



**VALIDACIÓN EMPÍRICA DE LOS PERFILES DE DECISIÓN DE TRADERS EN  
UN MICROMUNDO DEL MERCADO DE VALORES**

**AUTOR:**

**ANDRES FELIPE RODRIGUEZ PERDOMO**

**DIRECTORES DEL PROYECTO:**

**YENY E. RODRIGUEZ RAMOS**

**FERNANDO A. ARENAS**

**UNIVERSIDAD ICESI**

**FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y ECONÓMICAS**

**ECONOMÍA Y NEGOCIOS INTERNACIONALES**

**SANTIAGO DE CALI**

**2017**

# CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	3
<b>LISTA DE ANEXOS TABLAS Y GRÁFICAS</b> .....	5
<b>RESUMEN</b> .....	6
<b>SUMMARY</b> .....	7
<b>OBJETIVO DEL PROYECTO</b> .....	9
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	9
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	13
<b>2.1 Enfoque de Dinámica de sistemas:</b> .....	14
<b>2.2 Modelado y Simulación:</b> .....	15
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	16
<b>4. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS</b> .....	18
<b>5. MODELOS</b> .....	19
<b>5.1 MODELO BASE DE PROVENZANO</b> .....	19
<b>5.2 MODELO INICIAL RESUMIDO</b> .....	22
<b>5.3 MODELO COMPLETO</b> .....	23
<b>6. SIMULACIÓN:</b> .....	24
<b>7. INTERFAZ INTERACTIVA</b> .....	29
<b>8. RESULTADOS Y CONTRASTES</b> .....	32

<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>35</b>
<b>10. ANEXOS:.....</b>	<b>37</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>43</b>

## LISTA DE ANEXOS TABLAS Y GRÁFICAS

Ilustración 1. Metodología del proyecto.....	16
Ilustración 2. Diagrama causal simplificado de los modelos de decisión .....	20
Ilustración 3. Mecanismo de encaje entre Pro Traders, Trend Followers y cambios de precio .....	21
Ilustración 4. Diagrama causal resumido de los cambios en el precio de un activo bursátil.....	22
Ilustración 5. Resumen de la simulación de algunas variables de control.....	24
Ilustración 6. Ejemplo de una situación problemática en el desarrollo inicial .....	25
Ilustración 7. Ejecución de compras/Ventas.....	27
Ilustración 8. Construcción de tendencias con simulación. ....	28
Ilustración 9. Interfaz del simulador en etapa de desarrollo, desde Stella Architect. Versión para Pro Traders.....	29
Ilustración 10. Vista del simulador interactivo. Contexto.....	30
Ilustración 11. Vista del simulador interactivo. Interfaz interactiva.....	30
Ilustración 12. Precio simulado del petróleo, vs precio real, vs valor fundamental simulado .....	33
Ilustración 13. Compras promedio Trend Followers reales 1 .....	34
Ilustración 14. Compras promedio TF reales sin usuarios inactivos .....	34
Ilustración 15. Modelo final. Trend Followers. Parte I.....	37
Ilustración 16. Modelo final. Trend Followers. Parte II.....	38
Ilustración 17. Modelo final. Pro Traders. Parte I.....	39
Ilustración 18. Modelo final. Pro Traders Parte II y método de encaje .....	40
Ilustración 19. Tabla de resultados típica. Output del simulador interactivo.....	41
Ilustración 20. Tabla de resultados de un usuario exportada a Excel.....	41
Ilustración 21. Introducción de una curva de compras de un usuario real al modelo.....	42

## RESUMEN

Con el fin de comprender mejor el comportamiento de los inversionistas del mercado de valores, para así generar un aporte al entendimiento de esta área investigativa, se busca contrastar los modelos de decisión de estos agentes en la vida real contra lo que predicen modelos teóricos, para así validar empíricamente la teoría que se tiene en otras reconocidas investigaciones en este campo. En términos generales, se busca también poder comprender la dinámica de la riqueza que surge de las interacciones de agentes heterogéneos, estudiando la dinámica inducida por dos de los perfiles de inversión más notables, en medio de un sistema que es afectado por una gran cantidad de variables.

Esto muestra cómo estas estrategias amplifican el ruido del mercado, y causan fenómenos como el exceso de compra o venta, volatilidad, y en general niveles de precios que no son consecuentes con los niveles de escasez, oferta y demanda del activo, sino distorsionados por especulación. Sin embargo, se plantea la existencia de un tipo de inversionista que no se deja llevar por las tendencias, sino que se fija en el valor fundamental del activo, ejecutando operaciones contrarias en momentos de distorsión, aportando a que se mantenga el balance en los mercados.

En este trabajo se desarrolló un modelo de dinámica de sistemas que explica estos mercados, basado en planteamientos de otros investigadores del tema, tomando aquí como caso el petróleo como activo bursátil. Con base en el modelo, se desarrolló un simulador interactivo para recopilar datos empíricos de decisiones de potenciales inversionistas. Los resultados mostraron que el modelo logra explicar a

gran escala el comportamiento de los inversionistas, y así mismo el del mercado, al obtener resultados simulados que concuerdan con los resultados empíricos.

**Palabras clave:**

Dinámica de sistemas, mercados bursátiles, finanzas internacionales, traders, modelos de simulación, teoría de inversión

**SUMMARY**

In order to better understand the behavior of stock market investors, aiming to generate a contribution to the understanding of this research area, we seek to contrast the decision models of these agents in real life, against the prediction of theoretical models, to validate empirically the theory that other well-known investigations have made in this field. In general terms, it is also possible to understand the dynamics of wealth arising from the interactions of heterogeneous agents, studying the dynamics induced by two of the most notable investment profiles, in the context of a system that is affected by a large number of variables.

This shows how these strategies amplify market noise, and cause phenomena such as excess buying or selling, volatility, and generally price levels that are not consistent with the levels of scarce, supply and demand for the asset, but distorted by speculation. However, there is the existence of a type of investor who does not allow himself to be driven by the tendencies, but rather focuses on the fundamental value of the asset, executing opposite operations in moments of distortion, contributing to maintain the balance in the markets.

In this work, a model of systems dynamics was developed to explain these markets, based on approaches of other researchers of the subject, taking here as an example the oil as a stock market asset. Based on the model, an interactive simulator was developed to collect empirical data from potential investors' decisions. The results showed that the model manages to explain the behavior of the investors as well as the market on a large scale, explained by simulated results that are consistent with the empirical results.

**Keywords:**

System dynamics, stock markets, international finance, traders, simulation models, investment theory.

## **OBJETIVO DEL PROYECTO**

Utilizando dinámica de sistemas para modelar y comprender el sistema en el que conviven e interactúan los activos bursátiles, se busca crear una herramienta de simulación que permita obtener evidencia empírica, con el fin de contrastarla con los modelos que han desarrollado otros autores para caracterizar los mercados bursátiles.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar bibliografía que permita definir preguntas o situaciones a través de las cuales podamos conocer cómo deciden los inversionistas.
- Encontrar y comprender modelos de otras investigaciones en el campo de dinámica de sistemas.
- Desarrollar un diagrama causal simplificado, de las variables y relaciones que componen los mercados de valores.
- Modelar el micromundo del mercado de valores con base en el modelo de PowerSim, que se reinterpretará para modelarlo en Stella Professional.
- Simular el movimiento del mercado.
- Desarrollar un simulador interactivo con base en el micromundo.
- Obtener información para caracterizar los perfiles de los inversionistas.
- Contrastar los resultados
- Analizar los datos y concluir.



## 1. INTRODUCCIÓN

A través de una combinación de varias áreas del conocimiento, de las cuales he tenido oportunidad de aprender a lo largo de las carreras de Economía e Ingeniería Industrial, tuve como objetivo desarrollar un proyecto de grado que me permita demostrar mis capacidades profesionales, entregando un resultado de gran valor académico y práctico. En el sentido práctico, no quiero limitar mi trabajo a un documento que termine aquí, sino que busco crear posteriormente una herramienta de análisis para mercados de activos bursátiles, con un nivel de precisión y robustez que sea pertinente para ser utilizado en mi vida profesional.

Para lograr este fin, he decidido utilizar dinámica de sistemas para modelar el mundo en el que interactúan distintos activos bursátiles, ya que considero que esta metodología es la que mejor se podría ajustar a los requerimientos de este proyecto, donde una gran cantidad de variables se interrelacionan generando cambios constantemente; no obstante, otra de las ventajas es la posibilidad de llevar a cabo simulaciones que permitan tener un mejor panorama del comportamiento de los agentes, pudiendo así validar y aportar al mundo académico de investigadores que han profundizado en el tema.

Revisando literatura de trabajos similares, encontramos que no se ha tenido una caracterización de los perfiles de inversionistas muy detallada, de manera que buscamos realizar este trabajo a través del desarrollo de una herramienta de simulación interactiva, que fue dirigida a personas que trabajen como inversionistas en los mercados de valores, o lo sean potencialmente, permitiendo así lograr un mejor entendimiento de qué harían estos agentes ante determinadas situaciones,

para poder hacer una comparación contra lo que estima la teoría, y aportar a la validación empírica de los supuestos que tienen otros modelos.

