

# SELECCIÓN DE PORTAFOLIOS USANDO SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN BAJO INCERTIDUMBRE

CLAUDIA LORENA MARTINEZ TORRES

*Escuela de Ingeniería de la Organización. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia*

JORGE ANDRES RESTREPO MUNERA

*Escuela de Ingeniería de la Organización. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia*

JUAN DAVID VELÁSQUEZ HENAO

*Escuela de Sistemas. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia*

Recibido para revisión 14 de Febrero de 2003, aceptado 6 de Marzo de 2003, versión final recibida 6 de Mayo de 2003

**RESUMEN:** Los métodos utilizados usualmente en la formación de portafolios, son basados en hipótesis que no son reales en mercados emergentes, y en consecuencia no son aplicables a estos mercados. Ellos no indican la forma en que debe ser conformado el portafolio. Se presenta entonces, una metodología basada en simulación y optimización bajo incertidumbre que permite realizar la conformación del portafolio. Se realizan pruebas en el mercado colombiano y la Bolsa de Nueva York.

**PALABRAS CLAVE:** Teoría de Portafolio, Simulación, Optimización bajo incertidumbre, Búsqueda Tabú, Series de Tiempo.

**ABSTRACT:** Methods usually used in portfolio building, are based in hypothesis that are not real in emergent markets, and in consequence they are not applicable in this markets. They don't show the way for building the portfolio. A methodology based in simulation and optimization under uncertainty for portfolio building is presented. Test are made for Colombian market and New York's stock market.

**KEYWORDS:** Portfolio Theory, Simulation, Optimization under uncertainty, Tabu Search, Time Series.

## 1 INTRODUCCIÓN

En las ultimas décadas el sector económico que más se ha desarrollado a nivel mundial ha sido sin duda el sector financiero y en Colombia esto no ha sido la excepción. En la actualidad se observa un sector financiero consolidado y fortalecido, debido a que en los últimos años se han presentado algunos cambios importantes en el Mercado de Valores y de Capitales.

Esos cambios han tenido vital importancia en el campo tecnológico ya que ha modificado la estructura operativa del sistema financiero. Todas estas modificaciones han estado sujetos a las disposiciones de la ley 45 de 1990, la cual se enmarca en la apertura y la modernización de la economía y por lo tanto se refleja en el mercado bursátil Nacional. Es así como la Bolsa General de Colombia viene adelantando las respectivas políticas para responder a las necesidades y evolución de la economía colombiana.

Adicionalmente, la introducción de nuevos métodos de análisis y herramientas para la conformación y selección de un portafolio de inversión han hecho que los investigadores financieros las consideren como elementos de toma de decisiones para inversiones en el largo plazo. Entre los métodos más difundidos se encuentran el análisis fundamental, Análisis Técnico y los métodos de selección de portafolio; como el modelo de fijación de precios de activos de Capital (CAMP) y el modelo de fijación de precios de arbitraje (APM).

Estos métodos de análisis se basan principalmente en pronosticar las variaciones futuras de un valor bursátil, teniendo como base la información disponible del mercado, y con criterios diferentes de selección pero, ninguno indica como seleccionar las acciones que deben entrar y salir del portafolio de inversión para maximizar su utilidad en el corto plazo.

La conformación del portafolio esta basada en el análisis de la información disponible, del

conocimiento y experiencia del inversionista que este conformando dicho portafolio, y de las expectativas del mercado, siendo la etapa de estudio e interpretación de resultados insalvable dentro del proceso de la definición del portafolio de inversión. El objetivo del presente trabajo es proponer una metodología objetiva para la selección de portafolios en el corto plazo, ésta deberá proponer los diferentes movimientos diarios de acciones necesarios para obtener una buena rentabilidad y permitiendo optimizar algunos indicadores de riesgo.

Para validar la metodología propuesta se aplica la metodología al mercado Colombiano para el periodo comprendido entre los meses de Octubre de 2001 y Enero de 2002. Para el mercado Estadounidense se evalúa para el mes de agosto de 2002.

## 2 TÉCNICAS DE ANÁLISIS BURSÁTIL

Existen diferentes teorías y técnicas de análisis destinadas a seleccionar y estudiar los valores bursátiles con mayor potencial alcista o en determinados momentos a identificar aquellos instrumentos del mercado con tendencia la baja. De los principales métodos de análisis de inversiones que han demostrado su eficiencia a lo largo del tiempo, los dos más utilizados en la bolsa son el Análisis Fundamental y el Análisis Técnico. Cada uno de estos métodos de análisis tiene sus principios, ventajas, limitaciones y se basa en un componente diferente del mercado accionario.

### 2.1 ANÁLISIS FUNDAMENTAL

El Análisis Fundamental es el estudio de toda la información disponible en el mercado sobre el emisor (empresa o gobierno) y su entorno empresarial (Bizarro, 2001), financiero y económico, con la finalidad de obtener su verdadero valor y así formular una recomendación de inversión. Este método recopila y analiza la información histórica pretendiendo anticipar el comportamiento futuro de un determinado título valor que se cotiza en la Bolsa.

La hipótesis fundamental en que se basa este método es que el mercado no es eficiente a corto plazo, aunque sí a largo plazo, por lo que una empresa termina cotizando en bolsa al precio que le corresponde. El Análisis Fundamental trata en todo momento de descubrir subvaloraciones o sobrevaloraciones, con base en determinadas informaciones aún no asimiladas por el mercado y

que solo se pueden apreciar su tendencia al largo plazo.

Este método parte del supuesto de que los movimientos de los precios de las acciones tienen causas, ya sea económicas o de otro tipo, y que ellas pueden identificarse y ponderarse antes de producir su efecto en el mercado. Para ello es necesario analizar la situación financiera de los mercados tanto en el entorno macroeconómico, como en las condiciones microeconómicas de las empresas, los estados financieros, los balances, los resultados de ventas, el flujo de efectivo, las políticas de dividendo e inversión, la capacidad gerencial y productiva, la competencia que existe en el sector, los proyectos de inversión, las perspectivas de crecimiento, el entorno político, el tipo de cambio, los tratados internacionales de comercio, y la legislación, entre otros.

La diversidad de sectores cotizados hace que apenas se pueda hablar de reglas generales para la valoración y el análisis de los diferentes factores ya que no son aplicables los mismos criterios de valoración y análisis a todos los sectores. Por lo tanto, no se puede hablar de una metodología de Análisis Fundamental, sino de varias en función del sector que se analice.

La principal limitación del Análisis Fundamental es la duración, ya que se basa en balances y cuentas de resultados publicados por cada una de las sociedades que cotizan en Bolsa y estos datos, según la legislación vigente, se publican por trimestres vencidos y con uno o dos meses de atraso. Además, las cuentas antes de ser publicadas ya han sido conocidas por personas que tienen información privilegiada, las cuales están en la capacidad de tomar posiciones antes de que se conozcan oficialmente con lo cual producen una alteración de las cotizaciones, impidiendo de esta manera que el inversionista que no cuenta con estos privilegios vea truncada la posibilidad de tomar una decisión de manera veraz y oportuna.

Además (Botero *et al*, 2000) existe una relativa probabilidad de que las empresas alteren o maquillen los resultados de una sociedad en un periodo determinado, razón por la cual no existirán parámetros reales de comparación con otras empresas del mismo sector que cotizan en la bolsa.

