

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco  
División de Ciencias Básicas e Ingeniería  
Licenciatura en Ingeniería en Computación

Proyecto Tecnológico

**Modelado de burbujas y quiebras financieras en un mercado de  
valores**

Presentado por:

**David Tienda Candia**

209200463

Trimestre 2014 Primavera

Julio de 2014

Asesor: Germán Téllez Castillo

Profesor Asociado

Departamento de Sistemas

Yo, GERMÁN TÉLLEZ CASTILLO, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



---

M. en C. Germán Téllez Castillo

Yo, DAVID TIENDA CANDIA doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



---

David Tienda Candia

# Agradecimientos

---

## ***A mi familia.***

Por haberme apoyado en todo momento, no solo en la carrera universitaria sino durante toda la vida, dándome amor verdadero, su cariño, comprensión. Mil palabras no bastarían para agradecerles.

## ***A mi asesor.***

Por aceptarme para realizar este proyecto bajo su dirección, su confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas, por su paciencia y por impulsar el desarrollo de este trabajo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

## Resumen

---

La volatilidad del precio de las acciones en un mercado de valores está asociada a diferentes causas estocásticas lo que ocasiona riesgos a los actores del mercado. La necesidad de entender y estudiar las causas estocásticas de la dinámica de la fluctuación de precios genera la necesidad de desarrollar modelos con el objetivo de caracterizar el peso de las variables que interviene en el precio de las acciones.

En este proyecto terminal se estudia la dinámica del mercado de valores mediante el uso de autómatas celulares. Para esto, se diseñó e implementó un sistema basado en el concepto de autómatas celular en el cual interactúan diversos tipos de inversionistas sobre una retícula de dos dimensiones, la dinámica generada produce la formación de “clusters” de inversionistas. Se consideran dos tipos de inversionistas, los activos e inactivos. Los inversionistas activos son caracterizados por su decisión de compra o venta de acciones en un intervalo de tiempo discreto. Las componentes restantes de la retícula se consideran inactivas.

El modelo cuenta con agentes interconectados que toman la decisión de inversión sobre un activo financiero. La dinámica de negociación es determinada por la interacción estocástica entre comerciantes pertenecientes al mismo grupo; eventos tales como quiebras o burbujas son provocados por transiciones de fase de los grupos más grandes presentes en la retícula, en el que los comerciantes activos tienden a compartir una misma orientación.

# Contenido

---

Agradecimientos.....	ii
Resumen.....	iii
Índice de Figuras.....	v
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	2
3. Justificación.....	4
4. Objetivos.....	6
4.1 Objetivo General.....	6
4.2 Objetivos específicos.....	6
5. Marco teórico.....	6
5.1 Autómatas Celulares.....	6
5.2 Mercado de valores.....	10
6. Desarrollo del proyecto.....	11
6.1 Modelo Propuesto.....	11
6.2 Descripción técnica del modelo.....	15
6.3 Especificaciones técnicas del modelo.....	16
7. Resultados.....	17
7.1 Simulación del mercado de valores con Ph: 0.0493.....	18
7.2 Simulación del mercado de valores mostrando una burbuja económica.....	20
7.3 Simulación del mercado de valores mostrando una quiebra económica.....	21
7.4 Simulación del mercado de valores con Ph 0.0499.....	22
7.5 Simulación del mercado de valores con Ph 0.0484.....	23
7.6 Simulación del mercado con 10% inversionistas activos iniciales.....	24
7.7 Simulación del mercado con 50% inversionistas activos iniciales.....	25
8. Conclusiones.....	26
9. Referencias bibliográficas.....	27
Apéndice A: Manual de Usuario.....	30

## Índice de Figuras

---

Figura 5.1.1. a) Vecindad de Von Neumann, b) Vecindad de Moore .....	9
Figura 6.2.1. Interacción entre módulos .....	16
Figura 7.1.1 Simulación con Ph: 0.0493.....	18
Figura 7.1.2 Comerciantes activos Ph 0.0493.....	19
Figura 7.1.3 Precio de una acción Ph 0.0493.....	19
Figura 7.2.1 Simulación de una burbuja financiera.....	20
Figura 7.2.2 Precio de una acción durante una burbuja .....	20
Figura 7.3.1 Simulación de una quiebra financiera.....	21
Figura 7.3.2 Precio de una acción durante una quiebra .....	21
Figura 7.4.1 Comerciantes activos Ph 0.0499.....	22
Figura 7.4.2 Precio de una acción Ph 0.0499.....	22
Figura 7.5.1 Comerciantes activos Ph 0.0484.....	23
Figura 7.5.2 Precio de una acción Ph 0.0484.....	23
Figura 7.6.1 Comerciantes con 10% activos.....	24
Figura 7.6.2 Comerciantes activos con 10% inversionistas iniciales .....	24
Figura 7.7.1 Comerciantes con 50% activos.....	25
Figura 7.7.2 Comerciantes activos con 50% inversionistas iniciales .....	25
Figura A.1. Icono de la aplicación.....	30
Figura A.2. Interfaz gráfica del simulador .....	31
Figura A.3. Botones que se muestran al usuario .....	32
Figura A.4. Matriz Cargada aleatoriamente .....	33
Figura A.5: Ejemplo de graficas .....	33
Figura A.6. Confirmar cierre del programa.....	34
Figura A.7. Parámetros del modelo.....	34
Figura A.8. Precio inicial.....	35
Figura A.9. Parametro Ph. ....	35
Figura A.10. Tamaño de la matriz.....	35
Figura A.11. Porcentaje de inversionistas activos. ....	35
Figura A.12. Pantalla principal de la simulación.....	37
Figura A.13. Pantalla que muestra las gráficas de una simulación.....	37

# 1. Introducción

---

La dinámica de un mercado de valores depende de la interacción entre el mecanismo de negociación y el comportamiento de los participantes. El mecanismo de comercio define las reglas del mercado, que especifican cómo se realizan las compras, ventas y cómo se efectúa el cambios en los precios. El comportamiento de los participantes es el resultado de sus estrategias de negociación, que incluyen cómo formar especulaciones de los precios o interpretar las señales para poder predecir el comportamiento del mercado. [1]

Descripciones estadísticas precisan que, la dinámica estocástica de precios de las acciones es fundamental para la inversión, valoración de opciones, y gestión de riesgos. En particular, una cifra relevante es la volatilidad de las series de tiempo de los precios ya que esto permite cuantificar la inclinación de la fluctuación del mercado. Puesto que la volatilidad representa una medida del riesgo asociado a la dinámica de fluctuación de precios, es crucial desarrollar modelos adecuados para predecir su comportamiento. Existe evidencia empírica que indica que el mercado fluctúa siguiendo una dinámica estocástica de los precios, cuya dinámica, a su vez, depende de la evolución de la volatilidad. Existen enfoques que se basan en esta suposición y otros proponen la existencia de una retroalimentación recíproca entre ambos procesos. [2]

Con el fin de reproducir estas características de los mercados reales se introduce un modelo de autómatas celulares, representando un mercado abierto. Es decir, un mercado en el que el número de inversionistas activos evolucionan en el tiempo de acuerdo con una dinámica de percolación. La dinámica de percolación se elige con el fin de simular el comportamiento de manada típica de los inversores. Conforme a esto, los comerciantes activos se reúnen en grupos donde, después de un intercambio estocástico de información, se formula la estrategia de negociación para el siguiente paso del tiempo [3].

En este proyecto terminal se implementó un modelo de simulación del mercado financiero a través de autómatas celulares, el modelo cuenta con múltiples agentes interconectados entre sí. Estos agentes toman decisiones de inversión sobre un activo financiero; los agentes están organizados en grupos de inversionistas los cuales intercambiarán información y especulan sobre el futuro del precio del activo. La formación de los grupos será mediante una dinámica de percolación. Las decisiones de inversión de cada grupo serán actualizadas en cada instante del tiempo. Este proyecto se centrará en desarrollar una intuición financiera y un análisis comparativo para encontrar las características del sistema que llevan a la existencia de eventos identificados como quiebras y burbujas de mercado. [4]

## 2. Antecedentes

---

Los auges y las caídas de los mercados financieros han sido objeto de estudio en economía durante mucho tiempo, los economistas y los historiadores económicos han sugerido a menudo la importancia de factores psicológicos y los factores irracionales en la explicación de la euforia financiera histórica. [5]

El economista Keynes [6], señalado en su libro, *La teoría general del empleo, el interés y el dinero, ...el cambio en el precio de las acciones tienen su origen en el comportamiento del trabajo colectivo de muchos agentes que interactúan en conjunto y predicen los valores fundamentales que se pueden derivar del análisis cuidadoso de las condiciones actuales y las perspectivas futuras de empresas...*

Los mercados financieros son sistemas complejos típicos en los que las propiedades dinámicas a gran escala dependen de la evolución de un gran número de subsistemas no lineales acoplados. La hipótesis de un mercado eficiente se basa en suposiciones en las que se considera el precio de los mercados financieros como un comportamiento aleatorio, por lo que la distribución

de la rentabilidad obedece forma gaussiana. Estos hechos estilizados inspiraron a los economistas a construir modelos de mercado de microestructura, tales como el modelo Cont-Bouchaud [7], el modelo Lux-Marchesi [8], el modelo y LeBaron [9], así sucesivamente, para explicar su mecanismo subyacente. Estos modelos tratar de capturar las complejas conductas de las acciones de precios de mercado y los agentes del mercado, para dar posibles razones de la dinámica de precios [10].

En un artículo publicado en el Diario Económico [11], Lux modeló la idea de las burbujas y quiebras que unen a las caídas de los mercados con las transiciones de fase estudiadas en la física estadística. Explicó la aparición de burbujas y quiebras como proceso de auto-organización y de la interacción entre los comerciantes heterogéneos. En trabajos independientes varios grupos de investigación [12,13] propusieron y mostraron empíricamente que las grandes crisis bursátiles, como la del 1929 y de 1987 son análogas a los puntos críticos y llegaron a afirmar que las quiebras financieras podrían predecirse utilizando herramientas de la física de los fenómenos críticos. [5]

La evidencia empírica ha mostrado con el tiempo, la imposibilidad de predecir el comportamiento del mercado financiero, además, en la actualidad ha quedado demostrado que las fluctuaciones financieras no tienen un carácter aleatorio [14]. Estas son, en realidad, más bien resultado de procesos pseudo-aleatorios. De este modo aparecen regularidades que pueden ser detectadas, por tal razón en los últimos años se ha dedicado tiempo y esfuerzo para entender el comportamiento de la dinámica del mercado de valores; de ese modo surge la pregunta de si hay alguna predictibilidad en el comportamiento de los precios accionarios.