El modelo en el cual se basa ese trabajo, plantea que existen dos grupos de inversionistas en los mercados bursátiles. El primer grupo, llamado en adelante *Trend Followers*, se caracteriza por tomar decisiones basadas en tendencias de corto y largo plazo de los precios de los activos. Estas tendencias son percibidas por los individuos en el corto plazo al observar los cambios de precio en el presente, y observando los precios históricos que se han tenido en el pasado para construir la tendencia de largo plazo. Si la tendencia es que el precio está subiendo, este grupo compra el activo; en el caso contrario, venden el activo o toman posiciones en corto.

El segundo grupo, denominado *Pro Traders*, se caracteriza por tomar decisiones con base en el valor fundamental del activo, y no la tendencia de su precio. Puntualmente, la relación entre este valor fundamental y el precio, es el determinante para entrar a invertir y también para la dirección de la inversión. Si el precio está creciendo por encima del valor fundamental, indicando sobrecompra especulativa, estos individuos entran a vender el activo (posición contraria al otro grupo), ya que hacen un tipo de arbitraje, basados en la premisa de que el precio tiende a volver hacia su valor fundamental. En caso de que el precio caiga por debajo del fundamental, entrarán a comprar el activo, ya que este se encuentra subvalorado y debería volver a subir.

En consecuencia, los Pro Traders toman decisiones opuestas a los Trend Followers en momentos de distorsión, ayudando a mantener un balance en el mercado, con lo cual se evitan en cierta medida las subidas desmesuradas de precios, o se suavizan las caídas de precios en momentos de pánico del mercado.

## 2. MARCO TEÓRICO

Este trabajo se desarrolló usando como herramienta principal dinámica de sistemas. Siendo así, y considerando que se trata de una metodología que es más conocida en programas de ingeniería, a continuación, se cita una definición tomada de la página web de la System Dynamics Society, la cual es la principal organización no gubernamental internacional, que se dedica a fomentar el desarrollo y uso de la dinámica de sistemas en todo el mundo:

“Dinámica de sistemas es un enfoque asistido por computadora para el análisis y diseño de políticas. Se aplica a problemas dinámicos surgidos en sistemas sociales, gerenciales, económicos o ecológicos complejos -literalmente, cualquier sistema dinámico caracterizado por interdependencia, interacción mutua, retroalimentación de información y causalidad circular-

El campo se desarrolló inicialmente a partir del trabajo de Jay W. Forrester. Su libro seminal *Industrial Dynamics* (Forrester 1961) sigue siendo una declaración significativa de la filosofía y la metodología en el campo. Dentro de los diez años de su publicación, el abanico de aplicaciones pasó de los problemas corporativos e industriales a la gestión de la investigación y el desarrollo, el estancamiento y la decadencia urbanos, los ciclos de mercancías y la dinámica del crecimiento en un mundo finito. Ahora se aplica en la economía, la política pública, los estudios ambientales, la defensa, la construcción de la teoría en las ciencias sociales, y otras áreas, así como su campo de origen, administración. El nombre *dinámica industrial* ya no hace justicia a la amplitud del campo, por lo que se ha generalizado a *dinámica de sistemas*. El nombre moderno sugiere enlaces a otras metodologías de sistemas,

pero los enlaces son débiles y engañosos. La dinámica de sistemas surge de la ingeniería de los servomecanismos, no de la teoría general de los sistemas o de la cibernética (Richardson 1991).

## **2.1 Enfoque de Dinámica de sistemas:**

El enfoque de dinámica de sistemas implica:

- Definición dinámica de problemas, en términos de gráficos a lo largo del tiempo.
- Luchando por una visión endógena y conductual de la dinámica significativa de un sistema, un enfoque hacia el interior de las características de un sistema que por sí mismos generan o exacerban el problema percibido.
- Pensar en todos los conceptos del sistema real como cantidades continuas interconectadas en bucles de retroalimentación de información y causalidad circular.
- Identificación de existencias o acumulaciones (niveles) independientes en el sistema y sus entradas y salidas (tasas).
- Formular un modelo conductual capaz de reproducir por sí mismo el problema dinámico de preocupación. El modelo suele ser un modelo de simulación informática expresado en ecuaciones no lineales, pero ocasionalmente se deja sin cuantificar como un diagrama que captura la estructura de retroalimentación de stock y flujo / causal del sistema.
- Derivar comprensiones y percepciones de políticas aplicables del modelo resultante.

- Implementación de los cambios resultantes de los entendimientos basados en modelos.

## 2.2 Modelado y Simulación:

Matemáticamente, la estructura básica de un sistema formal de dinámica de sistemas de simulación por computador es un sistema de ecuaciones diferenciales (o integrales) de primer orden, acoplado y no lineal.

$$\frac{d}{dt}x(t) = f(x, p)$$

Donde  $x$  es un vector de niveles (stocks o variables de estado),  $p$  es un conjunto de parámetros, y  $f$  es una función vectorial no lineal.”

En cuanto al sistema en el cual se enmarca este trabajo, considerar los elementos que lo conforman resulta fundamental para hacerse una idea de cómo funciona. De una manera resumida, se puede hablar de una interrelación de activos en un mundo globalizado, donde se da un encuentro entre oferta y demanda que determina los precios y cantidades transadas de distintos tipos de activos. Esta oferta y demanda, a su vez, se determinan por la interacción de agentes del micromundo, entre los cuales encontramos según la literatura, traders profesionales y traders seguidores de tendencias<sup>i</sup>, así como en la práctica distintas entidades que agrupan a estos traders, tales como comisionistas de bolsa, bancos, fondos de cobertura, fondos de inversión colectiva, gobiernos, entre otros.

Citando a Brigard & Urrutia Abogados, en su “Guía del mercado de valores” (2014), tenemos que:

“El sistema financiero es el conjunto de instituciones y operaciones a través de las cuales se transfieren recursos disponibles para depositar o invertir, a las empresas que los requieren para sus proyectos. El sistema financiero comprende el mercado bancario, también llamado intermediado, y el mercado de valores, también llamado desintermediado. En el mercado bancario la transferencia de recursos de los sectores superavitarios a los sectores deficitarios tiene lugar a través de entidades que actúan como intermediarios financieros que, separada e independientemente, se relacionan con los depositantes y con quienes requieren financiación.”

### 3. METODOLOGÍA

*Ilustración 1. Metodología del proyecto.*



*Fuente: Elaboración propia para la exposición del proyecto de grado.*

Con fines ilustrativos, para la exposición de este proyecto de grado se realizó el esquema de la ilustración 1, en el cual se nombran las etapas que tuvo este proyecto. El primer paso comprendió una extensiva revisión de literatura en el primer semestre de este trabajo, que luego derivó en la necesidad de entender los modelos que plantearon otros autores para describir los mercados bursátiles utilizando

dinámica de sistemas. Posteriormente, fue de gran utilidad matricular y cursar la materia electiva profesional Dinámica de sistemas de la facultad de ingeniería, un paso que inició en el segundo semestre el proyecto y para el cual fue necesario aprender a un ritmo más proactivo, con el objetivo de poder avanzar en el desarrollo de este proyecto antes de terminar el semestre.

Utilizando varias herramientas de software, que iniciaron con Venzim PLE, luego Powersim y finalmente Stella Professional y Stella Architect, se hicieron modelamientos que posteriormente serían verificados ejecutando simulaciones. Este trabajo de modelado, sin embargo, no terminó al iniciar las simulaciones, sino que se siguió trabajando en paralelo con las demás etapas, con fines de realizar ajustes, mejoras y correcciones. Más adelante se explicarán los modelos. En cuanto a las simulaciones, éstas resultaban una actividad de gran importancia pues permitían evaluar la salud del modelo, ya que al poder observar los resultados que este producía, o cómo se movían las variables, era posible identificar si el mercado simulado se comportaba de una manera consecuente con lo que debería.

El reto principal de este trabajo, y quizá el mayor aporte que le podría hacer a futuras investigaciones en el campo, es el desarrollo de la herramienta interactiva de simulación. Con el objetivo de poder recolectar datos reales de potenciales inversionistas, se debía desarrollar una herramienta a la medida que pudiera ser operada por individuos de prueba y entregar datos a la investigación. Más adelante se explicará este proceso con más detalle.

Finalmente, el modelo fue adecuado utilizando Stella Architect para poder recibir datos reales en ciertas variables clave, con lo cual se pudo introducir los datos



reales recolectados, y volver a correr las simulaciones. El siguiente paso en esta metodología fue contrastar los resultados de las simulaciones iniciales y las que incluían datos reales, para así llegar a concluir.

#### **4. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS**

En los modelos que plantearemos más adelante en este trabajo, buscamos responder al interrogante ¿El planteamiento de los tipos de traders que se han mencionado, resulta correcto para simular un mercado que sea consistente con la realidad?, por lo que de manera consecuente planteamos una hipótesis que buscaremos demostrar, la cual se define a continuación.

**H<sub>0</sub>:** No existe relación entre la realidad de los mercados, y los dos perfiles de inversionistas. No es posible caracterizar a los inversionistas reales en estos dos perfiles.

**H<sub>1</sub>:** Existe relación entre los mercados y éstos dos tipos de inversionistas. Los inversionistas en realidad sí pertenecen en general a alguno de estos dos perfiles.

De esta forma, buscamos rechazar la hipótesis nula, según la cual las variables del modelo no resultan ser significativas a nivel global, puesto que esto indicaría que el modelo no logró explicar lo que sucede en la realidad.