### 2.2 ANÁLISIS TÉCNICO

El Análisis Técnico de valores pretende pronosticar las variaciones futuras de un valor bursátil basándose exclusivamente en la evolución de las cotizaciones a lo largo de un periodo de tiempo. A

diferencia del Análisis Fundamental, (Elliot, 2000), este no estudia las variables económicas, sino los movimientos que se han producido en las cotizaciones de un título dentro de la dinámica del mercado.

Este estudio se realiza mediante el manejo de indicadores y gráficos que reflejan el precio de una acción y su volumen a través del tiempo, con el fin de determinar las tendencias futuras de los precios, mediante el análisis de factores claves: el precio, el tiempo y el volumen.

El Análisis Técnico parte del supuesto central de que los inversionistas son capaces de predecir los cambios y quiebres en los precios a partir de la información histórica de estas mismas variables, y considera que los inversionistas cuentan con series de precios, volúmenes transados de acciones, informaciones contables y un conjunto de hechos cuantificables sobre los que se pueden aplicar diferentes técnicas matemáticas y heurísticas. De hecho, el Análisis Técnico considera que la información que se tiene al presente se conservará en el futuro.

Aunque el Análisis Técnico ha ido ganando reconocimiento con el paso del tiempo, y son cada día menos aquellos que rechazan radicalmente sus posibilidades, es oportuno señalar algunas críticas que se han planteado respecto a la validez de los postulados técnicos:

- Es el propio mercado el que ofrece información para poder predecir su tendencia futura. Los analistas técnicos opinan que el precio que tiene un activo refleja toda la información existente del mercado. Por lo tanto, estudiando los movimientos de precios de los activos estaremos estudiando indirectamente las expectativas de cómo eventos futuros, ya sean económicos, políticos, etc., pueden afectar a dichos activos. Según los estudios de Malkiel (Parada, 1999) fundamenta su afirmación en la teoría de mercados eficientes y afirma que todos los pronósticos de los técnicos son falsos, y sostiene que los métodos técnicos no se pueden usar para elaborar estrategias útiles de inversión.
- Los precios se forman por tendencias. Los precios normalmente siguen una única tendencia, hasta que sucede algo que hace cambiar ese escenario. Por tanto, el precio de una acción seguirá continuamente estas tendencias, formando ondas. El precio de un activo se estará moviendo en una misma dirección hasta que se produzca un cambio en las expectativas de los inversores, que haga cambiar la tendencia del

activo. Los precios muchas veces no los forman sólo los análisis fundamentales que se realicen en una empresa, sino que influyen otro tipo de factores que deberían tenerse en cuenta. Entre ellos se pueden destacar: factores psicológicos (expectativas de éxito de la empresa en cuestión, opiniones del mundo empresarial, entre otras).

- Lo que sucedió en el pasado puede volver a ocurrir en el futuro. Estudiando las series históricas de los precios de los activos se puede observar que, en un gran número de ocasiones, el activo reacciona de una manera parecida a algunas formaciones gráficas del pasado. El Análisis Técnico parte de estas informaciones que se tienen al presente, y supone el futuro se mantendrá como el pasado, situación que puede ser o no cierta. De esta manera, lo que los inversionistas realmente conocen es el pasado y el presente de las acciones, además cuenta con una serie de información como son las series de precios, volúmenes transados de acciones, informaciones contables y un conjunto de hechos cuantificables sobre los que se puede aplicar diferentes técnicas matemáticas.

- Las figuras, o formaciones gráficas son casi completamente subjetivas y sólo existen en la mente del observador. En muchos casos las figuras gráficas no son fáciles de identificar y construir, sobre todo cuando se busca hacerlo sobre los propios indicadores y osciladores. De allí que esta sea una de las principales críticas que suele hacerse a esta herramienta.

- Los analistas técnicos sostienen que los precios del pasado describen trayectorias que se repetirán en el futuro, sin embargo, debe pensarse que ocurre en aquellos mercados bursátiles como el colombiano que no reúnen las características de ser competitivos con todo lo que ello implica, como por ejemplo, mercados con generación de información reservada o confidencial que es usada para invertir por algún grupo privilegiado, o bien con acciones altamente concentradas en pequeños grupos y que se transan generalmente fuera de Bolsa; (Botero *et al.* 2000) con intermediarios que forman los precios a partir de remates ofreciendo grandes paquetes de acciones, generación de burbujas, etc. Son hechos que por intuición o sentido común indican que el mercado bursátil no reúne las características para ser explicado totalmente por los analistas técnicos o por las teorías fundamentalistas.

## 2.3 UNA APROXIMACIÓN AL CASO COLOMBIANO

Las teorías que soportan los tipos de análisis mencionados, se han desarrollado para mercados bursátiles con unas características diferentes a las del mercado colombiano, ya que este presenta particularidades que hacen cuestionable la práctica de estos análisis, al menos de una manera directa. Dichas características están relacionadas con variables como el tamaño y liquidez del mercado, la concentración de la atención de los inversionistas en unas pocas acciones de interés o la eficiencia de la valoración de activos. Todo ello sugiere (Pinilla *et al*, 2000) que no existe un método concreto de análisis en la selección de un portafolio de acciones en el corto plazo que le retribuya al inversionista cierta utilidad, para este tipo de mercados.

La base para seleccionar una nueva conformación del portafolio de inversiones, (Ramírez, 1995) esta basada en las expectativas que tiene el inversionista sobre la evolución de los precios de las acciones que atraen su interés. Es por esto, que la construcción de pronósticos de precios de acciones es un tema fundamental dentro del problema de selección de portafolios.

En general cualquier método de pronóstico, estimará el valor futuro de las acciones, sin embargo, esta información es puntual y realmente solo refleja la tendencia de hacia donde evolucionará este; ella no refleja el conjunto de posibles evoluciones que puede sufrir el valor de una acción a partir de su último valor conocido.

Es por ello que no es suficiente contar con un único valor pronosticado para cada instante del futuro, ya que es necesario realizar un análisis del riesgo al que se ve sometido el inversionista respecto a los precios futuros pronosticados de las acciones. Sin embargo, aunque los enfoques tradicionales permiten conformar de alguna forma un portafolio, no le dan información al inversionista de cuando comprar o vender una determinada acción. Asimismo, están orientados a decisiones de inversión de mediano plazo, las cuales pueden ser de varias semanas a varios meses, sin entregarle información al inversionista de cómo aprovechar las alzas y bajas que sufren los precios de las acciones en el corto plazo.

## 3 TEORÍA DE PORTAFOLIO

La teoría de portafolio o cartera de inversiones, hace parte de los métodos desarrollados por Markowitz y sus seguidores para el manejo de las inversiones en

valores o administración de las carteras de valores o activos. Su marco de análisis se fundamenta en conceptos estadísticos y económicos, que son aplicados en el análisis de la información sobre activos, con el fin de transformarlos en conclusiones que permitan construir portafolios eficientes, de acuerdo a las preferencias de los inversionistas. Esta teoría parte del supuesto de que la mayoría de los inversionistas son adversos al riesgo, es decir, les interesa reducir el riesgo tanto como maximizar la rentabilidad esperada.

La teoría de portafolio comienza con la proposición de la cual los inversionistas deben atender a las características de su portafolio completo y no sólo de algunos componentes individuales del portafolio o de solamente un activo. De aquí se desprende una idea muy importante en la teoría de portafolio, que un activo que es en extremo riesgoso en si mismo puede resultar bastante seguro dentro de un portafolio que tiene otros activos que compensan ese riesgo (Grossman, 1996). En general, los inversionistas se preocupan tanto de la tasa esperada de rentabilidad como del riesgo generado por los activos componentes del portafolio que más les convenga.