Con el objetivo de entender el comportamiento de la dinámica del mercado de valores se han utilizado diferentes teorías, tales como la teoría de los sistemas complejos [16,17] y procesos estocásticos [18,19]; así como diferentes enfoques macroscópico, cinético y microscópico[20]. El objetivo de estos enfoques ha sido

el reproducir fenómenos tales como: las fluctuaciones temporales del índice de precios  $P(t)$  [21], su volatilidad [22], su comportamiento turbulento [23], la existencia de procesos estocásticos con ruido [5] y fenómenos de percolación [24].

La importancia del mercado financiero radica en que desempeña un papel central en el funcionamiento y desarrollo de la economía. Está integrado principalmente por diferentes intermediarios y mercados financieros, a través de los cuales una variedad de instrumentos movilizan el ahorro hacia sus usos más productivos. Los bancos son quizá los intermediarios financieros más conocidos, puesto que ofrecen directamente sus servicios al público y forman parte medular del sistema de pagos. Sin embargo, en el sistema financiero participan muchos otros intermediarios y organizaciones que ofrecen servicios de gran utilidad para la sociedad. [15]

### 3. Justificación

---

La importancia de reproducir rasgos de un mercado financiero radica en entender el mercado financiero y de esta forma poder aportar información y tendencias del precio de una acción con el objetivo de realizar una mejor toma de decisiones.

La importancia de estudiar el mercado de valores contribuye a entender diferentes fenómenos que se dan en un mercado de valores, tales como las quiebras y burbujas financieras las cuales pueden ocasionar consecuencias en la economía de un país y afectar por ende a su población.

En este proyecto terminal nos interesa reproducir la jerarquía de grupos que se da entre los inversionistas activos en un mercado de valores producto de la interacción entre inversionistas que pertenecen al mismo grupo, para esto, se elegirá una dinámica de percolación para reproducir, el comportamiento de grupo que se da entre los inversionistas. Observaciones empíricas [25] nos indican que

los inversionistas activos se reúnen en grupos en donde después de un intercambio de información formulan una estrategia de negociación para la siguiente etapa del tiempo.

La simulación de un mercado de valores, es utilizada como un medio para experimentar, proyectar y evaluar la relación entre diferentes variables involucradas en la dinámica del precio de una acción.

En este proyecto terminal se utilizan autómatas celulares ya que son una herramienta discreta que poseen al menos cuatro características que motivan su utilización para el entendimiento de diferentes fenómenos de la vida real.

- Los autómatas celulares pueden verse como poderosos motores de cómputo.
- Como simuladores discretos de los sistemas dinámicos.
- Como los vehículos conceptuales para el estudio en la formación de patrones y la complejidad de estos.

Son estas ideas las que dan origen a pensar, que sistemas como los mercados financieros o la evolución biológica pueden ser estudiados desde el punto de vista de los sistemas discretos, concretamente con el uso de autómatas celulares.

## 4. Objetivos

---

### 4.1 Objetivo General

Modelar la quiebra y burbujas financieras en un mercado de valores usando autómatas celulares.

### 4.2 Objetivos específicos

- Diseñar e implementar un algoritmo basado en autómatas celulares que permita simular la quiebra y burbujas que se presentan en un mercado de valores.
- Validar los resultados que se generan en el algoritmo y de ser necesario hacer los ajustes pertinentes al algoritmo.
- Crear una interfaz gráfica para el algoritmo diseñado.

## 5. Marco teórico

---

### 5.1 Autómatas Celulares

El concepto de los AC fue desarrollado a finales de los años 1940 por John von Neumann. En 1970, John Conway presentó su “game of life” (juego de la vida) que se ha tornado desde entonces un AC muy popular [26]. Inspirado en un modelo ecológico simple, el juego de la vida se desarrolla en una red cuadrada, como un tablero de ajedrez, donde cada casillero está ocupado por una célula muerta, o bien por una célula viva. El estado de cada casillero (célula muerta o viva) se actualiza según la siguiente regla: una célula muerta rodeada<sup>1</sup> por exactamente 3 células vivas, se torna viva. Por otro lado, una célula viva rodeada por menos de 2 o más de 3 células vivas muere por aislamiento o “superpoblación”. Con esta regla tan sencilla, el juego de la vida de Conway puede generar comportamientos muy complejos, algo que suele ser una constante en los autómatas celulares [27].

Los modelos de autómatas celulares son sistemas dinámicos en los que el espacio y el tiempo son discretos. Un autómata celular consiste de una retícula regular en donde cada parte de la retícula se le llama célula y tiene un valor llamado estado, el cual es actualizado sincrónicamente en etapas de tiempo discretas por medio de funciones locales, las cuales toman en cuenta el estado de las células vecinas (vecindad) que afectan el estado de la célula a considerar.

Un autómata celular es un sistema matemático discreto en tiempo y espacio, caracterizado por la interacción local y una forma de evolución inherente paralela [28].

Un Autómata Celular  $D$  – dimensional consiste de una Lattice  $D$ - dimensional infinitamente extendida que representa el espacio (en aplicaciones de modelado y simulación física,  $D$  suele tener los valores 1, 2 ó 3), donde cada sitio de la Lattice es llamado célula, la cual tiene asociado un valor llamado estado de la célula el cual fluctúa sobre un conjunto finito de valores, llamado conjunto de estados.

El tiempo avanza en etapas discretas y la dinámica está dada por una función explícita llamada función local, la cual es usada en cada etapa de tiempo sobre cada célula para determinar su nuevo estado a partir del estado actual de ciertas células, que son llamadas la vecindad de la célula, es decir, la función local toma los estados de las células vecinas como argumentos y regresa como resultado el nuevo estado de la célula correspondiente.

Las células alteran sus estados en etapas de tiempo discreto de acuerdo a la función local, estas alteraciones podrían no realizarse de forma síncrona por todas las células de la Lattice, dependiendo de la naturaleza del problema que el Autómata Celular modele. Si la Lattice es homogénea, todas las células operan bajo la misma función local y por lo tanto pueden tomar uno de los valores del mismo conjunto de estados.

El concepto de Autómata Celular lleva implícitamente asociado otros conceptos como espacio y localidad de influencia. Se asume que el sistema representado

está distribuido en el espacio y que regiones cercanas tienen mayor influencia entre sí, que otras que se encuentran apartadas dentro del sistema [29].

Para definir un Autómata celular es necesario definir otros elementos que lo integra, tales como:

- Una lattice (retícula) regular de  $N$  máquinas de estados finitos idénticas, llamadas células[30], que cubre el espacio  $n$ -dimensional; cada una de las células cuenta con patrones idénticos y conexiones locales con otras células.
- Un conjunto de estados que pueden ser asignados a cada célula.
- Una regla de transición, que especifica la evolución en el tiempo de los estados.
- Una vecindad; las interacciones que toda célula tiene es con células que pertenece solo a su vecindad.

Estas características son las que en conjunto dan forma a un Autómata celular

Un AC es una 4-tupla  $AC = (L, S, V, \Phi)$  donde:

- $L$ : Es una retícula regular y  $L = \{c \in C^d\}$  para una lattice  $d$ -dimensional.
- $S$ : Es el conjunto finito de todos los posibles estados de las células,  $c \in L$ .
- $V$ : Es el conjunto finito de células que definen la vecindad para una célula
- $\Phi: S^d \rightarrow S$ , es una función de transición aplicada simultáneamente a las células que conforman la matriz.

La actualización en el estado de las células requiere que se conozca el estado de las células vecinas, a esta región del espacio que la célula necesita conocer se le conoce como vecindad [31].

Una vecindad para una célula  $c \in L$  es  $V(c) = \{k_1, k_2, \dots, k_n \mid k_j \in L, j = 0, 1, \dots, n\}$ ; es decir, una vecindad es un conjunto de células para las cuales la célula  $c$  es el punto de referencia para el área de influencia.

Para un autómata celular de dos dimensiones existen dos vecindades clásicas: la de von Neumann que consiste en una célula central, que es la célula que será

actualizada, y cuatro vecinos geográficos norte, sur, este y oeste. (Figura 5.1.1.a), y la vecindad de Moore que consiste en el conjunto de las ocho células que rodean a la célula central incluyendo a ésta [32] (Figura 5.1.1.b).

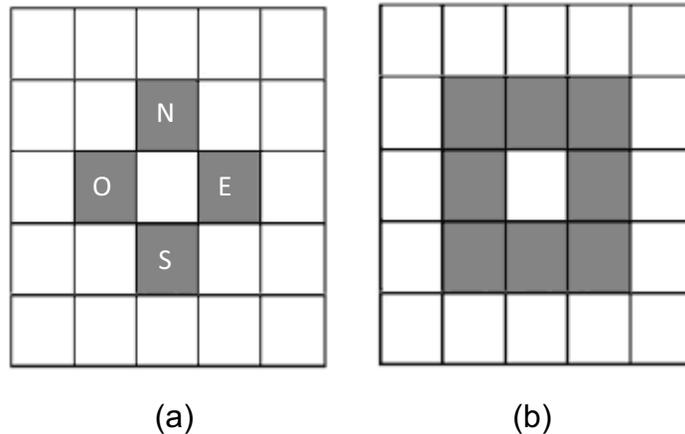


Figura 5.1.1. a) Vecindad de Von Neumann, b) Vecindad de Moore

La definición de lattice por si misma nos permite considerar lattices de tamaño infinito, pero en la práctica esta implementación resulta imposible, es por eso que los AC son representados como sistemas en espacios infinitos, a estas condiciones que nos permiten limitar el espacio de operación del AC lo llamamos condiciones de frontera.