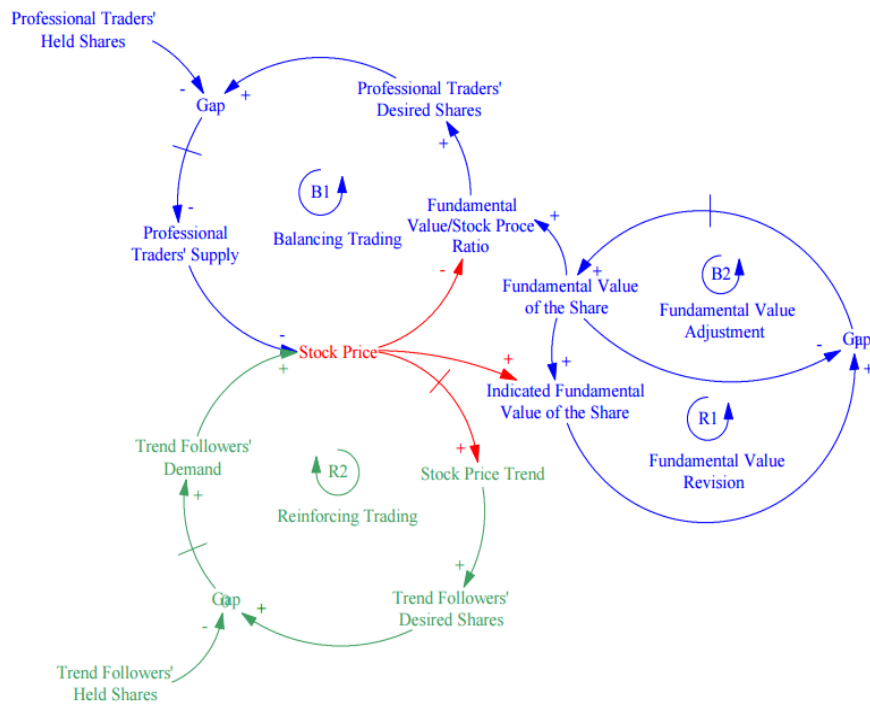
## **5. MODELOS**

Como describíamos en la parte inicial de este trabajo, identificamos con el mayor detalle posible todas las variables que podrían explicar el comportamiento de los traders, sin dejar de lado la convención de que, al tratarse de un modelo, es una simplificación de la realidad y por ende queda abierta la posibilidad de, bien sea profundizarlo con más tiempo y/o recursos, o recibir sugerencias o críticas para el mismo.

### **5.1 MODELO BASE DE PROVENZANO**

A partir de una extensiva revisión bibliográfica, encontramos que el trabajo de Davide Provenzano en “An Artificial Stock Market In A System Dynamics Approach” es una pieza fundamental para entender, como su nombre lo dice, el mercado accionario desde un enfoque de dinámica de sistemas. En esta investigación, Provenzano plantea el siguiente diagrama causal para el precio de una acción (ilustración 2). en medio de un conjunto más extenso que luego mostraremos:

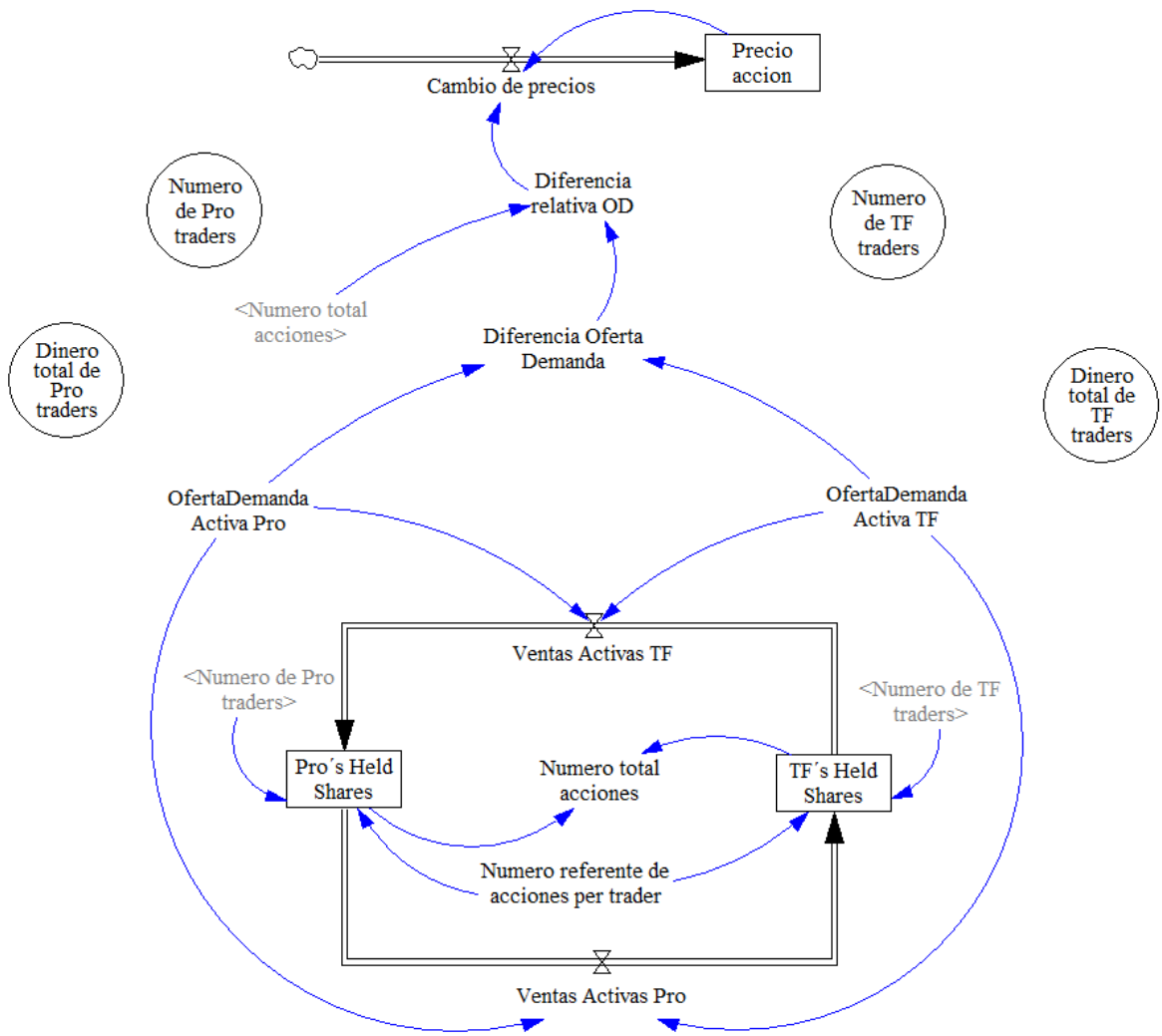
Ilustración 2. Diagrama causal simplificado de los modelos de decisión



Fuente: Provenzano, Davide. 2002. An artificial stock market in a system dynamics approach

Así mismo, este autor plantea también un mecanismo a través del cual la interacción entre sus dos tipos de traders genera los cambios en los precios que podemos observar. En la ilustración 3, se puede apreciar el mecanismo por medio del cual se determinan los cambios en el precio del activo. De acuerdo con este, la diferencia relativa entre la oferta y demanda, se manifiesta a través de las compras o ventas activas totales de cada grupo de traders, las cuales también afectan otras variables del modelo, como por supuesto el número de unidades que tienen los traders. Los cambios en las cantidades demandadas y ofertadas, generan cambios en los niveles de oferta y demanda, y por ende en el precio, que es endógeno en el modelo.

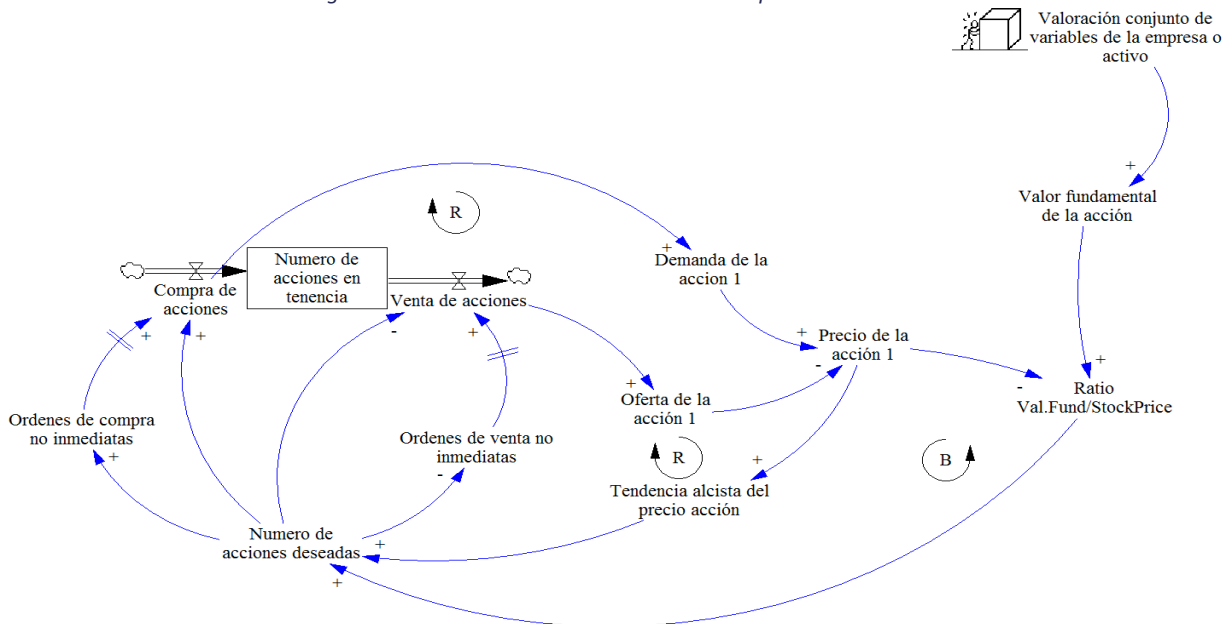
Ilustración 3. Mecanismo de encaje entre Pro Traders, Trend Followers y cambios de precio



Fuente: Elaboración propia en Venzim PLE, con base en el modelo planteado por Davide Provenzano.