Un portafolio, en términos formales, es una colección de activos, tanto financieros (por ejemplo, dinero, bonos, acciones, etc.) como reales (por ejemplo, tierra, metales preciosos, edificaciones, cuadros, etc.) con características propias de plazo, rentabilidad y riesgo. En otras palabras, la teoría de portafolio se refiere (Medina *et al*, 1993), a la composición de un portafolio determinado, como se distribuye su total entre el dinero y los otros títulos. Puede ser normativa, esto es, una teoría capaz de orientar hacia un portafolio óptimo, ideal, o bien una teoría puramente descriptiva, empírica, que informe sobre el comportamiento efectivo de las personas, sea racional o no.

Es bueno tener en cuenta que existen diversos aportes a la teoría de portafolio. Es así que en este punto se presentan, en forma breve un análisis de los principales aportes realizados por algunos autores.

### 3.1 MODELO DE MARKOWITZ

La teoría básica de la selección de portafolios fue desarrollada inicialmente por el Premio Nóbel Harry Markowitz a comienzos de los años 50. Más adelante fue ampliada por otros economistas, que se introdujeron en el campo de las finanzas, y le

aportaron aspectos importantes para incrementar su desarrollo teórico.

De acuerdo con Varian, (1993), Markowitz observó que en el libro *La teoría del Valor de Invertir* de John Burr Williams, se argumentaba que el valor del capital debería ser el valor presente de sus dividendos (lo que era considerado una teoría nueva). Pero Markowitz vio como esto presentaba un problema, ya que los dividendos futuros no son conocidos con certeza; son variables al azar. Esto lo llevó a ampliar la teoría de Williams Sharpe, ya que para Markowitz el valor de capital debería ser el valor presente "esperado" de su flujo de dividendos. Markowitz observó, que un inversionista no sólo debe tener en cuenta la rentabilidad esperada más alta, sino también el riesgo que implica esta inversión. Esto lo llevó a examinar el problema de encontrar un portafolio con el máximo retorno esperado a un nivel de riesgo dado. Llevándolo a plantear el problema de minimizar las variaciones de un portafolio tomando como restricción el requerimiento de un retorno esperado. (Markowitz, 1952). Es decir, propuso un problema de programación cuadrática, el cual tenía como condiciones de primer orden el aumento marginal en la varianza de invertir un poco más en un activo dado y debería ser proporcional al retorno dado. Esta variación depende tanto de la varianza, del retorno del activo, como de la covarianza del retorno de todos los demás activos del portafolio. Esta se considera como la idea central de la contribución de Markowitz.

En 1952 la programación lineal estaba naciendo y la programación cuadrática no estaba definida, sin embargo Markowitz desarrolló métodos prácticos para determinar la *línea crítica* para solucionar los problemas de optimización, describiendo portafolios eficientes con varianza mínima y rentabilidad alta. Finalmente, Markowitz publicó dos documentos en 1952 y 1956 y su libro clásico en 1959.

El modelo de Markowitz es la base de la mayoría de los modelos de selección de cartera. Sin embargo, su utilización en la práctica es bastante reducida. El motivo de ello tiene que ver con sus dificultades de cálculo, la inestabilidad de las soluciones que proporciona, los problemas para incluir opiniones de los expertos y la rigidez de la función de riesgo considerada.

Este modelo se fundamenta principalmente en recoger de forma explícita los rasgos fundamentales de lo que en un principio se puede calificar como conducta racional del inversor, consistente en buscar aquella composición de la cartera que haga

máxima la rentabilidad para un determinado nivel de riesgo, o bien, un mínimo de riesgo para una rentabilidad dada.

Markowitz centró su atención en la práctica habitual de la diversificación de carteras y mostró como un inversor puede reducir la desviación típica de las rentabilidades de una cartera eligiendo acciones cuyas oscilaciones no sean paralelas. Markowitz continuó con el desarrollo de los principios básicos de la formación de carteras. Estos principios son el fundamento de todo lo que pueda decirse entre riesgo y rentabilidad.

La rentabilidad de cualquier título o cartera, es una variable aleatoria de carácter subjetivo, cuya distribución de probabilidad para el periodo de referencia es conocido por el inversor. El valor medio o esperanza matemática de dicha variable aleatoria se acepta como medida de la rentabilidad de la inversión.

Se acepta como medida del riesgo la dispersión, medida por la varianza o la desviación estándar, de la variable aleatoria que describe la rentabilidad, ya sea de un valor individual o de una cartera.

La conducta del inversor le lleva a preferir aquellas carteras con una mayor rentabilidad y menor riesgo. En la primera etapa se determina el conjunto de Carteras Eficientes cuando proporciona la máxima ganancia para un riesgo (medido por la varianza) dado, o bien, proporciona el mínimo riesgo para un valor dado de ganancia (Esperanza Matemática). Este supuesto ya fue probado (Jiménez *et al*, 2000) y llegaron a la conclusión que en economías tan poco desarrolladas esta teoría de cartera no se puede aplicar, es decir, se necesita realizar muchas modificaciones al modelo para encontrar resultados que se puedan comparar con experimentos realizados en Estados Unidos o en los mercados Europeos.

A pesar de estos principios, el modelo en el mercado colombiano no tiene gran aplicabilidad ya que lleva implícitas dos condiciones fundamentales: Para que el modelo se pueda desarrollar gráficamente el número de alternativas de inversión debe ser manejable, es decir, sólo se puede trabajar con dos o tres posibilidades. A partir de ahí, existen grandes dificultades para extrapolar al caso general de  $n$  posibilidades de inversión, y en el caso de aplicación se conformará un portafolio de 10 acciones para el cual este modelo no aplicaría.

Se deben asumir determinados postulados de probabilidad estática cuando el estudio trata un análisis dinámico. De esta manera, habría que reconocer que la distribución de probabilidad de los

rendimientos de cualquier alternativa de inversión depende del tiempo. Debido a que el análisis se desarrolla en el largo plazo esta condición no es necesaria en el método que se plantea ya que el desarrollo se hará en el corto plazo.

### 3.2 MODELO DE MERCADO DE SHARPE

El modelo de mercado de Sharpe (1963) surgió como un caso particular del modelo diagonal del mismo autor que, a su vez, fue el resultado de un proceso de simplificación que Sharpe realizó del modelo de Markowitz.

Sharpe consideró que el modelo de Markowitz implicaba un dificultoso proceso de cálculo ante la necesidad de conocer de forma adecuada todas las covarianzas existentes entre cada pareja de títulos. Para evitar esta complejidad, Sharpe propone relacionar la evolución de la rentabilidad de cada activo financiero con un determinado índice, normalmente macroeconómico, únicamente. Este fue el denominado modelo diagonal, debido a que la matriz de varianzas y covarianzas sólo presenta valores distintos de cero en la diagonal principal, es decir, en los lugares correspondientes a las varianzas de las rentabilidades de cada título.

Sharpe exploró un acercamiento conocido por estos días como "Modelo de Mercados" o "Modelo de un sólo factor" o "Modelo Diagonal". Él asume que el retorno sobre cada título es linealmente relacionado con un exponente único, usualmente tomado para ser el retorno sobre algunos exponentes de mercados (por ejemplo un índice de mercado, ahora conocido como coeficiente beta (Shapiro, 1999). La motivación de Sharpe para formular este modelo era empírica. Según él, la mayoría de los capitales se mueven juntos la mayoría del tiempo. Por lo tanto, es natural pensar que un sólo factor (o un pequeño número de factores) determina las variaciones en retornos. Esta relación lineal puede estimarse fácilmente, y los coeficientes obtenidos pueden usarse para construir covarianzas, las cuales, pueden, a su vez, usarse para construir portafolios óptimos.