Los tipos de condiciones de frontera que se pueden manejar son cuatro [31]:

- Periódica: Una Lattice se considera periódica cuando sus bordes se consideran conectados; para el caso de una Lattice 1-dimensional, esto puede visualizarse en dos dimensiones como una circunferencia. En el caso de una Lattice 2-dimensional, la Lattice podría visualizarse en tres dimensiones como un toroide.
- Fija: Esta condición de frontera completa la vecindad con células virtuales con un valor preasignado.
- Adiabática: Condición de frontera obtenida por la duplicación del valor de la célula cercana a la célula virtual.
- Reflectante: obtenida de copiar el valor de otros vecinos en la célula virtual.

## **5.2 Mercado de valores**

Los mercados financieros son aquéllos en los que se intercambian activos con el propósito principal de movilizar dinero a través del tiempo. Están integrados fundamentalmente por los mercados de deuda, los mercados de acciones y el mercado cambiario. [15]

El mercado de valores es el conjunto de mecanismos que permiten realizar la emisión, colocación y distribución de los. Como en todo mercado, existe un componente de oferta y otro de demanda; en este caso, la oferta está representada por títulos emitidos, en tanto que la demanda la constituyen los fondos disponibles para inversión procedentes de personas físicas o morales.

Una acción es un título emitido por una sociedad que representa el valor de una de las fracciones iguales en que se divide su capital social. Las acciones, generalmente, confieren a su titular, llamado accionista, derechos políticos, como el de voto en la junta de accionistas de la entidad, y económicos, como participar en los beneficios de la empresa. [33]

Las burbujas financieras son un fenómeno que se produce en los mercados; consisten en un aumento progresivo y exagerado del precio de un activo o de un bien, muy por encima de su valor de equilibrio. Este aumento perdura durante meses o incluso años, hasta que se empiezan a producir fuertes fluctuaciones en el precio y finalmente una fuerte caída, que se llama estallido de la burbuja. El estallido de una burbuja financiera puede acarrear quiebras de empresas y crisis económicas.

Solamente podemos saber que existe una burbuja financiera cuando es evidente que el precio al que cotiza un activo financiero está muy por encima del su valor real, y cuando llega ese momento, normalmente suele ser demasiado tarde para tomar una decisión, es por ello que los inversores deben prestar atención al histórico del comportamiento del sistema conforme avanza el tiempo.

Una quiebra financiera, es un repentino y dramático descenso de los precios de mercado a lo largo de una sección transversal del mercado de valores. Las quiebras van acompañadas tanto de pánico como de otros factores económicos subyacentes. A menudo son consecuencia de especulaciones y burbujas económicas.

El término “quiebra” se aplica comúnmente a una brusca pérdida porcentual de dos dígitos en un índice de mercado a lo largo de un periodo.

## 6. Desarrollo del proyecto

---

### 6.1 Modelo Propuesto

En este trabajo terminal se simula a los inversionistas por células en una retícula cuadrada de dimensiones 300X300. El  $i$ -ésimo inversionista en la etapa de tiempo discreto  $t$  está caracterizado por tres posibles estados: 0, 1,-1. El valor de 1 está asociado con la compra de una acción, el valor de -1 con la venta de la acción, el valor de 0 estará asociado con inversionistas inactivos.

Los comerciantes activos podrán tener un comportamiento de grupo vía un proceso de percolación. Los integrantes de un grupo compartirán información de forma estocástica y sobre esta tomaran alguna decisión. La dinámica de negociación está relacionada a un proceso de actualización síncrona.

La información no es diseminada a todos los elementos de la retícula sino que esta estará limitada a los integrantes del grupo. La información de cada comerciante activo, es decir, su estado de actual (-1, 0, 1), se comparte con los demás miembros, suponemos que los vecinos influyen en la toma de decisiones del inversionista.

Un proceso de percolación es utilizado para simular el comportamiento en grupo que se da entre inversionistas activos, este proceso de percolación es fijado por los siguientes parámetros:

- Ph: es la probabilidad de que un inversionista activo convierta a uno de sus vecinos inactivo a uno activo en la siguiente etapa de tiempo.  
 $\sigma_i(t) = 0 \rightarrow \sigma_i(t + 1) = \pm 1$ . Esto simula el hecho de que cierta información en poder de un comerciante puede inducir un comerciante potencial para incorporarse al mercado dinámica.
- Pd: es la probabilidad de que un inversionista activo convierta a uno de sus vecinos activos a uno inactivo en la siguiente etapa de tiempo.  
 $\sigma_i(t) = \pm 1 \rightarrow \sigma_i(t + 1) = 0$ , Esto imita el hecho de que sólo los comerciantes en las fronteras de una red, es decir, los enlaces más débiles, pueden abandonar el mercado.
- Pe: es la probabilidad de que un inversionista decida entrar a la dinámica del mercado de valores.  $\sigma_i(t) = 0 \rightarrow \sigma_i(t + 1) = \pm 1$ .

Los valores de los parámetros Ph, Pd y Pe, influyen en la estabilidad del sistema y el porcentaje de operadores activos en la matriz. Con el fin de probar diferente actividad en el mercado fijaremos los valores de Pd = 0,05 y Pe = 0.0001 mientras que ajustaremos el parámetro Ph al comienzo de cada simulación, la red se carga aleatoriamente con un porcentaje de comerciantes activos y después el sistema permite evolucionar de acuerdo con las reglas anteriores. Si ajustamos un rango estable del parámetro Ph, después de un período de tiempo, que depende tanto de los valores de los parámetros y el número inicial de inversionistas activos, el número de inversionistas activos en el matriz comienza a fluctuar alrededor de un cierto promedio.

Una suposición es que la gente que tiene un mayor número de fuentes de información pertenece a grupos mayores, esto se puede asociar a los inversores profesionales que, con mayor probabilidad, son capaces de mover una mayor cantidad de existencias en comparación con el inversor ocasional.

En la parte inicial de la simulación la red es cargada aleatoriamente con diferentes porcentajes de inversionistas activos como inactivos y la evolución del autómatas determina su estatus en las diferentes etapas de tiempo.

El mercado de valores es considerado abierto ya que el número de inversionistas cambia dinámicamente con respecto al tiempo.

Suponemos que existen inversionistas que tienen información confidencial y que por tanto su comportamiento tiene cierto sesgo comparado con un inversionista ocasional.

Uno de los elementos importantes para incorporar en la representación del mercado financiero, es la importancia que los agentes otorgan a las decisiones tomadas por los miembros de su mismo grupo de información. Esta particularidad de mercado da origen a un comportamiento tipo manada donde se desarrolla una coordinación no-dirigida.

La dinámica de decisión de los comerciantes activos:

$p_i^k(t) = \pm 1$  para  $i = 1, \dots, N^k(t)$  (donde el superíndice  $k$ , se refiere a la agrupación de orden  $k$  de la configuración de red en paso de tiempo  $t$ ) sigue un proceso estocástico que imita la incertidumbre humana en la toma de decisiones.

Sus valores se actualizan de forma síncrona según una regla probabilista local:

$p_i^k(t+1) = 1$  con  $p_i^k$  probabilidad y  $p_i^k(t+1) = -1$  con probabilidad  $1 - p_i^k$

. La probabilidad  $p_i^k$  es:

$$p_i^k(t) = \frac{1}{1 + e^{-2I_i^k(t)}}$$

donde  $I_i^k(t)$  representa la fuerza promedio del campo de atracción del grupo de influencia del inversionista  $i$  perteneciente al grupo  $k$ .

Todos los individuos de un grupo actualizarán sus probabilidades a la posición que tomarán dependiendo de la fuerza del campo, los agentes tenderán a tomar posiciones de venta sincronizada y viceversa.

El valor de  $I_i^k(t)$  estará dado por:

$$I_i^k(t) = \frac{1}{N^k(t)} \sum_{j=1}^{N^k(t)} A_{i,j}^k \sigma_j^k(t)$$

donde  $N^k(t)$  será el número de agentes pertenecientes a un grupo particular  $k$  y  $A_{i,j}^k$  representa la fuerza de interacción entre los diferentes miembros del grupo. Este último parámetro captura la proporción en la cual los diferentes inversionistas tienden a influenciar en las decisiones de los demás, para tomar sus propias decisiones de compra o venta. El parámetro será calibrado en  $A=1.8$ . Una razón para estar en este rango es que los valores de  $A$  cercanos a cero serían propios de un mercado en el que no existe influencia de los agentes entre sí dado el grupo particular al que perteneces. El sentido de pertenecer a un grupo de información se pierde y por otro lado, para valores por encima de 2.5 la influencia es tan alta que el grupo comienza a comportarse como un único individuo.

En este contexto de la dinámica del índice de precios,  $P(t)$ , se puede derivar fácilmente si asumimos que la variación del índice es proporcional a la diferencia entre la demanda y la oferta:

$$\frac{dP}{dt} \propto xP$$

Se asumirá que el impacto de desajuste oferta-demanda está linealmente relacionado con el movimiento de los precios, Por lo tanto se tendrá que:

$$x(t) = \beta \sum_{k=1}^{N_{cl}(t)} \sum_{i=1}^{N^k(t)} N^i(t) \sigma_i^k(t)$$

Donde  $x$  denota el promedio temporal,  $\sigma$  es la desviación estándar,  $\beta$  es una constante de normalización,  $N_{cl}(t)$  es el número de grupos en la matriz  $N^k(t)$  es el tamaño del grupo  $k$ -ésimo.

Se debe tener en cuenta es que la demanda de los agentes será determinada por el tamaño del grupo al que pertenece. Por lo tanto, grupos más grandes serán considerados con mayor poder transaccional.