## 5.2 MODELO INICIAL RESUMIDO

Ilustración 4. Diagrama causal resumido de los cambios en el precio de un activo bursátil.



Fuente: Elaboración propia en Venzim PLE.

En este trabajo, partimos del diagrama anterior, en el cual se encuentra resumida de cierta manera lo que Provenzano plantea en la parte de su trabajo que se observa en el punto 5.1.

Aquí, los Pro Traders desean más acciones cuando la razón Valor Fundamental/Precio crece, mientras que los Trend Followers quieren comprar cuando el precio muestra una tendencia alcista. En los casos inversos, éstos buscan vender o mantenerse por fuera del mercado.

Consecuentemente, las comprar y ventas manifiestan indirectamente los cambios en la oferta y demanda del activo, y a partir de éstos cambios surgen las variaciones en el precio del activo, las cuales podrían generar un comportamiento cíclico.

### **5.3 MODELO COMPLETO**

Al final de este documento, como anexo, se expone el modelo que se considera en este trabajo como el mecanismo de encaje entre la oferta y la demanda, los compradores, vendedores e intermediarios, y cómo estas relaciones determinan el cambio en los precios de una acción. Los ejes fundamentales de este modelo son las variables en las cuales se basan las decisiones de los agentes.

En el caso de los Trend Followers, se tienen dos grupos de indicadores que generan información de tendencias, en el corto y largo plazo. Con base en las tendencias, que se derivan de los movimientos del precio, estos agentes determinan el grado de atraktividad que tiene invertir en el activo en cada momento del tiempo, decidiendo dejar de ser un observador (Trader inactivo) para convertirse en un trader activo y adquirir unidades de la acción.

Para los Pro Traders, es atractivo entrar a transar el activo bursátil, cuando su precio de mercado presenta una divergencia con respecto a su valor fundamental. De presentarse este caso, implicaría que el activo se está transando a un precio generado por sobre compras o sobre ventas, lo cual es una oportunidad para que el pro trader entre al mercado en contra de la tendencia, motivado por adquirir el activo mientras éste vuelve a su valor real, lo cual le permitiría obtener ganancias, además balanceando implícitamente el mercado.

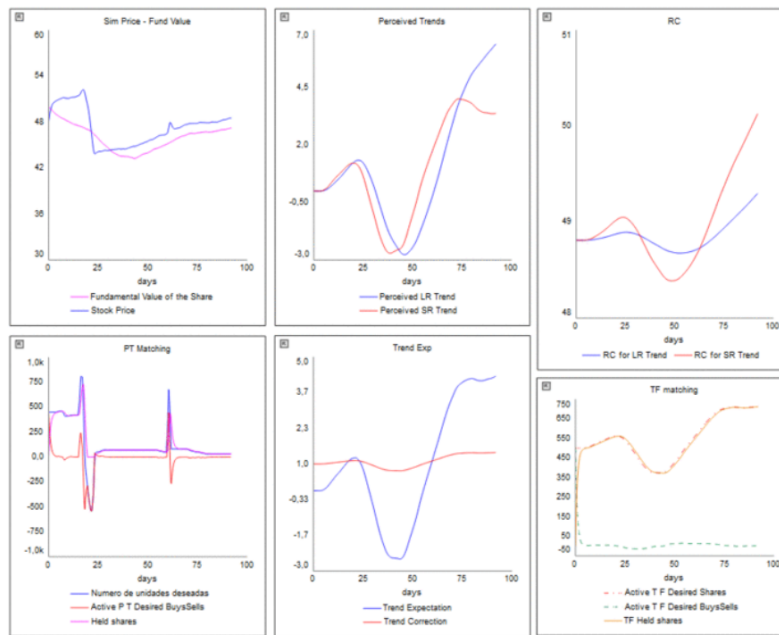
Este concepto de balance, surge justamente del supuesto de que los dos grupos de traders toman decisiones opuestas, motivados por los anteriores puntos. Si los trend followers buscan comprar, los pro traders teóricamente buscarían vender, y viceversa.

## 6. SIMULACIÓN

Se llevaron a cabo varios ajustes en el modelo para implementar correctamente el petróleo WTI como el activo protagonista. Tras haber concluido estos, se corrió el modelo obteniendo resultados congruentes con la realidad, indicando que los ajustes se implementaron de manera correcta.

Ilustración 5. Resumen de la simulación de algunas variables de control

# DESARROLLO DEL MODELO



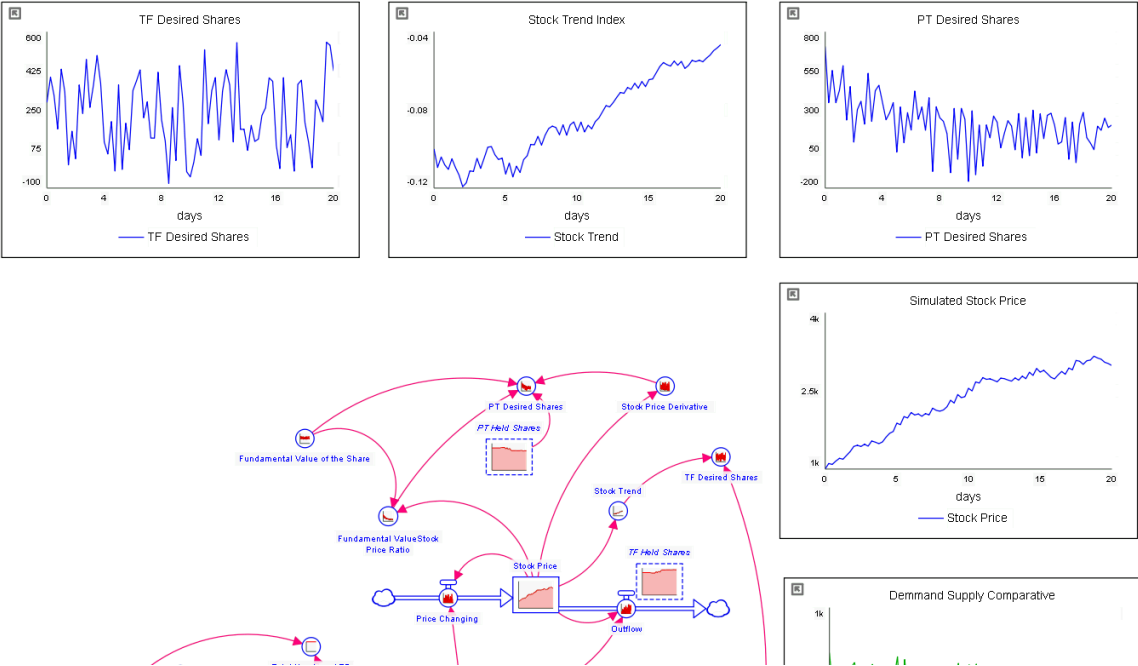
Fuente: Elaboración propia para la exposición del proyecto de grado. Gráficas obtenidas simulando el modelo del proyecto en Stella Professional.

El proceso de ajustes del modelo no fue para nada sencillo. En este, constantemente eran necesarias varias correcciones en la medida en que se agregaban nuevas variables o se replanteaba alguna relación. La ilustración 5 es una muestra de los resultados de las simulaciones que se llevaban a cabo constantemente para verificar la consistencia del modelo. La ilustración 6 es un

ejemplo de un punto en el que las unidades deseadas por ambos grupos, estaban moviéndose de manera atípica y extremadamente volátil tras la implementación de unos nuevos ajustes al modelo. Al observar que tal comportamiento no era consecuente con la realidad, se entraba a analizar cada variable y relación que afectara ese resultado, para llevar a cabo la corrección correspondiente.