La tentativa de Sharpe redujo dramáticamente la dimensión del problema del portafolio y simplificó el cálculo de los portafolios eficientes.

Más tarde, Sharpe dedicó su atención a la teoría de equilibrio de mercado de capitales. Él se preguntó como sería si todos los inversionistas se comportaran como optimizadores del portafolio de Markowitz. Ellos pueden tener diferente cantidad de dinero invertida en el mercado de valores, pero cada uno escogería el mismo portafolio de activos de

riesgo. Sharpe se dio cuenta que si todos retuvieran el mismo portafolio de activos de riesgo, sería medir ese portafolio. Se necesitaría mirar la liquidez total invertida en determinados activos, y dividirla por la liquidez total en el mercado de capitales.

Sharpe, decía que, en equilibrio, el portafolio de activos de riesgo individual es simplemente el portafolio de mercado. Esta observación implica que el portafolio de mercado es de eficiente variación, es decir, se apoya en la frontera del conjunto eficiente, y por tanto satisface las condiciones de primer orden de eficiencia, lo cual se convierte en una de las importantes ideas del celebrado Modelo de Precios de Activos de Capital (CAPM, sigla en inglés).

Pero como en todos los modelos, este también tiene sus supuestos, a saber:

- Los inversionistas son adversos al riesgo y maximizan la utilidad esperada de su riqueza al fin del periodo.
- Los inversionistas son tomadores de precios y tienen expectativas homogéneas acerca de los rendimientos de los activos que tienen distribución normal conjunta.
- Existe un activo libre de riesgo tal que los inversionistas puedan pedir en préstamo o prestar montos limitados a la tasa libre de riesgo.
- Las cantidades de todos los activos riesgosos son fijas.
- Los mercados de activos están libres de fricciones, la información no tiene costo alguno y está al alcance de todos los inversionistas.
- No existen imperfecciones de mercado como impuestos, leyes o restricciones sobre ventas de recorte.

Debido a lo anterior, es importante tener en cuenta que el mercado accionario de Colombia es imperfecto, reducido y concentrado. Asimismo, el modelo CAMP ha sido motivo de muchos cuestionamientos por parte de diversos autores. Medina y Echeverri (1993) en su trabajo "La Selección de Portafolios y la Frontera Eficiente: el caso de la Bolsa de Medellín, 1990 -1992", encontraron que la frontera eficiente siempre incluye short- sale (ventas cortas) en cerca del 50% de las acciones que componían la mayoría de sus portafolios eficientes. Por otro lado, concluyeron que el IBOMED es ex - post media - varianza ineficiente ya que no encontraron una relación lineal entre la rentabilidad de las acciones y sus betas (algo parecido al trabajo de Arango y Cardona (1984), lo cual los llevó a rechazar la hipótesis del

modelo CAMP o que este en el mercado accionario Colombiano no es una teoría valida.

#### 4 METODOLOGÍA PROPUESTA

Todo inversionista pretende una estrategia exitosa en materia de inversión, sin embargo ella estará sometida a diferentes riesgo que podrán hacer que ésta sea imposible de realizar en la realidad o en otro caso puede suceder que esta estrategia no sea tan exitosa como se tenía proyectado.

Un programa de compra y venta futura de activos financieros que se haya obtenido por algún método esta sometido para el caso de la inversión en la bolsa de valores a que:

- El volumen de los instrumentos financieros que se pretendían comprar según la estrategia no sea ofrecido por el mercado.
- La cantidad de instrumentos financieros que se proyectaban vender solo sea demanda parcialmente por el mercado.
- Que el precio de los activos que se van a incorporar al portafolio sea mucho más alto que el proyectado.
- Que el precio de venta de los activos que salen del portafolio sea mucho mas bajo.

Estas son algunas de las situaciones que se pueden presentar y hacen que una estrategia prevista sea imposible de implementar en la realidad.

En el caso ideal para la conformación del programa de compra y venta de activos, el inversionista conoce con certeza el valor futuro de las acciones día a día. Queda entonces por determinar el volumen diario de acciones de cada empresa que deben mantenerse en el portafolio. Este problema puede plantearse como un modelo de programación lineal entera, donde la función objetivo corresponde a maximizar el valor presente neto del flujo de caja, las restricciones representan las condiciones de continuidad del flujo de caja y las restricciones físicas sobre los volúmenes de acciones, las cuales impiden que se vendan más acciones de las que se tienen, o se compren más acciones de las posibles con el flujo de caja de ese instante de tiempo. Las variables corresponden a los volúmenes de las acciones de cada empresa a nivel diario durante el horizonte de planificación.

En el caso real no se conoce la evolución futura de los precios y el inversionista cuenta con diferentes escenarios posibles para la evolución del precio de cada acción, lo que convierte el problema de optimización convencional expresado en el caso

ideal, en un problema de optimización bajo incertidumbre. La función objetivo ya no optimiza un indicador financiero sobre la inversión, tal como el VPN, si no una medida que cuantifique el riesgo sobre el portafolio, tal como podría ser el valor esperado del VPN del portafolio o su dispersión. La principal característica de la solución obtenida es que debe representar una posición sólida para el inversionista, esto es, represente una buena inversión la mayoría de posibles evoluciones del precio de los instrumentos financieros considerados.

El método propuesto en este trabajo busca estructurar un proceso de decisión para la selección de portafolios, que permitan la especulación en el corto plazo, de tal forma que se puedan controlar los riesgos, y realizar una optimización bajo incertidumbre del portafolio de acciones. Para ello se realiza una combinación de técnicas de optimización y simulación, para maximizar o minimizar indicadores de riesgo medidos sobre el portafolio, tales como la desviación estándar de los retornos esperados o su promedio.

La metodología se proponen tres pasos fundamentales:

1. Selección de los instrumentos financieros que tendrán la opción de hacer parte del portafolio.
2. Desarrollo de modelos de pronóstico de precios y generación de series sintéticas.
3. Optimización del portafolio.

Un diagrama de la metodología se presenta en la Figura 1.

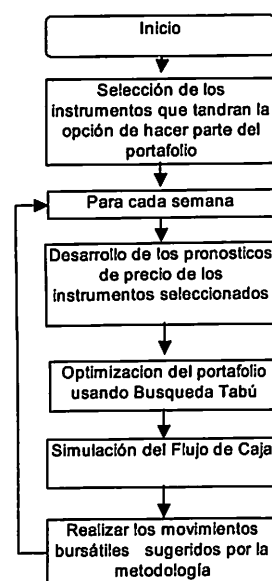


Figura 1. Metodología propuesta.



#### 4.1 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS FINANCIEROS

La selección de los instrumentos financieros es parte fundamental de la metodología propuesta, sin embargo, no se pretende proponer un modelo que tome esta decisión por el inversionista, ya que este tipo de decisión es propio a su naturaleza y depende de la aversión al riesgo de éste, sus preferencias sobre los mercados, el tipo de inversión que prefiere, entre otros aspectos que diferencian a un inversionista de otro, así como su forma de ver el mercado y tomar decisiones de acuerdo a esta visión.