## 6.2 Descripción técnica del modelo.

Con respecto a la implementación, se contemplaron los siguientes módulos (figura 6.2.1):

1. Un módulo que recibe la información necesaria para inicializar nuestro autómata, el cual valida que ésta es correcta y se encuentra con las especificaciones requeridas para iniciar la simulación del mercado financiero, revisando su estructura y contenido, esta información es ingresada a través de los parámetros fijados anteriormente.
2. Un módulo de procesamiento de información, el cual contiene el algoritmo que se diseñó específicamente para la simulación del mercado financiero, donde se procesa la información ya validada por el anterior módulo y realizará las iteraciones con el autómata celular para la correcta simulación del sistema.
3. Una interfaz gráfica, que muestra las iteraciones que realice nuestro autómata, la cual cuenta con las siguientes opciones:
  - Cargar Matriz. Esta opción inserta inversionistas, para que estos empiecen a interactuar con el conocimiento del valor siguiente de las acciones financieras, la cual cargara al autómata con valores aleatorios.
  - Opción de ejecutar y detener el programa, de acuerdo a las necesidades del experimento y del investigador.
  - Opción para visualizar gráficas. Podemos ver el valor de las acciones conforme pase el tiempo y cómo se comportan éstas en las diferentes iteraciones, además se muestra la gráfica de número de comerciantes activos respecto al tiempo.
  - Una vez concluido el experimento se analizó toda la información generada.
4. Un módulo que almacene la información mostrada por la interfaz gráfica, así como las gráficas del precio de las acciones y la iteración de los

inversionistas entre ellos, todo esto se almacenó en imágenes, indispensables para su análisis, ver figura 6.2.1



Figura 6.2.1. Interacción entre módulos

### 6.3 Especificaciones técnicas del modelo.

Para la implementación de este proyecto terminal se utilizó:

El lenguaje de programación C#, con el apoyo del entorno de desarrollo Microsoft Visual Studio 2013 ya que permite desarrollar código orientado a objetos; además Visual Studio proporciona herramientas útiles para generar interfaces gráficas fácilmente.

Para crear las interfaces gráficas se utilizó Windows Forms, porque permite crear interfaces gráficas de manera sencilla.

Otra de las razones por la que se usó C# es porque cuenta con una biblioteca de clases llamada ZedGraph que permitió generar gráficas con los resultados del algoritmo a través del tiempo.

Las especificaciones de los datos que se usaron para probar el algoritmo e interfaz son las siguientes:

Se utilizó una retícula con tamaño máximo de 300x300.

Se tomó como suposición que los vecinos que influyen a un inversionista son los que se encuentran a su alrededor.

Los valores iniciales para los parámetros del método de percolación fueron:

$P_d = 0.05$

$P_e = 0.0001$

$P_h$  = Se modificó el parámetro en cada simulación.

El sistema que se diseñó, mostró por medio de simulaciones, la dinámica del comportamiento del mercado de valores arrojando como resultado gráficas de coordenadas cartesianas, estas gráficas, resultantes de la simulación, nos permitieron interpretar los datos que se obtuvieron de las simulaciones con diferentes valores que se ingresaron por la evolución del autómata celular.

## 7. Resultados

---

En esta sección se presentan una serie de simulaciones sobre el modelo implementado, las simulaciones se fijan de acuerdo a los objetivos que se plantearon en este proyecto en donde se muestra el cumplimiento de los objetivos planteados.

El proyecto se dio por concluido cuando en la simulación del autómata celular se reprodujeron características del mercado de valores tales como: la generación de un proceso de percolación entre inversionistas que deseaban pertenecer a núcleos de inversionistas que manejan algún porcentaje de información confidencial, se generó un comportamiento de grupo entre los inversionistas, se reprodujeron burbujas y quiebras financieras producto de la sincronización del grupo de mayor influencia en el mercado de valores.

En cada simulación se observa la matriz con inversionistas distribuidos inicialmente de manera aleatoria, distinguiendo su estado de compra, venta o abstención por los colores azul, rojo y beige respectivamente. Los controles de inicialización se muestran del lado izquierdo y los parámetros para modificar la configuración inicial de los inversionistas se muestran en la parte superior.

Se realizaron diversas simulaciones con diferentes parámetros de entrada, tales como diferentes valores de  $Ph$ , al igual que con diferentes probabilidades de

inversionistas activos al inicio de la simulación, el tamaño de la matriz en todas las simulaciones fue de 300x300 y se fijó en 300 el precio inicial de la acción.

### 7.1 Simulación del mercado de valores con Ph: 0.0493.

Dentro de este caso se utilizó una configuración inicial con el valor de Ph: 0.0493, como se observa en la figura 7.1.1, la matriz muestra una distribución equilibrada entre el número de inversionistas en estado de venta con el número de inversionistas en estado de compra, esto estabiliza el mercado sin causar fenómenos como burbujas o quiebras financieras.

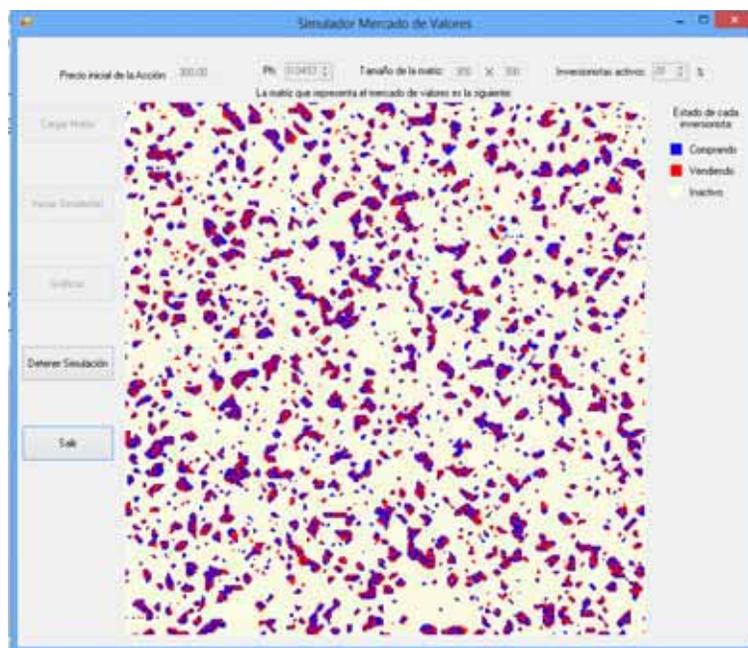


Figura 7.1.1 Simulación con Ph: 0.0493

La grafica resultante después de 3000 iteraciones (figura 7.1.2) muestra que el número de comerciantes activos va aumentando pero no de manera brusca al paso del tiempo, en cada iteración.

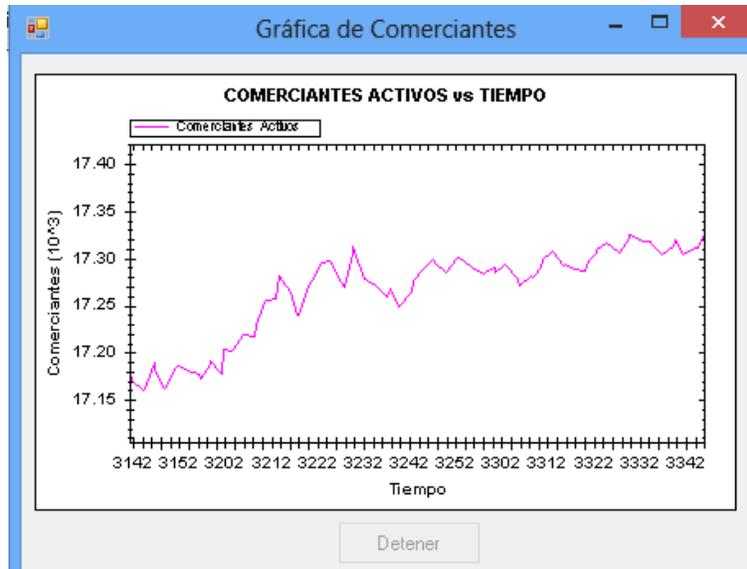


Figura 7.1.2 Comerciantes activos Ph 0.0493

En resultado que muestra la gráfica del precio de la acción (Figura 7.1.3), se puede observar que no se genera ningún movimiento brusco de subida o de bajada del precio de la acción por lo cual se considera el mercado estable.

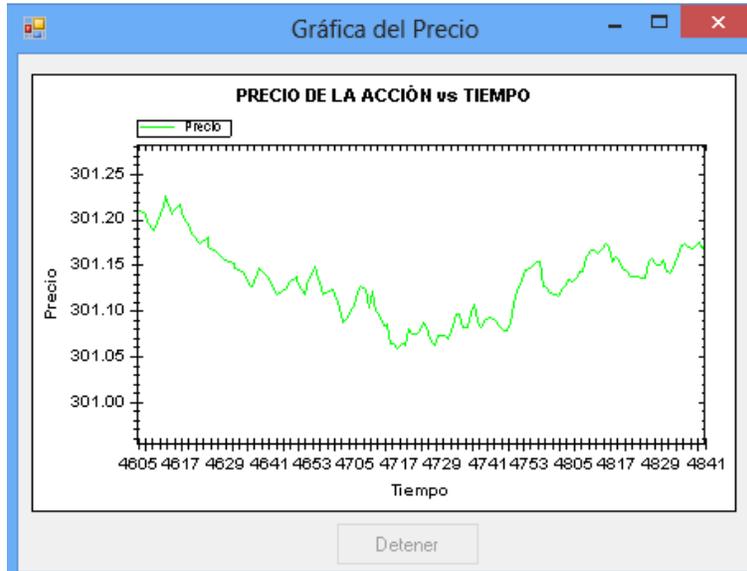


Figura 7.1.3 Precio de una acción Ph 0.0493

## 7.2 Simulación del mercado de valores mostrando una burbuja económica

Dentro de este caso se utilizó una configuración inicial con el valor de  $Ph: 0.0493$ , se cargó aleatoriamente la matriz con un 20% de inversionistas activos, (figura 7.2.1), la matriz muestra una tendencia de compra en los grupos más grandes de inversionistas, al verse una tendencia de compra, el mercado atrae a numerosos compradores en cada grupo, lo cual provoca un aumento progresivo y exagerado en el precio de la acción (figura 7.2.2), este precio está muy por encima de su valor inicial.