Era una labor que cada vez tendía a incrementar en su grado de dificultad, puesto que el modelo se hacía más robusto al avanzar el proyecto, comprendía más variables, y esto implicaba que el proceso de encontrar un error requeriría una revisión más exhaustiva. (La ilustración fue tomada en un momento en que el activo en cuestión no era el petróleo WTI como fue utilizado en la versión final)

Ilustración 6. Ejemplo de una situación problemática en el desarrollo inicial



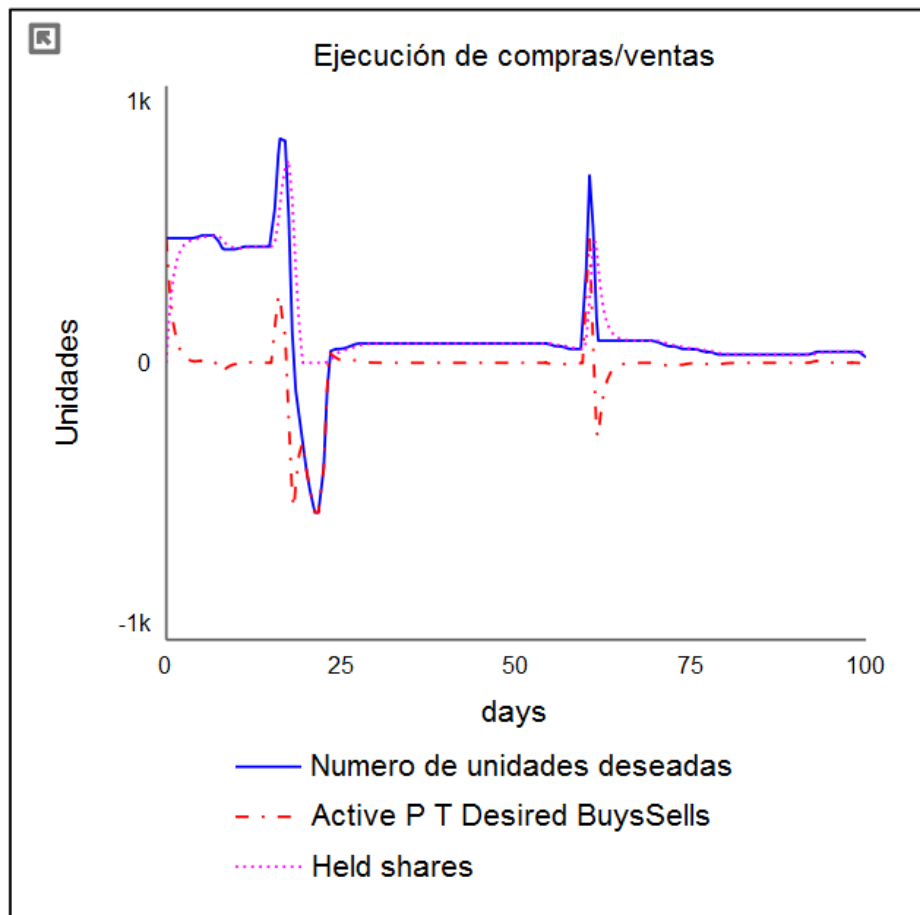
Fuente: Elaboración propia en Stella Professional.

Aparte de las variables anteriores, la ejecución de compras y ventas, junto al número de unidades en tenencia, son variables que permiten apreciar parte del correcto



funcionamiento del modelo. Al simular utilizando unidades de los usuarios de la interfaz, se llegaba en todos los casos a que el modelo era capaz de generar en todos los periodos, una cantidad de unidades a comprar tal que la tenencia de unidades llegara al nivel que lo pedía el usuario. Como se puede ver en la ilustración 6, Held Shares y Número de Unidades deseadas llevan líneas casi idénticas, exceptuando el hecho de que los deseos de los usuarios es una variable discreta, que puede pasar de valores altos a 0 en un solo periodo, mientras que la tenencia de unidades y su compra, se plantean como continuas en el modelo, generando una suavización en las curvas que es la única divergencia. Esta podría reducirse alterando los parámetros de demoras y tiempos de ajuste en el modelo, sin embargo, los cambios no serían de gran relevancia.

Ilustración 7. Ejecución de compras/Ventas

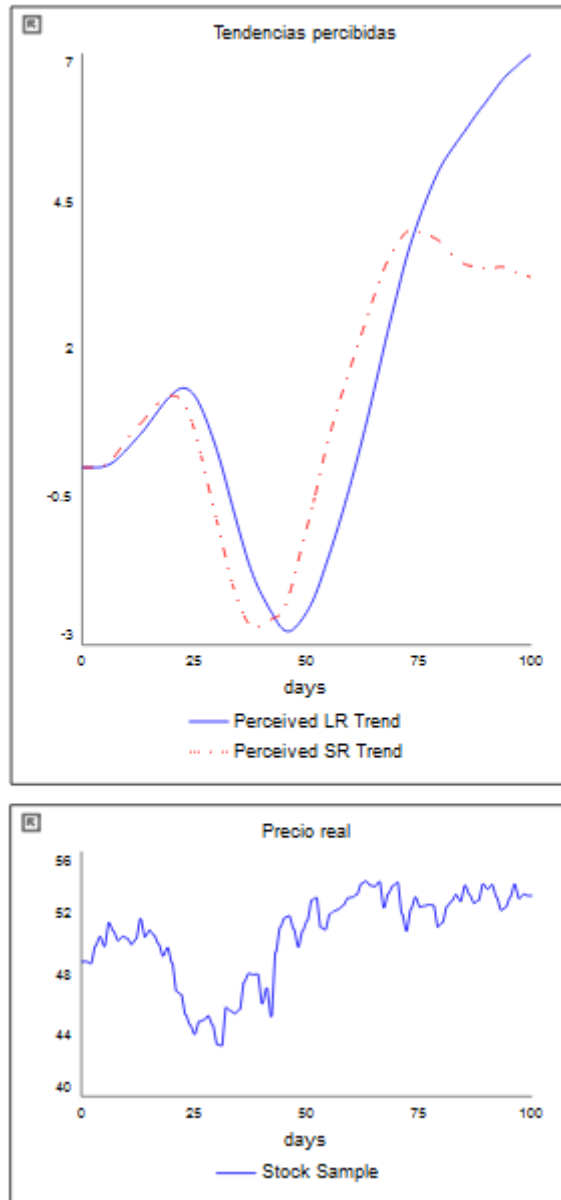


Fuente: Elaboración propia en Stella Professional.

En cuanto a la construcción de tendencias, se logró hacer los ajustes pertinentes para que el modelo pudiera generar percepciones correctas ante los distintos tipos de variación en precios. En la siguiente imagen se observa cómo el modelo logra simular una tendencia en el corto plazo y en el largo plazo que resultan congruentes con las curvas que dibujaría un trader si se le pidiera caracterizar la tendencia del activo en cuestión. Cuando se presentó un periodo de tendencia a la baja, disminuyeron los valores en la curva de corto y largo plazo, mientras que, al llegar al punto de inflexión y cambio de tendencia, las curvas de tendencia percibida retoman pendiente positiva. En los periodos finales se genera una divergencia más

notable entre la tendencia de corto y largo plazo, donde la de largo plazo es más optimista que su compañera.

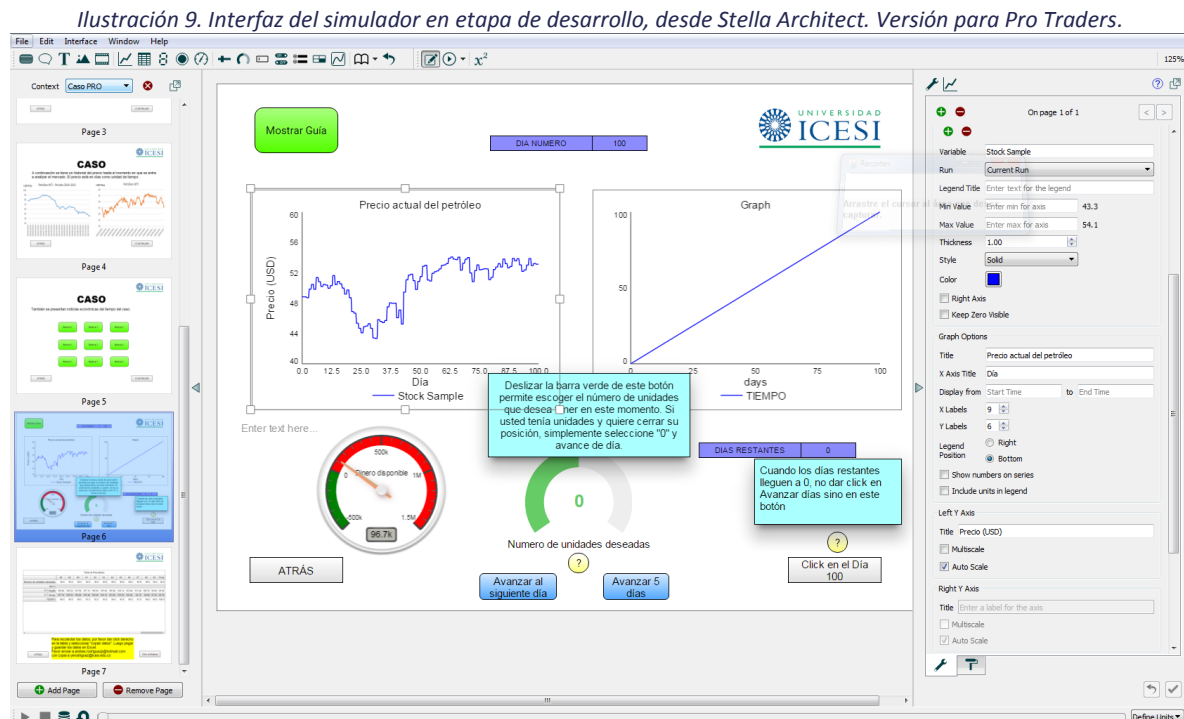
Ilustración 8. Construcción de tendencias con simulación.



Fuente: Elaboración propia en Stella Professional.

## 7. INTERFAZ INTERACTIVA

En línea con el objetivo de recoger información real, se planteó el desarrollo de una interfaz interactiva que simulara un mercado de acciones o de algún otro activo bursátil, donde los usuarios pudieran comprar o vender en diferentes periodos de tiempo. Dado que se plantea la existencia de dos tipos de traders en el modelo, existen dos versiones del simulador, donde la diferencia radica en que una de ellas tiene noticias económicas relacionadas con el activo, mientras que la otra solamente tiene información de precios anteriores en el largo plazo y en el corto plazo.