Cada inversionista tomara su decisión de acuerdo a su conocimiento y experiencia en el mercado, depende además de la técnica aplicada por éste si es que recurre a alguna, es donde interviene el juicio del experto; aspecto que se debería tener en cuenta como trabajo futuro para ser incorporado dentro de la metodología propuesta.

Si se pretende invertir en el corto plazo una característica que debe procurar el inversionista en el activo financiero que desea considerar es que tenga una alta bursatilidad para facilitar el cumplimiento de las políticas planteadas.

#### 4.2 CONSTRUCCIÓN DE PRONÓSTICOS Y SERIES SINTÉTICAS

El proceso de conformación del portafolio de inversiones esta basado en las expectativas que tiene el inversionista sobre la evolución de los precios de las alternativas de inversión que atraen su interés. Es por esto, que la construcción de pronósticos de precios de acciones es un tema fundamental dentro del problema de selección de portafolios.

Una de las alternativas que se están estudiando actualmente en el pronóstico de precios de acciones, es el uso de sistemas expertos, tales como las Redes Neuronales Artificiales (Marín, 2000), que ya han sido empleadas en el análisis del caso colombiano. En general, cualquier método de pronóstico estimará el valor futuro de las acciones, sin embargo, esta información es puntual y realmente solo refleja la tendencia de hacia donde evolucionará este; ella no refleja el conjunto de posibles evoluciones que puede sufrir el valor de una acción a partir de su último valor conocido y no incluye el efecto de otros factores exógenos a la evolución pasada de la acción.

Es por ello, que no es suficiente contar con un único valor pronosticado para cada instante del futuro, ya que es necesario realizar un análisis del riesgo al que se ve sometido el inversionista respecto a los precios futuros pronosticados de las acciones. Ya que el modelo propuesto es de simulación, es necesario entregarle las proyecciones del precio de las acciones en el horizonte de planificación.

Estas proyecciones corresponden a posibles evoluciones del precio de cada acción en el futuro. Esto implica que no debe entregarse al modelo la tendencia central del precio, tal como lo hacen los modelos econométricos, sino una muestra representativa de las posibles evoluciones, las cuales pueden obtenerse como series sintéticas a partir del modelo generador de la serie de precios de la acción. Esto es, cuando se ajusta un modelo matemático a una serie de tiempo,  $\{x_t\}$ , que representa la evolución histórica del precio de la acción  $x$ , independientemente que sea un modelo econométrico o de Redes Neuronales Artificiales, existe una porción de la varianza de la serie que solo puede ser explicada como un ruido o error, que representa otros factores endógenos o exógenos que afectan la serie y el cual se representa dentro del modelo como un número aleatorio normal con media cero y desviación estándar, es decir:

$$x_t = F(x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-n}) + N(0, \sigma)$$

donde  $x_{t-1}$  es el último valor histórico de la serie. Cada serie sintética se genera punto por punto, generando para cada valor de  $x$  un número aleatorio normalmente distribuido con media cero y desviación estándar  $\sigma$ , a partir del último dato conocido de la serie.

Aunque se considera que todas las series son equiprobables, este supuesto puede ser modificado, confiriéndole más peso a algunas series que cumplan una característica determinada. Es el caso del inversionista que posee información privilegiada sobre el comportamiento futuro de un activo financiero, éste podrá darle más peso a las series que son consecuentes con esta información, sin embargo, esto no ha sido considerado dentro del modelo en cuestión.

#### 4.3 OPTIMIZACIÓN DEL PORTAFOLIO

Con las series sintéticas que se generan se obtiene una muestra representativa de posibles evoluciones del precio de las acciones o del instrumento financiero que se haya considerado. Se pretende



encontrar una solución rentable para la mayoría de las posibles evoluciones del mercado, suponiendo que cada una de estas es equiprobable.

Se espera que cualquiera que sea el comportamiento real del precio, el modelo propuesto ya haya considerado una conducta similar, esto es, la solución deberá ser robusta ante cualquier evolución normal del mercado. Una solución robusta se entiende como una solución cuyo resultado es favorable en la mayoría de los posibles estados de la naturaleza, para el caso en particular la solución deberá ser rentable en la mayoría de las posibles evoluciones del mercado.

En términos matemáticos, se debe obtener la cantidad de acciones que debe contener el portafolio en cada periodo de tiempo, esta cantidad corresponde a variables enteras ya que no es posible fraccionar acciones en el mercado real, este tipo de problema donde se pretenden cantidades enteras es notorio por su dificultad.

Para el caso en particular se utiliza la técnica de Búsqueda Tabú (Glover, 1989), como instrumento para obtener las políticas de compra y venta de acciones del portafolio en el corto plazo, dada la necesidad de contar con un método eficiente de optimización que genere dentro de la infinidad de posibles políticas de compra y venta la solución más robusta, que implique menor riesgo y maximice la utilidad esperada.

La solución óptima buscada es el vector que contiene el número de acciones de cada empresa que se debe tener en cada uno de los días del horizonte de inversión, tal que optimice la medida de riesgo tomada sobre el flujo de caja que se obtiene al usar dicha solución y obtener un flujo de caja para cada una de las series sintéticas consideradas.

Para evaluar el rendimiento de las soluciones generadas por la Búsqueda Tabú se considera cada una de las series sintéticas generadas y se simula el flujo de caja obteniendo el VPN de la solución para portafolio en el día 2 de la empresa A, y así sucesivamente.

#### 4.3.1 Generalidades sobre Búsqueda Tabú

Los orígenes de la Búsqueda Tabú (TS) pueden situarse en diversos trabajos publicados hace alrededor de 20 años. Oficialmente, el nombre y la metodología fueron introducidos posteriormente por Fred Glover (1989).

Numerosas aplicaciones han aparecido en la literatura, así como artículos y libros para difundir

cada una de las series sintéticas y se procede a evaluar la medida de riesgo que se quiere optimizar. Para el caso analizado, se busca maximizar el VPN promedio evaluado sobre el desempeño de todas las series sintéticas, se genera un promedio ya que se considera que cada una de las series son equiprobables; es decir, cada una de las series sintéticas se establece como un posible estado del mercado a futuro, lo que en teoría de toma de decisiones se considera como posible estado de la naturaleza. Se supone que cada una de las series es equiprobable por que se considera que el inversionista no tiene ningún conocimiento sobre la evolución futura del mercado, por lo tanto no podrá darle mas peso a unas series, es decir, no puede establecer que una serie sintética tiene mayor probabilidad de acercarse a la serie real futura de precios.

En la realidad el inversionista puede tener algún conocimiento sobre la evolución de los precios de las acciones en el futuro por que tiene por ejemplo acceso a información privilegia, en este caso el inversionista podrá darle mas peso a las series que sean consecuentes con esta información, por ejemplo, el inversionista tiene conocimiento que el precio de la acción de una determinada empresa caerá, el inversionista le dará mas peso a las series que presenten una tendencia a la baja, en tal caso se buscaría maximizar en VPN promedio ponderado.

La solución que se genera con el modelo es el vector de los  $x_{ij}$  que optimiza la medida de riesgo considerada, donde  $x_{ij}$  es la cantidad de acciones de la empresa  $j$  en el día  $i$ . Por ejemplo, si se consideran 2 empresas (A, B) y 2 días hacia adelante para establecer la conformación del portafolio, la respuesta que entrega el modelo será  $\{a_1, b_1, a_2, b_2\}$  donde  $a_1$  es el número de acciones que se debe tener en el portafolio en el día 1 de la empresa A,  $b_1$  es el número de acciones que se debe tener en el portafolio en el día 1 de la empresa B,  $a_2$  es el número acciones que se debe tener en el conocimiento teórico del procedimiento (Glover & Laguna, 1997).