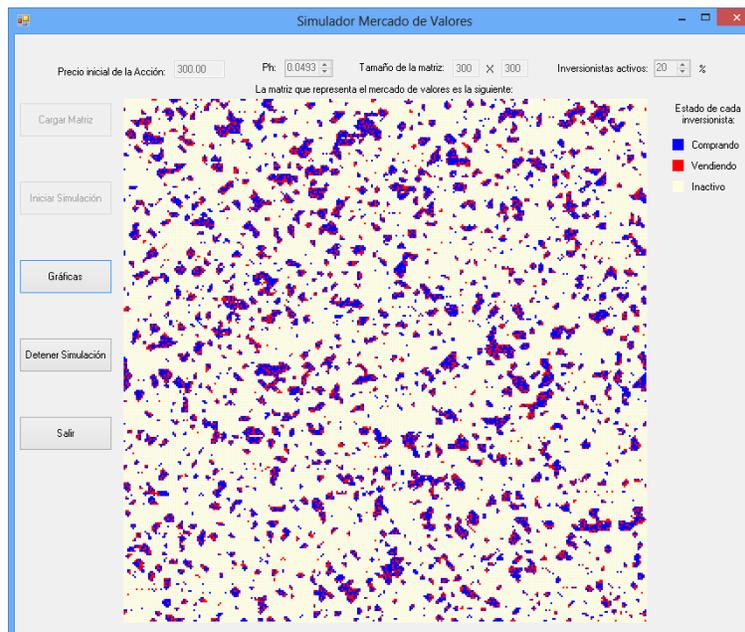


Figura 7.2.1 Simulación de una burbuja financiera



Figura 7.2.2 Precio de una acción durante una burbuja

### 7.3 Simulación del mercado de valores mostrando una quiebra económica

Dentro de este caso se utilizó una configuración inicial con el valor de  $Ph: 0.0493$ , se cargó aleatoriamente la matriz con un 20% de inversionistas activos (figura 7.3.1), la matriz muestra una tendencia de venta en los grupos más grandes de inversionistas, al verse una tendencia de venta, el mercado atrae a numerosos vendedores en cada grupo, lo cual provoca la disminución progresiva y exagerada en el precio de la acción (figura 7.3.2), este precio está muy por debajo de su valor inicial.

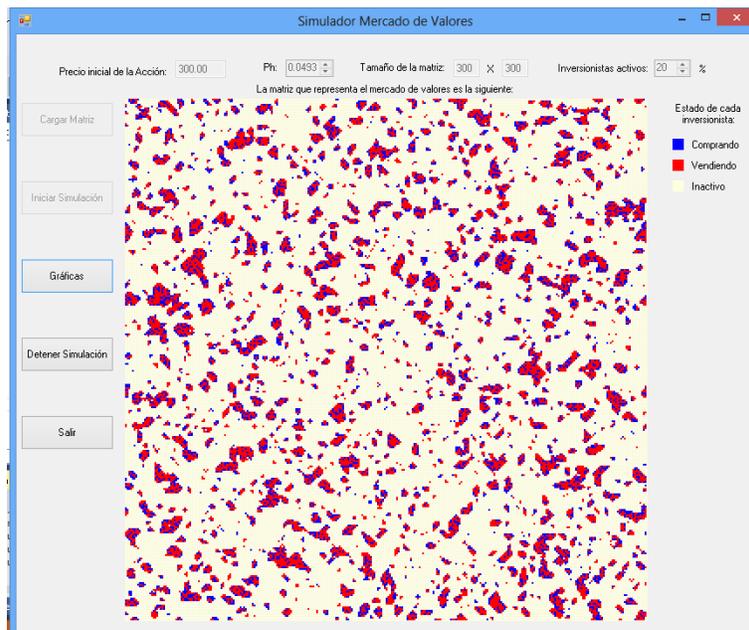


Figura 7.3.1 Simulación de una quiebra financiera



Figura 7.3.2 Precio de una acción durante una quiebra

## 7.4 Simulación del mercado de valores con Ph 0.0499

Dentro de este caso se utilizó una configuración inicial con el valor de Ph: 0.0499, se cargó aleatoriamente la matriz con un 20% de inversionistas activos, el mercado muestra una generación de grupos muy grandes (figura 7.4.1), y conforme pasa el tiempo aumenta notablemente el número de inversionistas activos (figura 7.4.2).

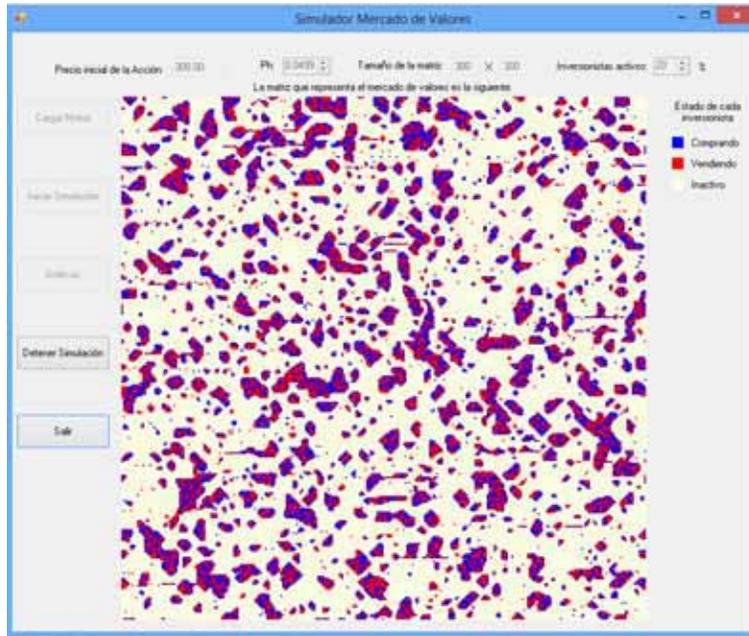


Figura 7.4.1 Comerciantes activos Ph 0.0499

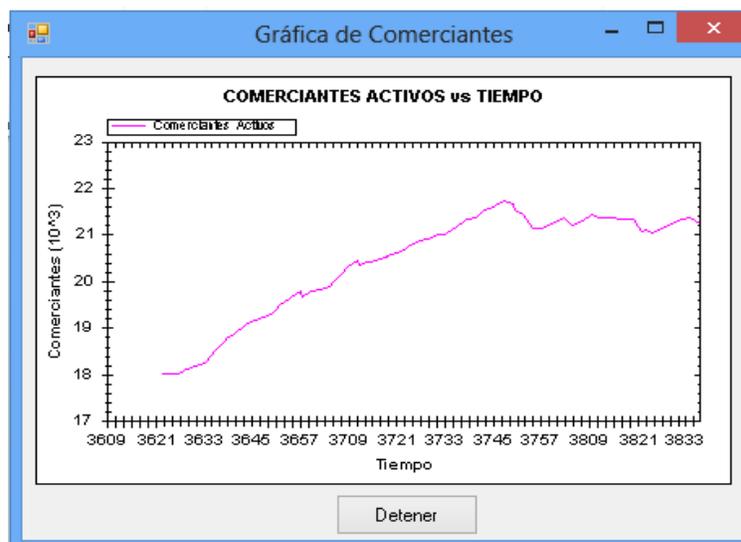


Figura 7.4.2 Precio de una acción Ph 0.0499

## 7.5 Simulación del mercado de valores con Ph 0.0484

Dentro de este caso se utilizó una configuración inicial con el valor de Ph: 0.0484, se cargó aleatoriamente la matriz con un 20% de inversionistas activos, el mercado muestra una generación de grupos muy pequeños (figura 7.5.1), y conforme pasa el tiempo disminuyen notablemente el número de inversionistas activos (figura 7.5.2).

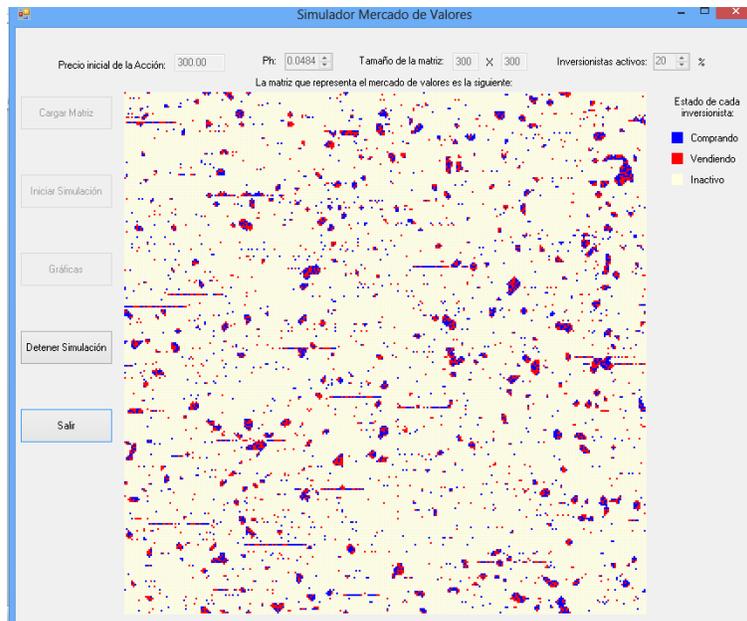


Figura 7.5.1 Comerciantes activos Ph 0.0484

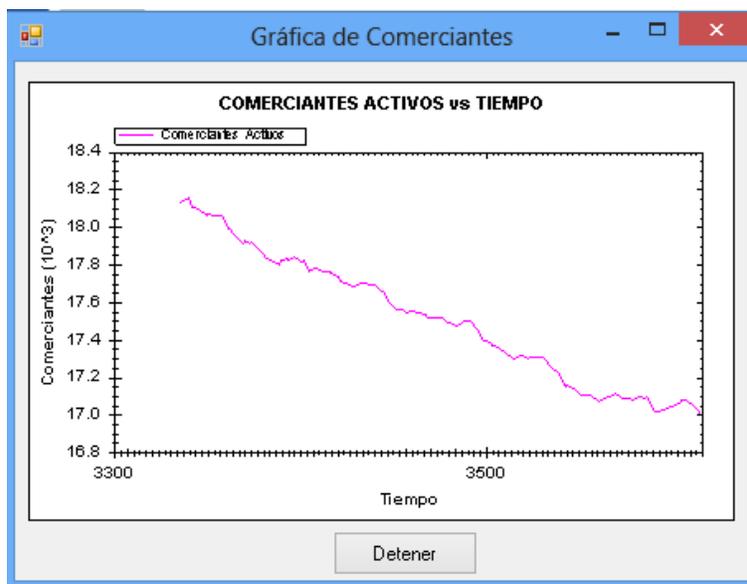


Figura 7.5.2 Precio de una acción Ph 0.0484

## 7.6 Simulación del mercado con 10% inversionistas activos iniciales

Al cargar la matriz con un 10% de inversionistas, no se generan grandes grupos de inversionistas (figura 7.6.1) y el número de inversionistas activos respecto al tiempo tiende a disminuir progresivamente (figura 7.6.2)