*Fuente: Elaboración propia en Stella Architect.*

La ilustración 9 muestra una parte de lo que fue el proceso de desarrollo del simulador. En esta imagen se puede apreciar una etapa intermedia del simulador interactivo, y a la izquierda se observan miniaturas de la contextualización que veía el usuario.

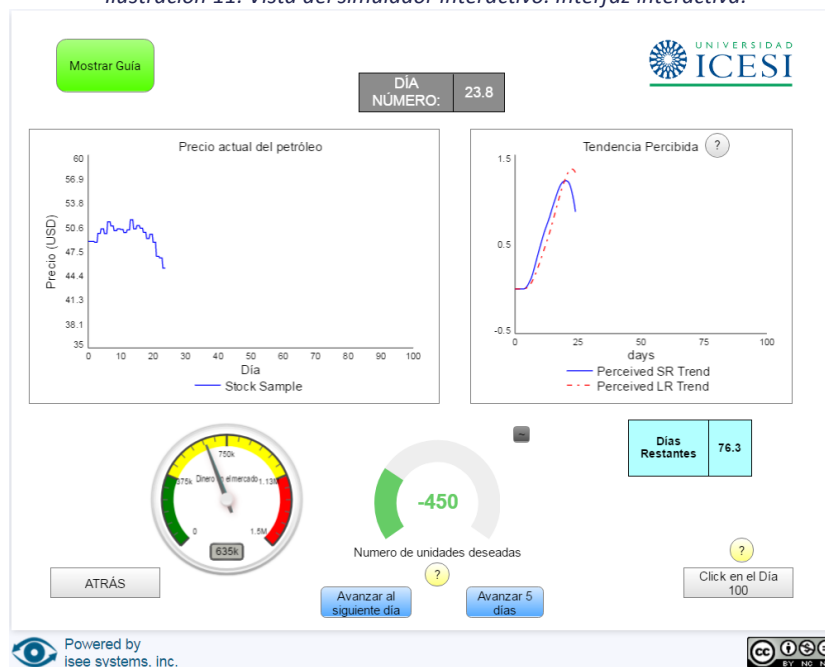
Ilustración 10. Vista del simulador interactivo. Contexto



Fuente: Elaboración propia en Stella Architect. Visualización online desde IseeExchange.

Utilizando Stella Architect, se crearon las interfaces correspondientes, logrando un resultado que resultara comprensible por personas que no conocen de dinámica de sistemas, pero sí tienen experiencia en inversiones acorde con su perfil.

Ilustración 11. Vista del simulador interactivo. Interfaz interactiva.



Fuente: Elaboración propia en Stella Architect. Visualización online desde IseeExchange.

Los datos se pudieron recolectar de manera remota gracias al uso de la plataforma Isee Exchange, que permite poner el simulador en línea, de forma que el usuario puede utilizarlo desde su explorador de internet. Para recoger los datos, al final del ejercicio se entregaba una tabla de resultados, los cuales son fácilmente exportables a Excel para su almacenamiento y posterior envío.

A través de los resultados de los usuarios, es posible promediar las curvas que contienen las decisiones para llegar a una curva media por perfil de trader, lo cual también se puede hacer obteniendo un patrón de curva mediana. Con esta información, se puede alimentar el modelo en las variables “Número de unidades deseadas”, tanto en la sección de pro traders como Trend Followers, y así ejecutar la simulación nuevamente, con uno de los dos grupos de agentes siendo reemplazado por decisiones reales.

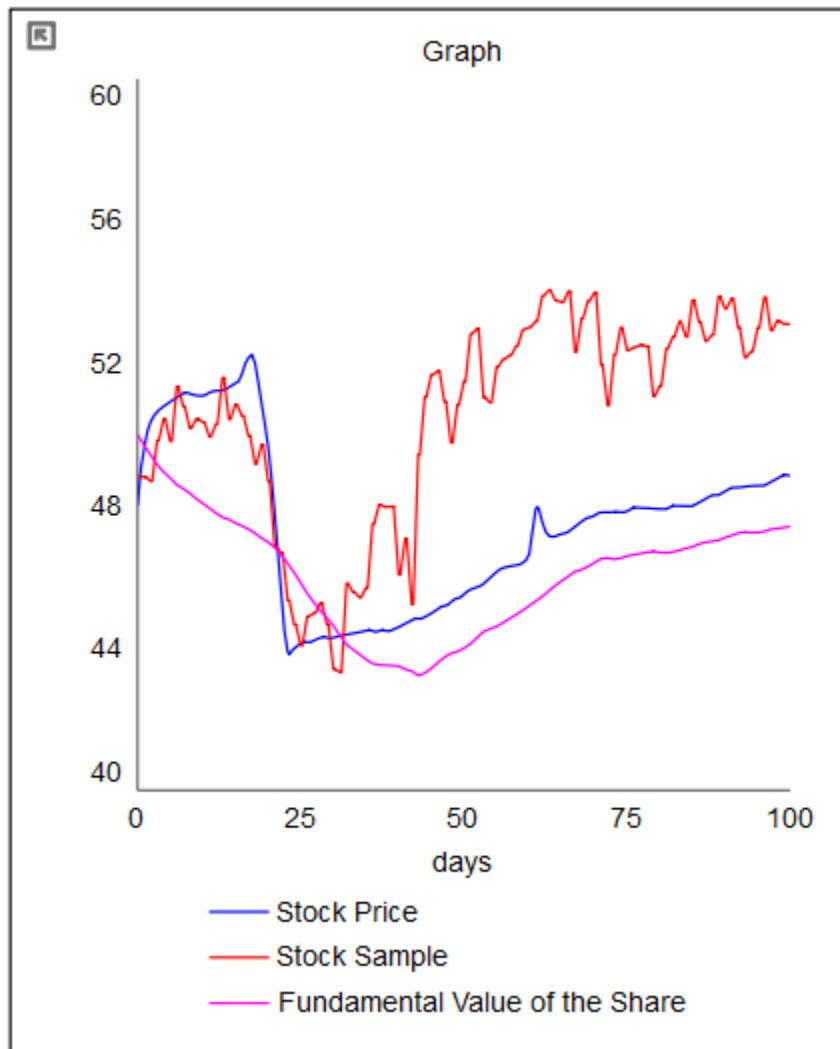
## 8. RESULTADOS Y CONTRASTES

En el momento, de esta simulación, se utilizó la curva de compras de uno de los usuarios del simulador como muestra. Este input se podía introducir en la variable PT Desired Shares o TF Desired Shares, la cual representaba el número de unidades deseadas en cada momento del tiempo para los pro traders y trend followers respectivamente.

En la siguiente gráfica se puede ver uno de los resultados más interesantes del caso. Tras haber introducido el número de unidades deseadas de una curva real para Pro Traders, obtenida con el experimento, el precio de la acción simulada y su valor fundamental respectivo, muestran un movimiento muy consecuente con lo que fue el precio de la realidad.

A partir de las tendencias que observaban los Trend Followers simulados, se generaron patrones de compras que complementaron los datos reales con la información necesaria para que el precio del modelo cayera en el momento en que lo hizo el real, y posteriormente se recuperara volviendo a subir de la misma forma que sucedía en la realidad.

Ilustración 12. Precio simulado del petróleo, vs precio real, vs valor fundamental simulado



Fuente: Elaboración propia. Gráficas obtenidas simulando el modelo del proyecto en Stella Professional.

En el caso en que los Pro traders eran simulados, y los Trend Followers eran la parte en la que se introducían las decisiones reales, los resultados fueron análogos, mostrando también que se llegaba a un resultado simulado que resultaba consecuente con la realidad.

A continuación, se muestra la curva promedio de compras de los usuarios del simulador que pertenecen al grupo de Trend Followers. Al obtener esta, se encontró que se perdía mucha significancia cuando en un día había varios usuarios que no tenían abierta ninguna posición (ilustración 12). Para solucionar esto, se obtuvo una



gráfica del promedio de compras únicamente de los usuarios activos (ilustración 13), ya que, de acuerdo al planteamiento del modelo, el estado de activo o inactivo era una parte considerable para su funcionamiento, y al hacer la corrección, la gráfica se suaviza y se reduce la dispersión de los datos. Por usuarios activos se refiere a aquellos que tienen una posición abierta en el momento de tiempo observado, es decir, cuyo número de unidades en tenencia es diferente de cero.

Ilustración 13. Compras promedio Trend Followers reales 1

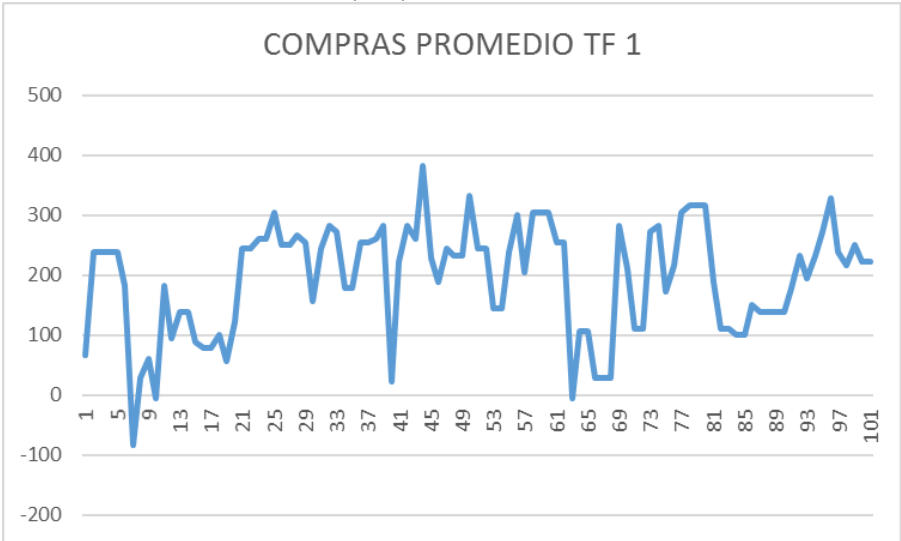


Ilustración 14. Compras promedio TF reales sin usuarios inactivos



Fuente: Elaboración propia en Excel, promediando los outputs del simulador interactivo.