TS es una técnica para resolver problemas combinatorios de gran dificultad que está basada en principios generales de Inteligencia Artificial (IA). En esencia es un metaheurístico que puede ser utilizado para guiar cualquier procedimiento de búsqueda local en la búsqueda agresiva del óptimo del problema. Por agresiva se entiende la estrategia de evitar que la búsqueda quede atrapada en un óptimo local.

A tal efecto, TS toma de la IA el concepto de memoria y lo implementa mediante estructuras simples con el objetivo de dirigir la búsqueda teniendo en cuenta la historia de ésta.

TS comienza de la misma forma que cualquier procedimiento de búsqueda local, procediendo iterativamente de una solución  $x$  a otra y en el entorno de la primera:  $N(x)$ . Sin embargo, en lugar de considerar toda la vecindad de una solución, TS define el entorno reducido  $N^*(x)$  como aquellas soluciones disponibles del entorno de  $x$ . Así, se considera que a partir de  $x$ , sólo las soluciones del entorno reducido son alcanzables.

Existen muchas maneras de definir la vecindad de una solución. La más sencilla consiste en etiquetar como tabú las soluciones previamente visitadas en un pasado cercano. Esta forma se conoce como memoria a corto plazo (*short term memory*) y está basada en guardar en una lista tabú las soluciones visitadas recientemente. Cada vez que un movimiento es realizado, se introduce en una cola (la primera en entrar es la primera en salir, estrategia FIFO) de tamaño  $L$  de tal forma que los elementos de dicha lista están penalizados durante un cierto tiempo. Un movimiento, por tanto, no será aceptado siempre y cuando permanezca en la lista tabú. Esta lista constituye la estructura de memoria del algoritmo.

El objetivo principal de etiquetar las soluciones visitadas como tabú es el de evitar que la búsqueda entre en ciclos.

Es importante considerar que los métodos basados en búsqueda local requieren de la exploración de un gran número de soluciones en poco tiempo, por ello es crítico el reducir al mínimo el esfuerzo computacional de las operaciones que se realizan a menudo. En ese sentido, la memoria a corto plazo de TS está basada en atributos en lugar de ser explícita; esto es, en lugar de almacenar las soluciones completas se almacenan únicamente algunas características de éstas.

La memoria mediante atributos produce un efecto más sutil y beneficioso en la búsqueda, ya que un atributo o grupo de atributos identifica a un conjunto de soluciones. Así, un atributo que fue etiquetado como tabú por pertenecer a una solución visitada hace  $n$  iteraciones, puede impedir en la iteración actual, el alcanzar una solución por contenerlo, aunque ésta sea muy diferente de la que provocó el que el atributo fuese etiquetado. Esto provoca, a largo plazo, el que se identifiquen y mantengan aquellos atributos que inducen una cierta estructura beneficiosa en las soluciones visitadas.

Un algoritmo TS está basado en la interacción entre la memoria a corto y la memoria de largo plazo. Ambos tipos de memoria llevan asociadas sus propias estrategias y atributos, y actúan en ámbitos diferentes. Como ya se ha mencionado la memoria a corto plazo suele almacenar atributos de soluciones recientemente visitadas, y su objetivo es explorar a fondo una región dada del espacio de soluciones.

La memoria a largo plazo almacena las frecuencias u ocurrencias de atributos en las soluciones visitadas tratando de identificar o diferenciar regiones. La memoria a largo plazo tiene dos estrategias asociadas: intensificar y diversificar la búsqueda. Una forma clásica de diversificación consiste en reiniciar periódicamente la búsqueda desde puntos elegidos aleatoriamente.

Los elementos básicos de la Búsqueda Tabú son los siguientes:

- Selección de una solución inicial  $x_0$ . Un factor muy importante a tener en cuenta es la posible influencia que tenga comenzar la búsqueda tabú con una solución inicial más o menos buena. Esta solución dependerá del algoritmo específico que la genera. Con una solución inicial buena, de bajo coste, generada de forma algorítmica, se puede pensar que es posible evolucionar, a corto plazo, hacia soluciones mejores, aunque podría suponer un gran perjuicio computacional si realmente evoluciona la búsqueda hacia regiones de soluciones más desfavorables. Es, por tanto, necesario evaluar la conveniencia de considerar un método algorítmico o no. En cualquier caso, siempre será posible generar una solución de forma aleatoria.
- Elección de la vecindad  $V(x_a)$ . Para evolucionar hacia otras soluciones, el algoritmo de búsqueda tabú selecciona éstas en un entorno de  $x_a$ . Hay que definir, por tanto, el concepto de solución cercana de  $x_a$  para proceder a seleccionar una nueva solución dentro de dicho entorno.
- Elección del tamaño de la lista tabú ( $L$ ). Varios autores toman el valor 7 como "número mágico" sin explicación lógica. Más recientemente, se toman valores dependientes del tamaño del problema. En cualquier caso, constituye un parámetro importante cuya influencia habría que analizar y del cual dependerá la evolución del algoritmo en gran medida.

- Elección de los atributos para almacenar en la lista tabú. Almacenar la descripción completa de las últimas soluciones exploradas y comprobar si cada movimiento se encuentra en la lista puede ocupar mucho tiempo. Como alternativa se puede almacenar un atributo representativo del movimiento. Los atributos que se consideren, así como la forma de almacenarlos dependerán, en cierta medida, del problema a resolver.
- Criterio de finalización. Se puede establecer un número máximo de iteraciones, o un número máximo de pasos sin mejorar el coste.

Ya que la TS trabaja sobre cadenas de binarios, estos deben ser convertidos en números enteros que representen las cantidades de acciones que se mantienen en el portafolio; para ellos. Para este caso particular, se ha encontrado que la representación de los enteros usando el código Gray, puede resultar beneficiosa en términos de convergencia del algoritmo y calidad de la solución. El Código Gray es un tipo de código binario, en el que la secuencia ordenada cambia sólo en un bit entre un número y sus adyacentes (predecesor y antecesor), a diferencia del código binario tradicional en donde pasar de un entero al siguiente, por ejemplo entre el 1 y el 2, implica el cambio de más de un bit, tal como puede verse en la Tabla 1.

#### 4.3.2 Parámetros de la Búsqueda Tabú

A continuación se describen los parámetros que utiliza la búsqueda tabú:

- Selección de la solución inicial: Se elige como solución inicial un vector de ceros, lo que representa una estrategia donde el inversionista no actúa en el mercado y su capital inicial será igual a su capital final.
- Elección del entorno: el entorno será las soluciones que se pueden generar al modificar un bit de la solución actual, si es que este bit no está etiquetado como tabú.
- Elección del tamaño de la lista tabú para la memoria en corto plazo: El tamaño de la lista tabú está determinado por el número de bits que representa cada política dividido entre dos.
- Elección del tamaño de la lista tabú para la memoria de largo plazo ( $L$ ): se estableció la lista tabú para la memoria en el largo plazo como una variable que define el usuario. Para efectos de las pruebas que se le aplican al modelo se trabaja con una lista de 500 soluciones.
- Elección de los atributos para almacenar en la lista tabú de corto plazo: se etiquetarán dentro de la lista tabú los últimos bits modificados.
- Elección de los atributos para almacenar en la lista tabú de largo plazo: se almacena la totalidad de las  $L$  soluciones en código Gray.
- Ciclos: recorrido por la totalidad de los bits que contiene la solución.
- Numero de ciclos: máximo de número de ciclos consecutivos sin encontrar una mejor solución que la actual.
- Criterio de finalización: la búsqueda finaliza cuando al desarrollarse un número determinado de intentos de búsqueda del óptimo, en el primer intento la solución con que se inicia es la solución inicial definida en el ítem anterior, para los siguientes intentos si inicia con una solución elegida al azar entre las soluciones pertenecientes a la lista tabú de largo plazo. Cada intento termina cuando al realizar un número determinado de ciclos consecutivos no se haya encontrado una mejor solución.