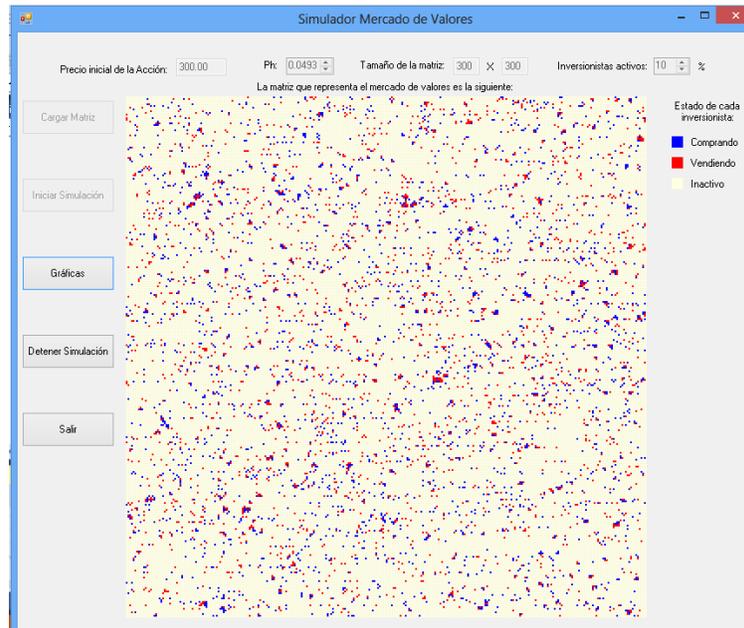


Figura 7.6.1 Comerciantes con 10% activos

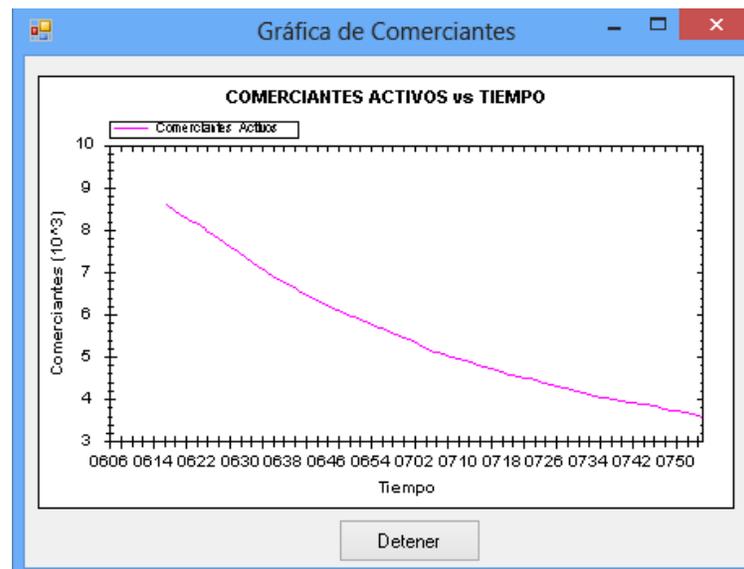


Figura 7.6.2 Comerciantes activos con 10% inversionistas iniciales

## 7.7 Simulación del mercado con 50% inversionistas activos iniciales

Al cargar la matriz con un 50% de inversionistas, se generan grandes grupos de inversionistas (figura 7.7.1) y el número de inversionistas activos respecto al tiempo tiende a incrementar progresiva y exageradamente (figura 7.7.2)

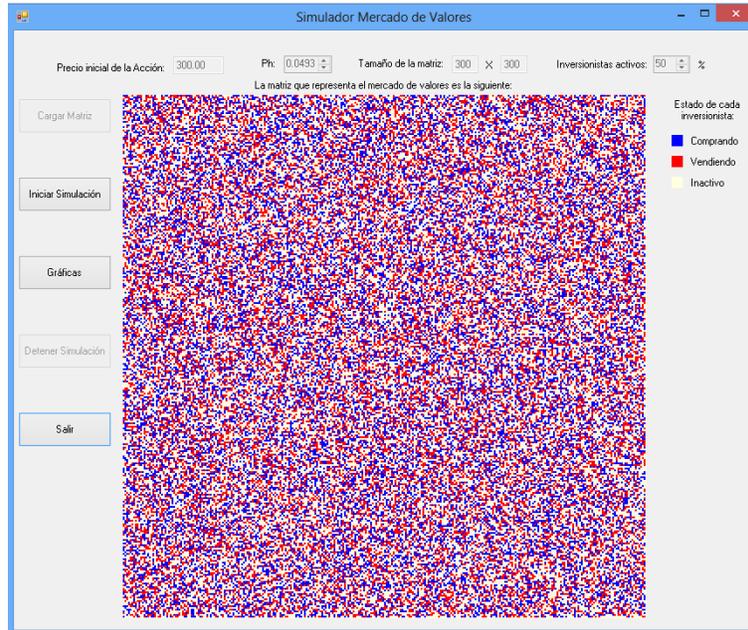


Figura 7.7.1 Comerciantes con 50% activos

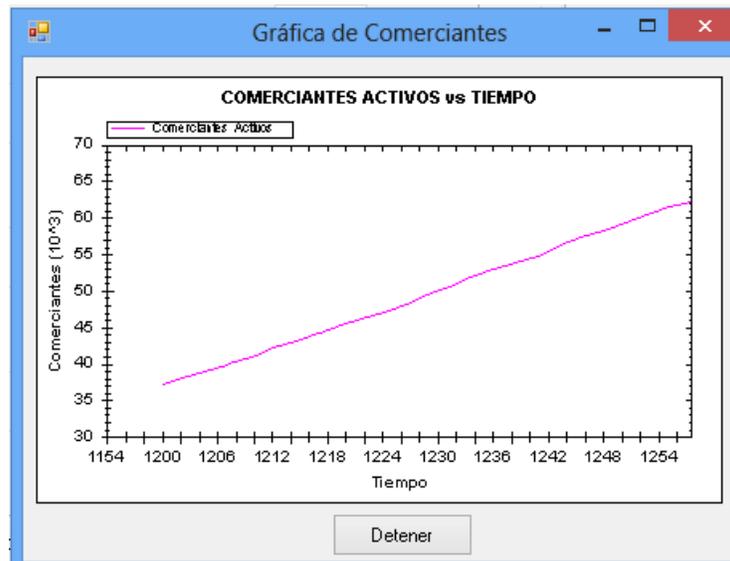


Figura 7.7.2 Comerciantes activos con 50% inversionistas iniciales

## 8. Conclusiones

---

En este proyecto terminal se ha diseñado e implementado un modelo de autómatas celulares para simular la dinámica de un mercado de valores.

Una de las características del modelo es la evolución de los grupos de inversionistas activos y, por tanto, el concepto de un mercado "abierto". Los comerciantes activos siguen una dinámica de percolación directa a fin de agregarse en los grupos para compartir información.

Las simulaciones realizadas muestran quiebras y burbujas las cuales pueden ser interpretadas como una sincronización de la orientación en los grupos de inversionistas más influyentes en el mercado, donde se intercambia la información de acuerdo a la interacción estocástica entre ellos.

Los resultados de las simulaciones muestran evidencia de la conexión entre la presencia de grupos dominante en el mercado y la existencia de movimientos internos en cada grupo. Específicamente, estos movimientos, pueden ser conectados a una coordinación que surge entre los inversionistas en los grupos dominantes.

Así, este proyecto terminal brinda evidencia sobre una fuerte interacción interna entre grupos de inversionistas, lo cual puede propiciar la aparición de burbujas y quiebras en el mercado de valores.

## 9. Referencias bibliográficas

---

- [1] Marco LiCalzi and Paolo Pellizzari, “*Fundamentalists clashing over the book: a study of order-driven stock markets*”, University of Venice, 2002.
- [2] C. Anteneodo and R. Riera, “*Additive-multiplicative stochastic models of financial mean-reverting processes*”, Physical review E 72, Rio de Janeiro, Brazil, 2005
- [3] M. Bartolozzi and A. W. Thomas, “*Stochastic cellular automata model for stock market dynamics*”, physical review E 69, Australia, 2004.
- [4] Sandoval Archila Javier, “*Crashes de mercado. Una aproximación desde el estudio de sistemas complejos y microsimulación*”, Colombia, 2010.
- [5] T. Kaizoji, “*Speculative bubbles and crashes in stock markets: an interacting-agent model of speculative activity*”, Physica A, vol.287, pp. 493-506, 2000.
- [6] J.M. Keynes, “*The general theory of Employment, Interest and Money*”, Harcourt, New York, 1934.
- [7]. Cont, R., Bouchaud, J. P., “*Herd behavior and aggregate fluctuations in financial markets, Macroeconomic Dynamics*”, 2000, 4: 170—196.
- [8]. Lux, T., Marchesi, M., “*Volatility clustering in financial markets*”, Int. J. Theo. Appl. Finance, 2000, 3: 675—702.
- [9]. LeBaron, B., “*Evolution and time horizons in an agent-based stock market, Macroeconomic Dynamics*”, 2001, 5: 225—254.
- [10] YANG Chunxia, WANG Jie, ZHOU Tao, LIU Jun, XU Min, ZHOU Peiling & WANG Binghong, “*Financial market model based on self-organized percolation*”, Chinese Science Bulletin, Vol. 50 No. 19, 2005

- [11] T. Lux, “*Herd Behaviour, Bubbles and Crashes*” Econ. J. 105 (1995) p. 881-896.
- [12] D. Sornette, A. Johansen, J.P. Bouchaud, “*Stock Market Crashes, Precursors and Replicas*”. France 6 (1996) 167-175.
- [13] J.A. Feigenbaum, P.G.O. Freund, “*Discrete scale invariance and the second black Monday*”. Mod. Phys. Lett. B 12, 57 (1998)
- [14] Benoit Mandelbrot, Richard L. Hudson, “*The misbehavior of markets: a fractal view of risk, ruin and reward*”, Basics Books, New York, 2004.
- [15] <<Pagina del banco de México, >> [En línea]. Available: <http://www.banxico.org.mx/divulgacion/sistema-financiero/sistema-financiero.html>
- [16] H. Levy, M. Levy, and S. Solomon, “*Microscopic Simulations of Financial Markets*”, Academic Press, New York, 2000.
- [17] H. J. Jensen, “*Self-Organized Criticality: Emergent Complex Behavior in Physical and Biological Systems*”, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
- [18] R. N. Mantegna and H. E. Stanley, “*An Introduction to Econophysics: Correlation and Complexity in Finance*”, Cambridge University Press, Cambridge, 1999;
- [19] W. Paul and J. Baschnagel, “*Stochastic Processes: From Physics to Finance*”, Springer-Verlag, Berlin, 1999.
- [20] H. Levy, M. Levy, and S. Solomon, “*Microscopic Simulations of Financial Markets*”, Academic Press, New York, 2000.
- [21] D. Sornette, “*fluctuations II: multiplicative and percolation models, size effects and predictions*”, eprint archive, cond-mat/9909439, 1999.