## 9. CONCLUSIONES

El trabajo que se llevó a cabo para este proyecto de grado, estuvo lleno de aprendizajes en medio de un gran reto como lo fue aprender dinámica de sistemas, sobre todo llegar a dominar el área en menos de un semestre, incluyendo el reto de aprender a utilizar los 4 softwares principales que se mencionaron en la metodología, y que fueron necesarios para lograr los objetivos planteados.

Todo lo que se planteó en este proyecto, permitió llegar a un resultado muy impactante que no se esperaba para nada: El modelo fue capaz de simular el mercado con un muy alto grado de consistencia. No sólo se logró ejecutar simulaciones que obtuvieran tendencias correctas para el precio en el corto y largo plazo, así como obtener las variaciones en el valor fundamental del activo, sino que se logró llegar a un precio simulado que sigue muy de cerca los movimientos reales de este activo. Es decir, con sólo el input del precio inicial del petróleo (momento inicial del periodo analizado), y permitiendo al modelo observar las compras y ventas promedio de los usuarios reales y las tendencias en las cuales se basaron, el precio simulado logró mimetizar el precio real, descartando por supuesto la volatilidad natural de un activo bursátil.

El modelo, tanto al incluir datos completamente simulados, como al mezclar éstos con valores reales de decisiones de usuarios del simulador, llegó a resultados que satisfacen las lógicas del mercado.

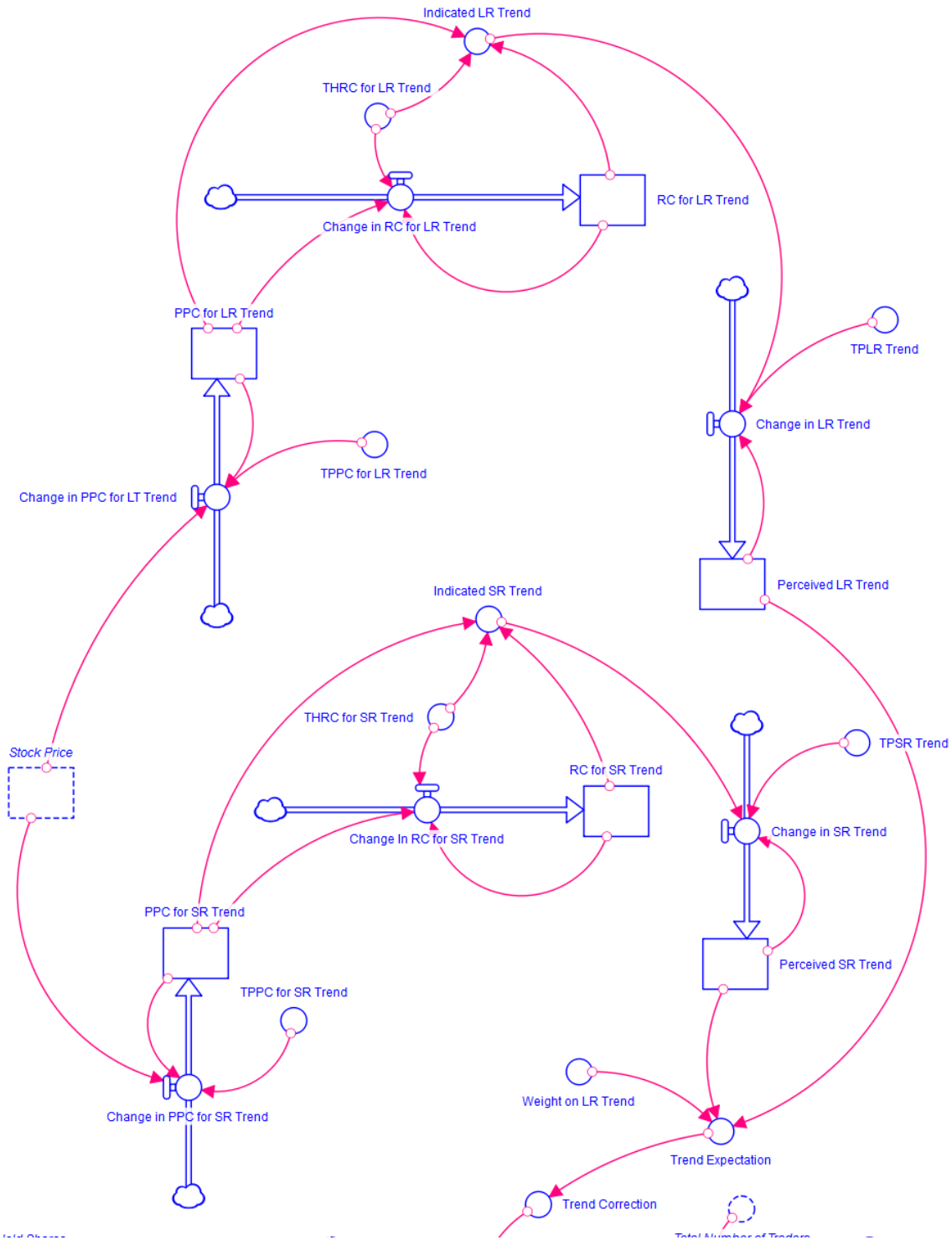
El desarrollo de la plataforma interactiva requirió una gran cantidad de tiempo, y estuvo rodeado de contratiempos derivados de la escasez de la licencia del último

software necesario (sólo un computador de un profesor la tiene, y es muy costosa), pero se logró coordinar y superar los contratiempos para lograr cumplir los objetivos dentro del marco de tiempo establecido. Esto no hubiera sido posible sin el apoyo de mis tutores Yeny E. Rodriguez Ramos y Fernando A. Arenas, quienes me apoyaron en gran medida desde sus respectivas áreas de especialización, a los cuales les agradezco enormemente.

# 10. ANEXOS

## Modelo detallado:

Ilustración 15. Modelo final. Trend Followers. Parte I



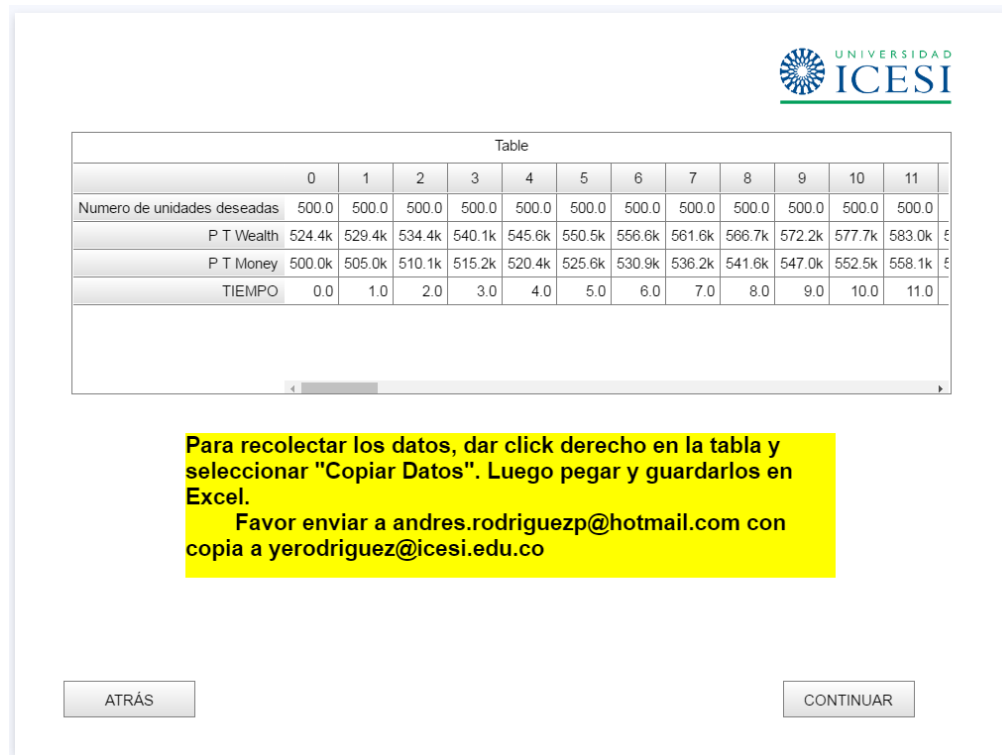







## Tabla de resultados típica:

Ilustración 19. Tabla de resultados típica. Output del simulador interactivo.





