 0: aload_0
     * 1: getfield      the_game_of_life/TheGameOfLife.change:Z
     * 4: ifeq          58
     * 7: aload_0
     * 8: iconst_0
     * 9: putfield      the_game_of_life/TheGameOfLife.change:Z
     * 12: aload_0
     * 13: aload_0
     * 14: getfield      the_game_of_life/TheGameOfLife.vivarium:Lthe_game_of_life/Vivarium;
     * 17: invokevirtual the_game_of_life/Vivarium.getStationary:()I
     * 20: putfield      the_game_of_life/TheGameOfLife.stationary:I
     * 23: aload_0
     * 24: getfield      the_game_of_life/TheGameOfLife.stationary:I
     * 27: iconst_m1
     * 28: if_icmpne     44
     * 31: aload_0
     * 32: getfield      the_game_of_life/TheGameOfLife.stationaryLabel:Ljavax/swing/JLabel;
     * 35: ldc_w         X
     * 38: invokevirtual javax/swing/JLabel.setText:(Ljava/lang/String;)V
     * 41: goto          58
     * 44: aload_0
     * 45: getfield      the_game_of_life/TheGameOfLife.stationaryLabel:Ljavax/swing/JLabel;
     * 48: aload_0
     * 49: getfield      the_game_of_life/TheGameOfLife.stationary:I
```

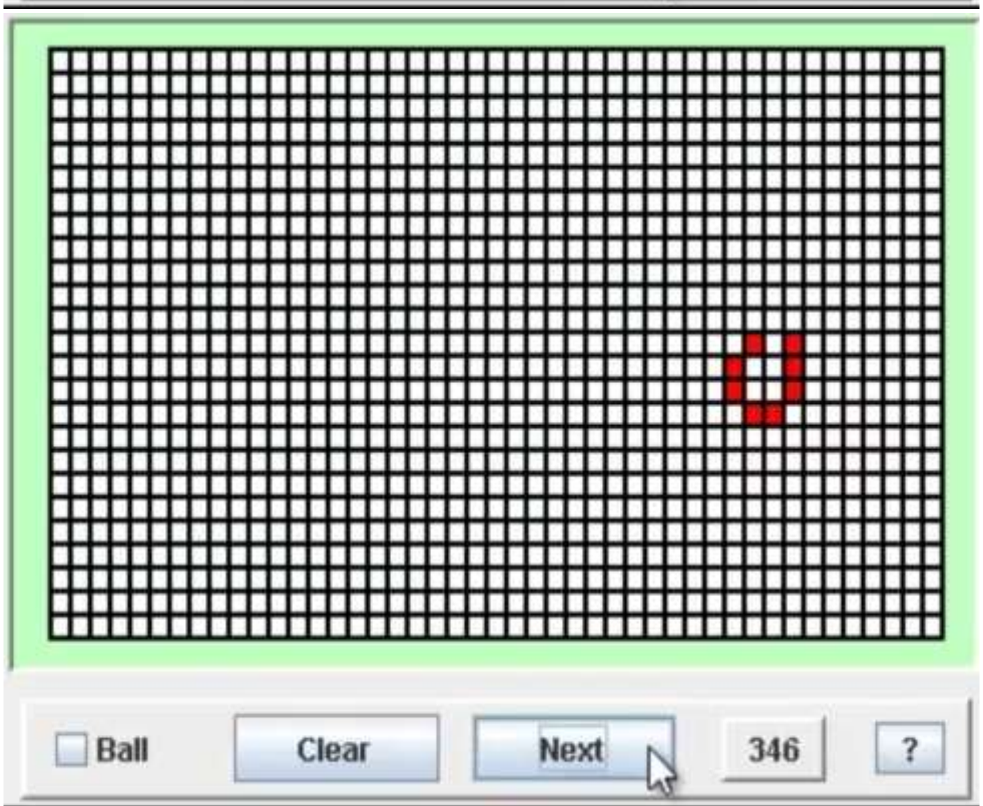
```java
package the_game_of_life;

public class Vivarium implements Cloneable {

    private boolean[][] area;
    private boolean ball;
    private int rowsNumber;
    private int colsNumber;

    public Vivarium(int rowsNumber, int colsNumber, boolean ball) {
        Compiled Code
    }