- [22] P. Jorion, "Predicting Volatility in Foreign Exchange Market", *Journal of Finance*, vol. 50, pp. 507–528, 1995.
- [23] U. Frisch, "*Turbulence*", Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- [24] D. Stauffer, "*Introduction to Percolation Theory*", Taylor & Francis, London, 1985.
- [25] J.-P. Bouchard and M. Potters, "*Theory of Financial Risk*", Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- [26] M. Gardner. "The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game life". *Scientific American*, 220(4):120, 1970.
- [27] B. Chopard y M. Droz. "*Cellular automata modeling of physical systems*". Cambridge University Press, 1999.
- [28] Ilachinski, A. "*Cellular Automata: A Discrete Universe World Scientific*", 2001.
- [29] Bar-Yam, Y. "*Dynamics of Complex Systems*". Addison-Wesley, USA, 1997.
- [30] Mitchell M. "Computation in cellular automata: A selected review". *Nonstandard Computation*, pages 95–140, 1998. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft
- [31] Chopard B. and et al. "*Cellular Automata Modeling of Physical Systems*". Cambridge University Press, USA, 1998
- [32] Hoya, White S. and et al. "*Modeling epidemics using cellular automata*". *Applied Mathematics and Computation*, 2006. doi:10.1016/j.amc.2006.06.126.
- [33] Mora Enguádanos, Araceli (2008). "*Diccionario de Contabilidad, Auditoría y Control de Gestión*". Madrid: Eco book. p. 12. ISBN 978-84-96877-23-8.

## Apéndice A: Manual de Usuario

---

El presente manual describe cómo utilizar la interfaz de la aplicación: “Modelado de burbujas y quiebras financieras en un mercado de valores”.

### Requerimientos para su ejecución

Para ejecutar el simulador se necesita una computadora con las siguientes características:

#### Hardware

- Lector de CD
- 2 GB en memoria RAM como mínimo
- Procesador dual core 1,60 GHz o superior

#### Software

- SO Windows 7 o superior
- Microsoft .NET Framework 4.5
- Archivo ZedGraph.dll

Nota: el archivo ZedGraph.dll debe de encontrarse dentro de la misma carpeta que contiene al archivo ejecutable “Matriz.exe”.

#### Ejecutar el simulador

Para ejecutar el “Modelado de burbujas y quiebras financieras en un mercado de valores” se debe ingresar el CD, ingresar a la carpeta “Simulador” y dar doble clic en el icono “Matriz.exe” (Figura A.1), aparecerá la interfaz del simulador.

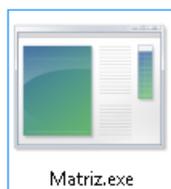


Figura A.1. Icono de la aplicación.

### Primera vista del simulador

El simulador es una interfaz gráfica amigable al usuario de tal forma que el usuario pueda utilizarlo de forma intuitiva desde el principio tal como se muestra en la Figura A.2, y pueda consultar el comportamiento del mercado de valores y visualizar las gráficas de número de inversionistas activos vs tiempo y la gráfica del precio de la acción vs tiempo.

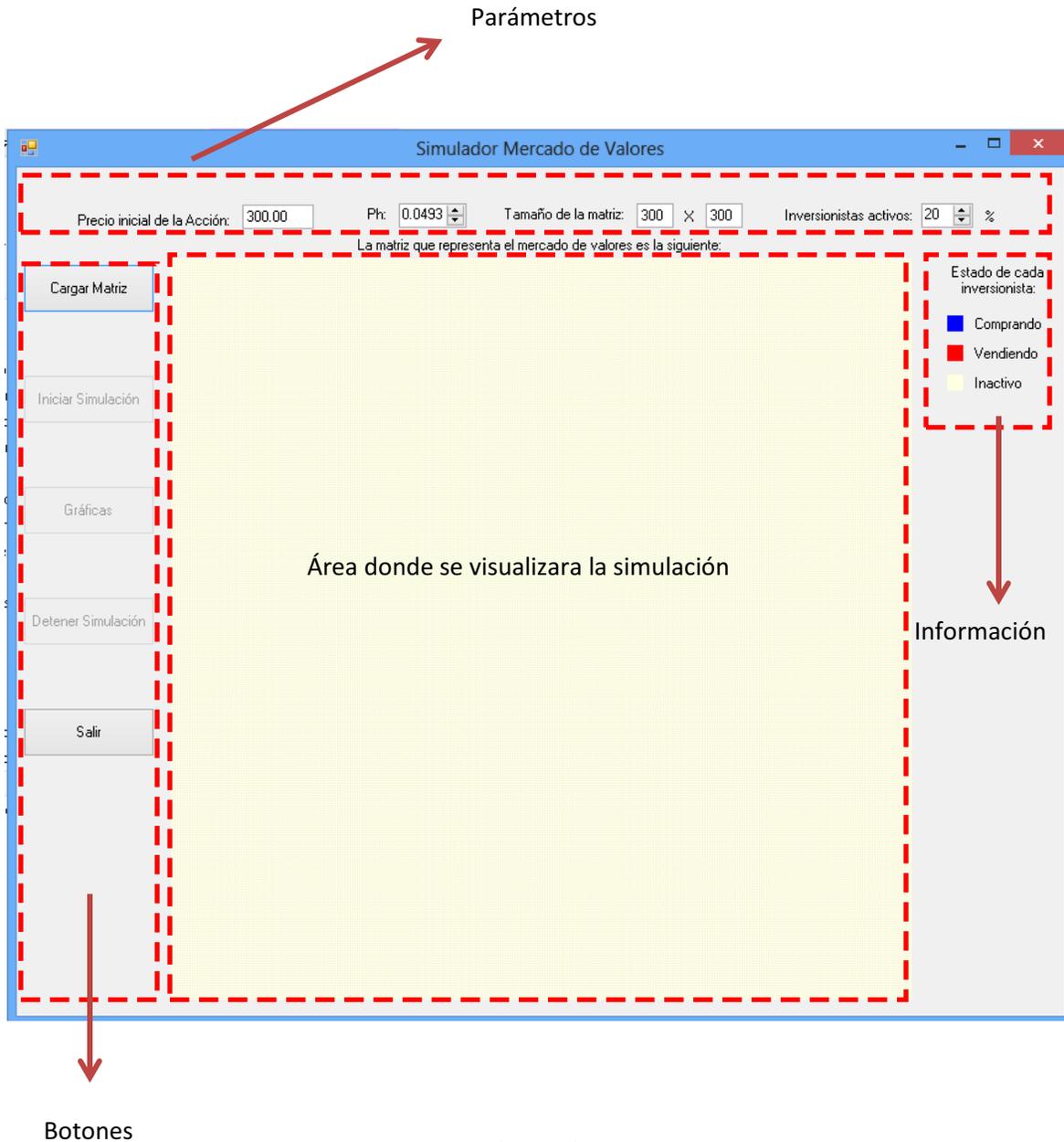


Figura A.2. Interfaz gráfica del simulador

## Controles

Los controles que se muestran al lado izquierdo de la ventana corresponden a los botones para simular el modelo. Se describe cada uno a continuación y se muestran en la Figura A.3.

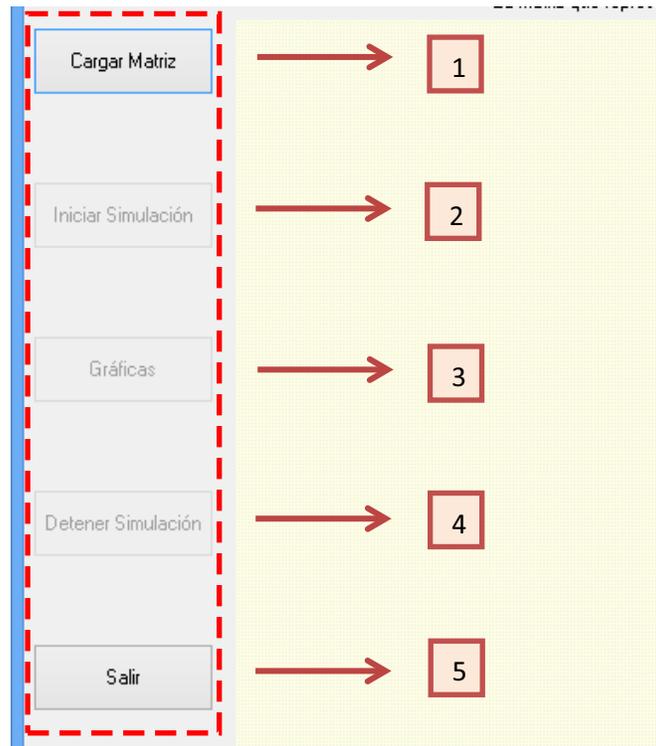


Figura A.3. Botones que se muestran al usuario

### 1.- Botón Cargar Matriz

Carga la matriz de acuerdo al porcentaje de inversionistas activos elegido (Figura A.4), distribuyendo aleatoriamente inversionistas activos sobre toda la matriz.