	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Numero de unidades deseadas	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0
P T Wealth	524.4k	529.4k	534.4k	540.1k	545.6k	550.5k	556.6k	561.6k	566.7k	572.2k	577.7k	583.0k
P T Money	500.0k	505.0k	510.1k	515.2k	520.4k	525.6k	530.9k	536.2k	541.6k	547.0k	552.5k	558.1k
TIEMPO	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0

**Para recolectar los datos, dar click derecho en la tabla y seleccionar "Copiar Datos". Luego pegar y guardarlos en Excel.  
 Favor enviar a [andres.rodriquezp@hotmail.com](mailto:andres.rodriquezp@hotmail.com) con copia a [yerodriguez@icesi.edu.co](mailto:yerodriguez@icesi.edu.co)**

Fuente: Captura de pantalla del simulador en línea, desde Isee Exchange

## Tabla de resultados de un usuario exportada a Excel:

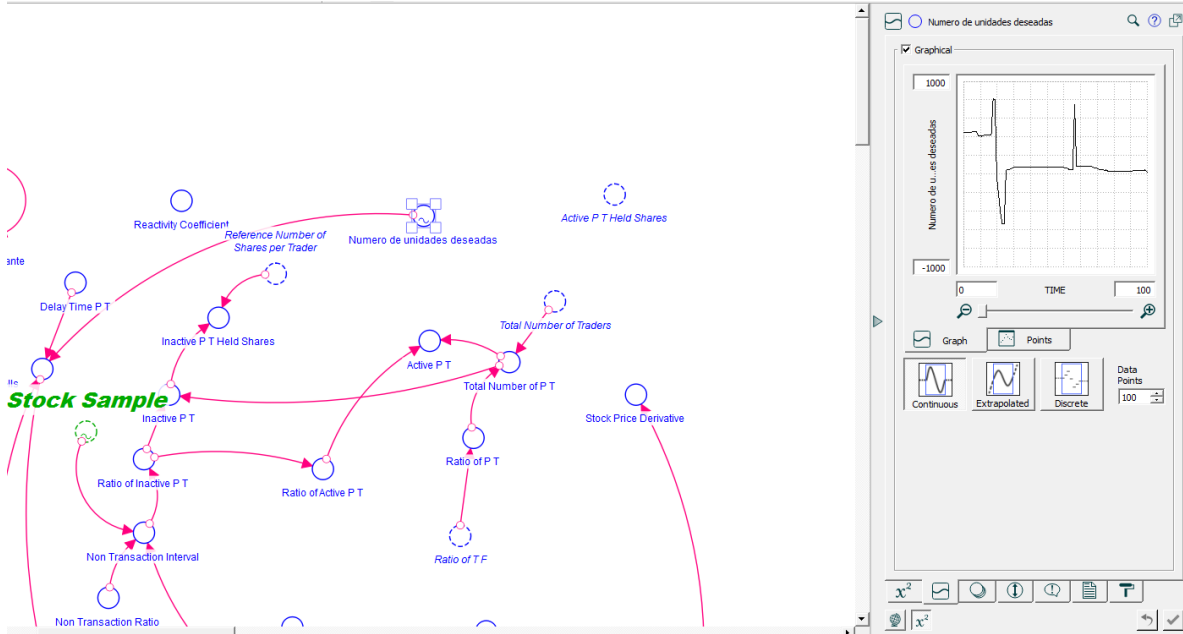
Ilustración 20. Tabla de resultados de un usuario exportada a Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		0	1	2	3	4	5	
2	Numero de unidades deseadas	0.0	1.0k	1.0k	1.0k	1.0k	1.0k	-1.0k
3	P T Wealth	524.4k	529.4k	534.4k	540.1k	545.6k	550.5k	556.6k
4	P T Money	500.0k	505.0k	510.1k	515.2k	520.4k	525.6k	530.9k
5	TIEMPO	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
6								
7								

Fuente: Datos exportados desde Isee Exchange a Excel, obtenidos con la operación de un usuario del simulador.



Ilustración 21. Introducción de una curva de compras de un usuario real al modelo



Fuente: Captura de pantalla del modelo en Stella Profesional

## 11. BIBLIOGRAFÍA

Brigard & Urrutia Abogados (2014). Guía del mercado de valores. Recuperado el 14 de marzo del 2017, <http://bu.com.co/sites/default/files/documentos/guia-del-mercado-de-valores.pdf>

System Dynamics Society (2015). Introduction to System Dynamics. Recuperado el 14 de marzo del 2017, <http://www.systemdynamics.org/what-is-s/>

Provenzano, Davide (2002). An artificial stock market in a system dynamics approach. 20Th System Dynamics Conference. Recuperado el 16 de noviembre de 2016, <http://www.systemdynamics.org/conferences/2002/proceed/papers/Prove1.pdf>

Extrapolating Expectations: An Explanation for Excess Volatility and Overreaction  
Getmansky, Mila y Papastaikoudi, Jannette (2002). Sloan School of Management, MIT, Recuperado el 16 de noviembre de 2016, <https://pdfs.semanticscholar.org/de91/7793ceed34e0c1140474fa6f65c39925208f.pdf>

Bertsimasa, Dimitris y Pachamanovab Dessislava (2008) Robust multiperiod portfolio management in the presence of transaction costs. Computers & Operations Research, Recuperado el 20 de octubre del 2016, <http://www.mit.edu/~dbertsim/papers/Robust%20Optimization/Robust%20Multiperiod%20Portfolio%20Management%20in%20the%20Presence%20of%20Transaction%20Costs.pdf>

Özgün, Onur y Barlas, Yaman (2015) Effects of systemic complexity factors on task difficulty in a stock management game 2015. Recuperado el 20 de octubre del 2016,

[https://www.deepdyve.com/lp/wiley/effects-of-systemic-complexity-factors-on-task-difficulty-in-a-stock-CslpOELqs0?impressionId=57e05eff26fa4&i\\_medium=mydeepdyve&i\\_campaign=readLater&i\\_source=readLater](https://www.deepdyve.com/lp/wiley/effects-of-systemic-complexity-factors-on-task-difficulty-in-a-stock-CslpOELqs0?impressionId=57e05eff26fa4&i_medium=mydeepdyve&i_campaign=readLater&i_source=readLater)

Trang, Do Thi Van (2015). The forecast for precious metal indexes and precious metal ETFs: an artificial neural network analysis. Int. J. Bonds and Derivatives, Vol 1, No. 3. Recuperado el 20 de octubre del 2016,

[https://www.deepdyve.com/lp/inderscience-publishers/the-forecast-for-precious-metal-indexes-and-precious-metal-etfs-an-ZSQEOLT9iH?impressionId=57e05ed3709f8&i\\_medium=mydeepdyve&i\\_campaign=readLater&i\\_source=readLater](https://www.deepdyve.com/lp/inderscience-publishers/the-forecast-for-precious-metal-indexes-and-precious-metal-etfs-an-ZSQEOLT9iH?impressionId=57e05ed3709f8&i_medium=mydeepdyve&i_campaign=readLater&i_source=readLater)

U Celikyurt, S Özekici (2006). Multiperiod portfolio optimization models in stochastic markets using the mean-variance approach. Recuperado el 10 de octubre del 2016,

<https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/multiperiod-portfolio-optimization-models-in-stochastic-markets-using-XAlYNAO0IT?articleList=%2Fsearch%3Fquery%3Dmultiperiod%2Bportfolio>

Duan Li, Wan-Lung Ng (2000). Optimal Dynamic Portfolio Selection: Multiperiod Mean-Variance Formulation. Recuperado el 10 de octubre del 2016,

<https://www.deepdyve.com/lp/wiley/optimal-dynamic-portfolio-selection-multi-period-mean-variance->

[dPwJR200y6?articleList=%2Fsearch%3Fquery%3Dmulti-period%2Bportfolio](https://www.deepdyve.com/lp/wiley/optimal-dynamic-portfolio-selection-multi-period-mean-variance-dPwJR200y6?articleList=%2Fsearch%3Fquery%3Dmulti-period%2Bportfolio)

Shuai Shao, Li-qun Yang, Yuan-biao Zhang, Zhi-hui Meng (2015). A Modified Markowitz Multi-Period Dynamic Portfolio Selection Model Based on the LDIW – PSO. Recuperado el 10 de octubre del 2016,

[https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja](https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjK7vz2u5zPAhUFPiYKHW3yBQIQFgg-)

[MAM&url=http%3A%2F%2Fwww.ccsenet.org%2Fjournal%2Findex.php%2Fijef%2Farticle%2Fdownload%2F54623%2F30002&usq=AFQjCNE3AzVggE26m8c2r0wb69VjV6d4Q&sig2=DMbodFm9zx8u-pZQ1Jj63A&bvm=bv.133178914,d.eWE](https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjK7vz2u5zPAhUFPiYKHW3yBQIQFgg-MAM&url=http%3A%2F%2Fwww.ccsenet.org%2Fjournal%2Findex.php%2Fijef%2Farticle%2Fdownload%2F54623%2F30002&usq=AFQjCNE3AzVggE26m8c2r0wb69VjV6d4Q&sig2=DMbodFm9zx8u-pZQ1Jj63A&bvm=bv.133178914,d.eWE)

Victor DeMiguel, Xiaoling Mei, Francisco J. Nogales (2014). Multiperiod Portfolio Optimization with Many Risky Assets and General Transaction Costs. Recuperado el 10 de octubre del 2016,

[http://www.novasbe.unl.pt/images/novasbe/files/INOVA\\_Seminars/Victor%20de%20Miguel.pdf](http://www.novasbe.unl.pt/images/novasbe/files/INOVA_Seminars/Victor%20de%20Miguel.pdf)