    public void nextGen() {
        Compiled Code
    }

    public int getStationary() {
        Compiled Code
    }

    public boolean[][] getArea() {
        Compiled Code
    }

    public void setArea(boolean[][] area) {
        Compiled Code
    }

    public boolean getBall() {
```


Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

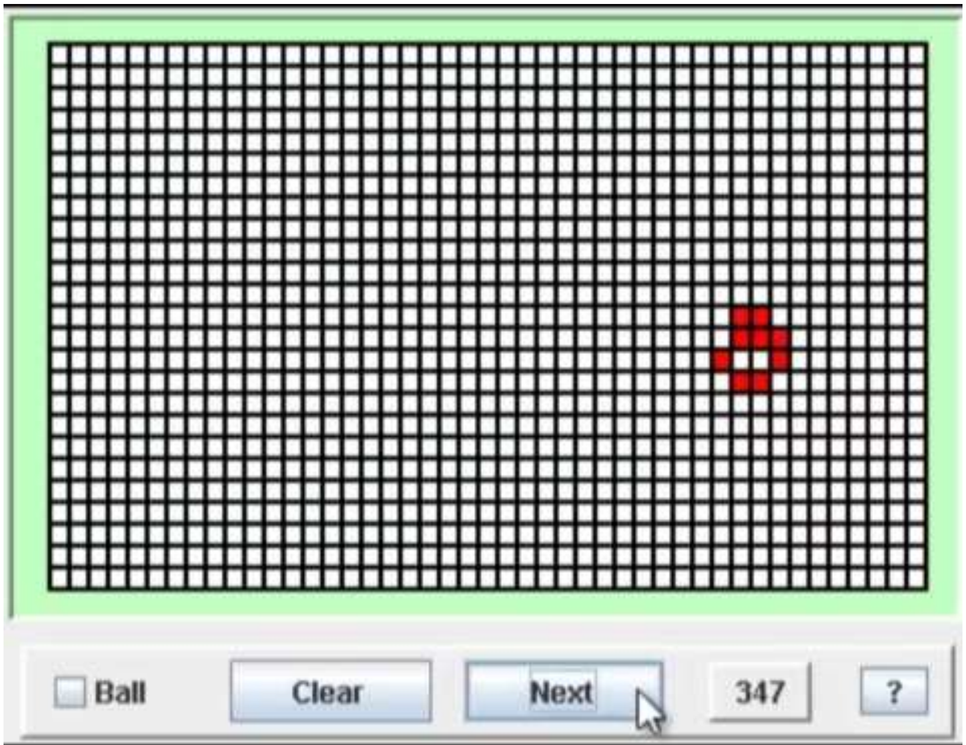


Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa





Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa



Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

Conclusiones

Es notable la gran capacidad que tienen para simular fenómenos naturales, ayudando a una interpretación más completa de los resultados de una investigación o incluso favoreciendo la prevención de situaciones no deseadas. También contribuye en las actividades humanas, al lograr que muchas operaciones matemáticas y de cómputo sean más rápidas y permitan un manejo de datos superior a otros modelos abstractos.

Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa

Referencias

autor, s. (10 de noviembre de 2019). *wikipedia*. Obtenido de Modelo de Bak–Sneppen: https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_de_Bak%E2%80%93Sneppen

autor, s. (19 de Diciembre de 2020). *wikipedia*. Obtenido de Autómata celular: https://es.wikipedia.org/wiki/Aut%C3%B3mata_celular

autor, s. (7 de junio de 2021). *wikipedia*. Obtenido de Cellular automaton: https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_automaton

autor, s. (5 de junio de 2021). *wikipedia*. Obtenido de Juego de la vida: https://es.wikipedia.org/wiki/Juego_de_la_vida

Caparrini, F. S. (30 de Octubre de 2016). *Fernando Sancho Caparrini*. Obtenido de Autómatas Celulares: http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=66

TRUJILLO, I. I. (Diciembre de 2009). *pdf*. Obtenido de SIMULACIÓN DE SISTEMAS NATURALES USANDO AUTÓMATAS CELULARES: https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/5696/1/Tesis12181.pdf

Anexos

AUTÓMATA CELULAR: Sistema dinámico que evoluciona a través de lapsos de tiempo discretos.
AVALANCHA: Termino empleado en la teoría de la criticalidad auto - organizada que se refiere a la actividad generada por una perturbación a un sistema que se encuentra en estado de aparente equilibrio.
CASO DE USO: Representación de un elemento funcional en el diseño de software, usado en los diagramas de casos de uso.
CÉLULA: Para este caso, es una máquina de estados numerables, que conforman una retícula.
CLASE: Una clase es una abstracción de la realidad la cual define atributos y métodos a los objetos que de ella deriven. **DENDRITA:** Concreción mineral que en forma de ramas de árbol suele presentarse en las fisuras y juntas de las rocas. **ESTRÉS:** Tensión provocada por situaciones agobiantes que originan reacciones psicosomáticas o trastornos psicológicos a veces graves.
FASE: Indica la situación instantánea en dos procesos periódicos, de una magnitud que varía cíclicamente.
LATTICE: También llamada retícula, define el espacio de acción para el AC.
MEDIA: También llamada media aritmética, es una medida estadística como medida de centralización.
NICHO ECOLÓGICO: Término que describe la posición relacional de una especie o población en un ecosistema o el espacio concreto que ocupa en el ecosistema.
SISTEMA CONTINUO: Se dice que un sistema es continuo, si dados dos puntos en el tiempo cercanos uno de otro, existen una infinidad de configuraciones de la evolución del sistema.
STASIS: palabra utilizada en la teoría del equilibrio puntuado, hace referencia en español a estasis, que significa detención, dilatación.
VARIANZA: Medida de dispersión de los valores de una variable aleatoria alrededor de la media.
VECINDAD: Conjunto de células, las cuales generan una influencia sobre la célula a evaluar.

Av. Telecomunicaciones S/N, Col. Chinampac de Juárez, C.P. 09208, Alcaldía de Iztapalapa,
Ciudad de México Tel. 5773-8210, e-mail: division@iztapalapa.tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.iztapalapa