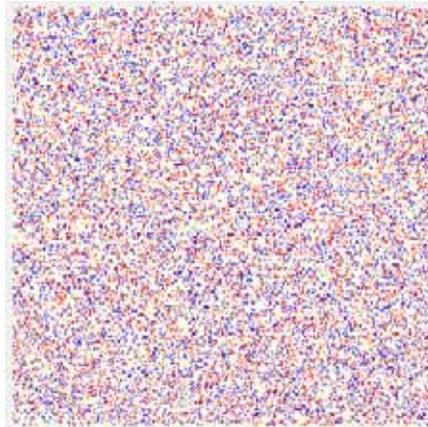


Figura A.4. Matriz Cargada aleatoriamente

## 2.- Botón Iniciar Simulación

Se encuentra desactivado hasta que se presiona el botón Cargar Matriz, al presionar el botón Iniciar Simulación, se ejecuta el modelo de acuerdo a los parámetros configurados inicialmente, en cuanto se presiona se comienza a observar el mercado de valores refrescándose a cada paso del tiempo.

## 3.- Botón Graficas

Se encuentra desactivado hasta que se presiona el botón Cargar Matriz, en cuanto se presiona el botón Graficas se muestra dos gráficas, las cuales, como se puede observar en la Figura A.5, las gráficas corresponden a la evolución del número de inversionistas activos y la evolución del precio.

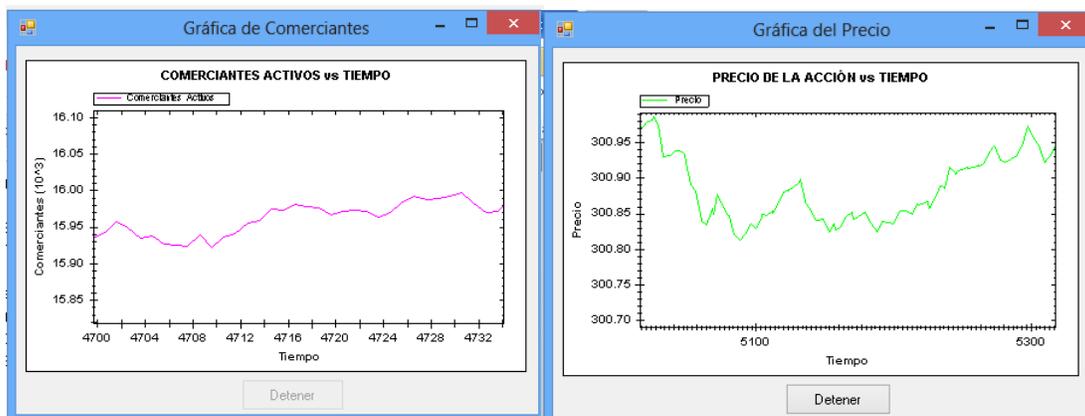


Figura A.5: Ejemplo de graficas

#### 4.- Botón Detener Simulación

Se encuentra desactivado hasta que se presiona el botón Iniciar, al presionar el botón se detiene la ejecución.

#### 5.- Botón Salir

Al presionar el botón se muestra una ventana emergente (Figura A.6) para confirmar que desea salir, al presionar aceptar se cierra completamente la aplicación.

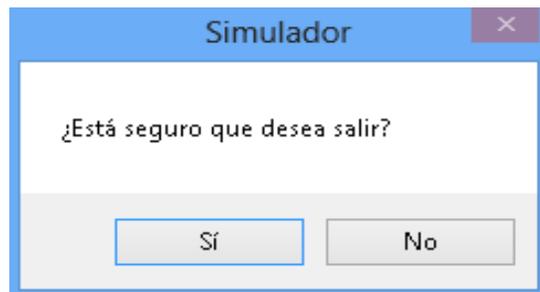


Figura A.6. Confirmar cierre del programa

### Parámetros

Los controles que se muestran en la parte superior de la ventana corresponden a los parámetros del modelo. A continuación se describe cada uno y se muestran en la Figura A.7.

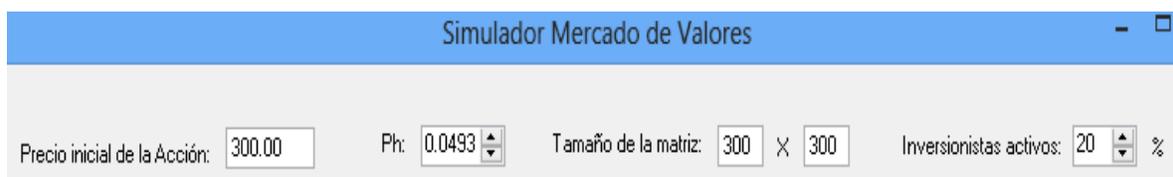


Figura A.7. Parámetros del modelo.

#### I.- Precio inicial de la acción.

Es el precio del activo con el que se iniciará la simulación, comprende valores entre 0 y 10,000, acepta valores decimales como se muestra en la Figura A.8.

Precio inicial de la Acción:

Figura A.8. Precio inicial

## II.- Parámetro Ph.

Hace referencia a la probabilidad de que un agente activo convierta a uno de sus vecinos inactivos en activo en la siguiente etapa de tiempo, acepta los valores de: 0.0499, 0.0496, 0.0493, 0.0490, 0.0487 y 0.0484. Figura A.9.

Ph:

Figura A.9. Parametro Ph.

## III.- Tamaño de la Matriz.

Esta comprendida por dos cajas de texto en la cual se puede configurar inicialmente el tamaño de la matriz que comprenderá el mercado de valores, acepta un tamaño mínimo de 100x100 y un tamaño máximo de 300x300. Figura A.10.

Tamaño de la matriz:  ×

Figura A.10. Tamaño de la matriz

## IV.- Inversionistas Activos

Se configura el porcentaje de inversionistas que estarán activos al comienzo de la simulación, acepta valores que comprenden de 1 a 100. Figura A.11.

Inversionistas activos:  %

Figura A.11. Porcentaje de inversionistas activos.

## Realizar una simulación

Para crear una simulación se deben de seguir los siguientes pasos:

1. Configurar el precio de la accion
2. Configurar el parametro Ph
3. Definir el tamaño de la matriz
4. Definir el porcentaje de inversionistas activos
5. Cargar la matriz en el panel principal
5. Iniciar simulación
6. Observar Gráficas
7. Detener simulación

## Ejemplo de una simulación ejecutandose

Esta simulación ejemplo contiene los parámetros que se observan en las imágenes de este documento, en ella podemos ver el comportamiento de la interacción de los inversionistas dentro de esta simulación (figura A.12) junto con las gráficas que genera (figura A.13).

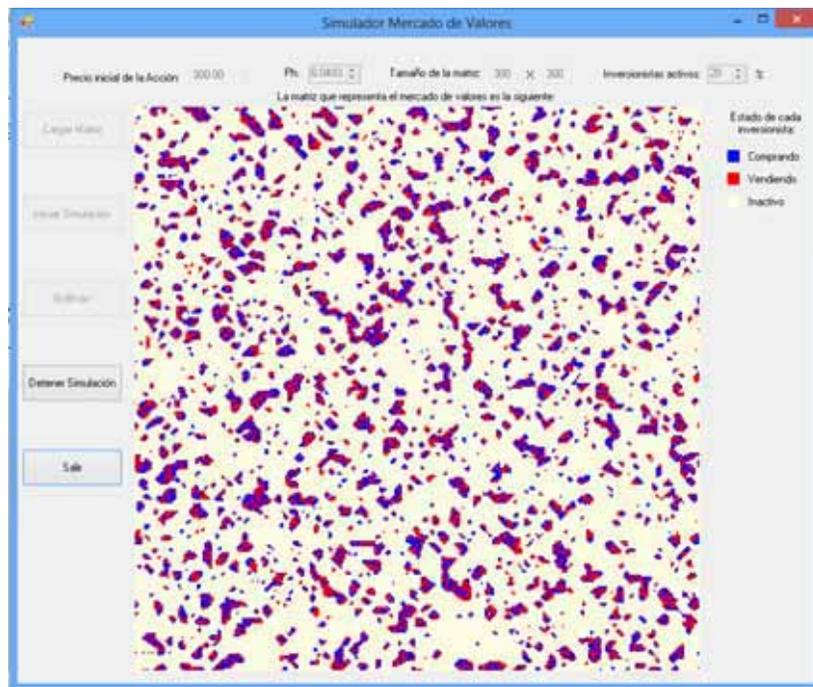


Figura A.12. Pantalla principal de la simulación

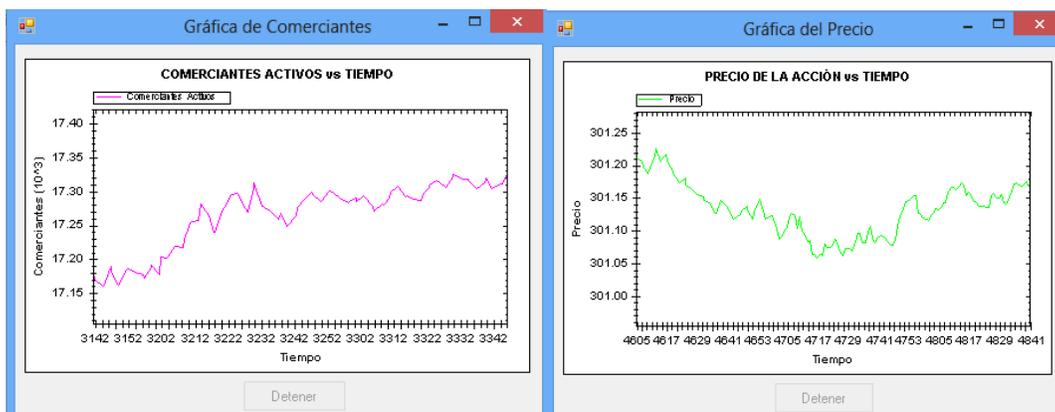


Figura A.13. Pantalla que muestra las gráficas de una simulación