**Tabla 1.** Ejemplo de codificación en binario y en Gray.

Código Gray	Entero	Código Binario	
	0	000	000
	1	001	001
	2	010	011
	3	011	010
	4	100	110
	5	101	111
	6	110	101
	7	111	100

Adicional a estos elementos claves para la búsqueda tabú se definen los parámetros necesarios para desarrollar el modelo y que son propios a cada situación, son ellos:

- Número de instrumentos financieros que tienen la opción de hacer parte del portafolio: este parámetro depende de la decisión del inversionista dentro del primer punto de la metodología.
- Número de días: horizonte de inversión como número de días para los que se busca las mejores políticas de compra y venta.

- Número de bits: Cantidad de binarios necesarios para representar cada política.
- Número de series: número de series sintéticas consideradas.
- Pronósticos: matriz que posee la totalidad de los pronósticos, es decir, contiene el número de series dado.
- Capital inicial: Monto de dinero del que se dispone para invertir.
- Portafolio inicial: se refiere al volumen de acciones con que cuenta el inversionista al comenzar el periodo de inversión.
- Porcentaje de Comisión: es la fracción de dinero adicional que se le debe pagar al comisionista de bolsa al efectuar cada transacción.
- Volumen máximo de acciones: es la cantidad máxima de acciones de cada empresa que puede ser incorporada al portafolio. Es un recurso limitado de capital, dado que se supone que el inversionista aporta un capital inicial al comenzar el horizonte de inversión como único desembolso y no se consideran retiros de capital durante el periodo de inversión incluyendo las ganancias obtenidas, es decir, se supone reinversión de las utilidades.

Las restricciones que se le imponen a la solución son:

- Recurso limitado, dado que se supone que el inversionista aporta un capital inicial al comenzar el horizonte de inversión, no se consideran aportes o retiros de capital durante este periodo, las ganancias son reinvertidas, luego como primera restricción se tiene el capital de inversión.
- Un número de acciones de cada empresa que pueden ingresar al portafolio (volumen máximo de acciones), esta restricción se impone con fin de tener un portafolio diversificado que en teoría disminuye el riesgo, además para el caso Colombiano donde se presenta una baja liquidez (Gómez, 1999). En el modelo cada inversionista establecerá el volumen máximo de acciones que desea tener en su portafolio, este volumen deberá ser menor a la cantidad promedio de acciones de cada empresa que se transa diariamente en la bolsa, y será proporcional al grado de diversificación que el inversionista desea para su portafolio.
- El porcentaje de comisión que se debe pagar al comisionista de bolsa, esta comisión puede variar dependiendo de la firma comisionista con

la que se trabaje, la relación entre el inversionista y el comisionista, el volumen y la frecuencia con que transa en la bolsa, entre otros aspectos que hacen que esta comisión varíe de un inversionista a otro. Por esta razón el modelo permite trabajar con el porcentaje de comisión que el inversionista solicite.

Una vez obtenida una estrategia tentativa de compra y venta de acciones para el horizonte de tiempo que es analizado se puede dar el caso que el modelo sugiera comprar un número de acciones superior a la capacidad de compra, debido a que se considera que el inversionista aporta un capital inicial sin hacer más desembolsos, para este caso se debe hacer un ajuste a las políticas propuestas por el modelo.

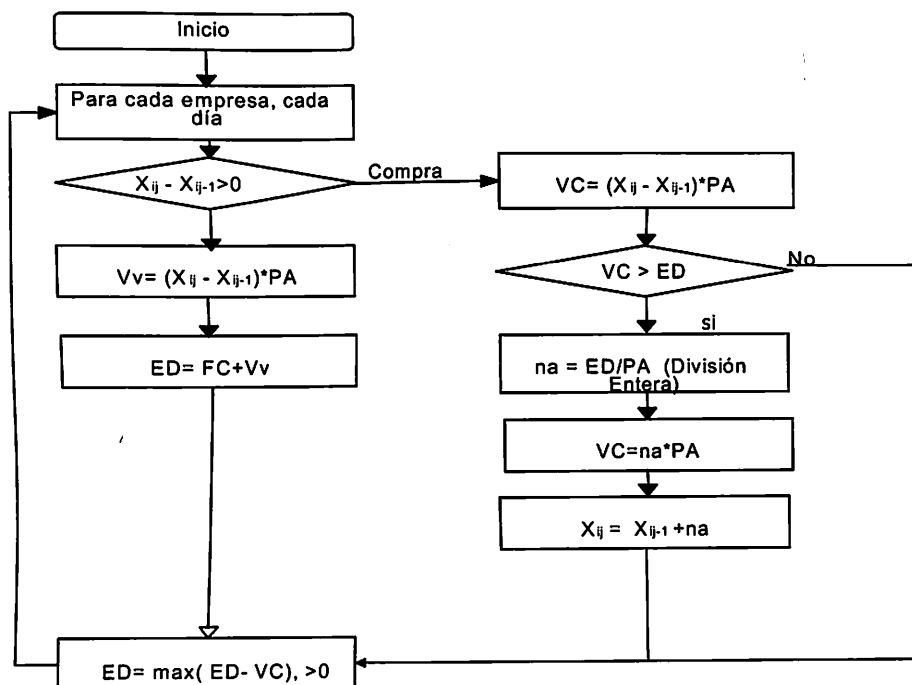
Para considerar esta dificultad, el modelo obtiene la capacidad de compra del inversionista en el momento que debe hacer la compra, si esta capacidad es suficiente el modelo autoriza la compra, si no hay suficiente capacidad el modelo asigna los recursos disponibles, autorizando la compra de las acciones de la primera empresa del vector de políticas si hay recursos disponibles; si no hay recursos calcula la cantidad de acciones que esta en condiciones de comprar el inversionista, si se poseen los recursos para comprar la totalidad de las acciones de la primera empresa, se calcula si hay capacidad para la segunda y el procedimiento se repite hasta agotar los recursos disponibles. El proceso es presentado algorítmicamente en la Figura 2. Esta forma de distribuir el capital disponible para la compra de activos financieros puede ser intervenida por el inversionista, de acuerdo con su expectativa de la evolución del mercado. Se insiste en cada apartado de la metodología la importancia que tiene el conocimiento de inversionista dentro del proceso de toma de decisiones, los autores no pretenden en ningún caso subvalorar la capacidad que tienen los inversionistas de tomar decisiones de acuerdo a su experiencia y conocimiento del mercado, se plantea como trabajo futuro incorporar dentro de la metodología el Juicio del Experto como información que soporte las soluciones.

## 5 APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA Y RESULTADOS OBTENIDOS

La metodología es una herramienta general, cuya aplicabilidad es en el mercado bursátil, además puede ser ajustada en cualquier instrumento financiero perteneciente a algún otro mercado. La metodología propuesta se desarrolla en el mercado

colombiano con el fin de probar su aplicabilidad, y desempeño. Al llevar a la práctica esta metodología en el mercado colombiano se crea la necesidad de probar esta técnica en un mercado más maduro, cuya característica principal es que sea un mercado

que garantice transaccionalidad y dinamismo en los precios en el corto plazo, la metodología se compara, entonces, con la Bolsa de New York, cuyo mercado cumple con el requisito antes mencionado.



**Figura 2.** Simulación del flujo de caja para determinar la capacidad real de compra del inversionista.  $X_{ijt}$  representa la cantidad de acciones de la empresa  $i$  en el instante  $j$ ;  $Vv$  es el valor de venta.  $VC$  es el valor de compra;  $ED$  es el efectivo disponible;  $PA$  es el precio real de la acción;  $na$  es el número de acciones que se pueden comprar.

Para el caso colombiano se aplica el modelo para el mes octubre de 2001, en el cual se desarrolló el juego *Bolsa Millonaria* organizado por la Bolsa de Valores de Colombia; este juego permite observar que posición entre los participantes alcanzaría un jugador que hubiera utilizado la metodología propuesta como herramienta para tomar las decisiones de inversión, compra y venta de acciones dentro del contexto del juego.

Adicional al mes de Octubre de 2001, se prueba la metodología en los meses de noviembre, diciembre segunda semana de noviembre donde comienza un movimiento alcista con algunas correcciones, esta tendencia permanece hasta el final del mes de enero de 2002. Este comportamiento del mercado permite aplicar la metodología en tres momentos antagónicos del mercado.

Para el caso de la bolsa de Nueva York se selecciona un periodo donde las series no fueran afectadas por el comportamiento anormal de la

de 2001 y Enero de 2002; en estos meses el mercado presenta diferentes comportamientos (ver Figura 3); hasta la primera mitad del mes de octubre el mercado presenta una fuerte caída, en menos de quince días transables, el índice de la Bolsa de Colombia IGBC cae 150 puntos, lo que corresponde a una caída aproximada del 16%. Luego de este periodo, el comportamiento del mercado representado en el IGBC presenta un comportamiento estable sin aumentos o caídas considerables; esta tendencia es interrumpida la bolsa, debido principalmente a los atentados del 11 de septiembre de 2001 en Nueva York, cuyos resultados serían poco representativos de lo que es el comportamiento real de este mercado. Se selecciono el periodo comprendido entre la primera semana del mes de julio y la última semana del mes de agosto de 2001, en este periodo de tiempo el índice Industrial Dow Jones (DJIA, por sus siglas en inglés), el principal indicador del mercado y uno de

los más representativos de la bolsa de Nueva York no presenta tendencias marcadas al alza o a la baja; sin embargo, hay semanas donde el índice presenta un comportamiento totalmente negativo y en otros casos este comportamiento es al alza (véase la Figura 4); se observa una buena dinámica en este mercado, característica que se buscada.

La información necesaria para desarrollar las pruebas se obtienen de la pagina [www.infofinanciera.com](http://www.infofinanciera.com), de donde se extrae las series históricas de los precios de las acciones para el caso de las acciones del mercado colombiano; y para el caso de las acciones estadounidenses se encuentran en [www.yahoo.com](http://www.yahoo.com).

La estrategia empleada en el desarrollo del modelo es suponer que cada lunes el inversionista realiza las corridas del modelo para obtener las políticas de compra y venta de la semana, permitiendo a su vez realizar los ajustes diarios necesarios, en caso tal que el comportamiento de los precios se aleje de la estrategia inicial, es decir le permite al modelo realizar los ajustes requeridos.

Para llevar a cabo la metodología planteada es necesario de antemano ceñirse a los pasos allí expuestos, el trabajo que se presenta a continuación tiene como objetivo ilustrar la utilización del modelo y no de obtener una alta rentabilidad.

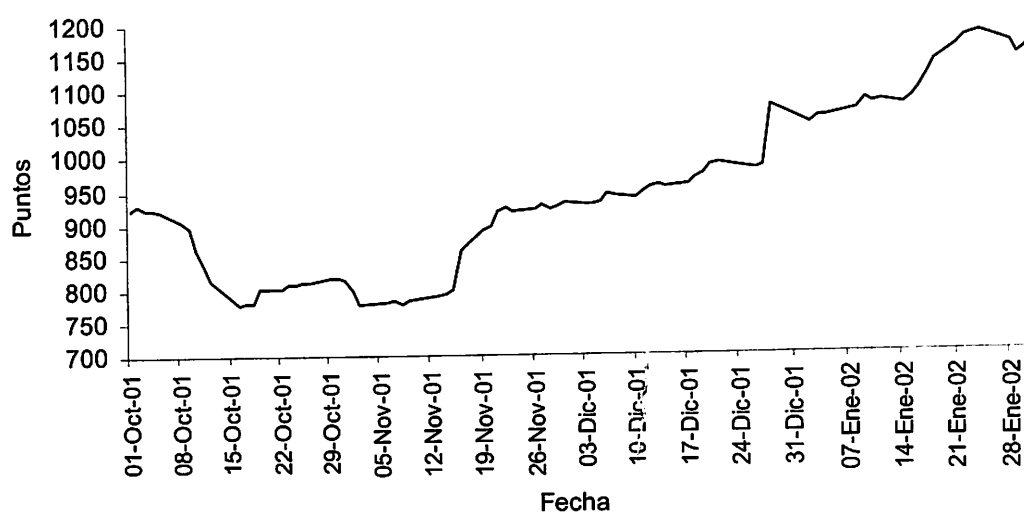


Figura 3. Índice General de la Bolsa de Colombia octubre de 2001– enero de 2002.

### 5.1 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS FINANCIEROS

Dado que el mercado Colombiano se ha caracterizado por ser un mercado pequeño, poco líquido y altamente concentrado, solo unas pocas empresas presentan una frecuencia de negociación alta de sus acciones; esta situación se presenta así, ya que unas pocas acciones captan la atención de los inversionistas (Gómez, 2000). La metodología que se propone requiere que los instrumentos que se seleccionen presenten gran dinamismo en sus precios para poder tener opciones de rentabilidad en el corto plazo.

Para el caso colombiano se seleccionaron 10 de las acciones con mayor bursatilidad en el mercado colombiano según la Superintendencia de Valores ([www.supervalores.com](http://www.supervalores.com)). Cabe anotar que este grupo se selecciona de acuerdo con su

transaccionalidad, es decir con base a la rotación de los inventarios cuyo propósito principal es el de disminuir el riesgo de liquidez que es crítico para el modelo.

Con el propósito de conformar un portafolio representativo de cada sector de la economía, se seleccionaron las siguientes acciones del mercado: Valores Bavaria, Banco de Bogotá, Compañía Colombiana de Tabaco Coltabaco, Cementos Caribe, Bavaria, Almacenes Éxito, Cementos Paz del Río, Cementos Argos, Cadenalco y Bancolombia.

Para el caso de la bolsa de Nueva York se trabaja con las 30 acciones que hacen parte del índice Dow Jones Industrial: Alcoa inc., American Express, AT&T, Boeing, Caterpillar Inc., Citigroup, Coca Cola, Du Pont, Eastman Kodak, Exxon, General Electric, General Motors, Hewlett-Packard, Home Depot, Honeywell, IBM, Intel, International Paper,

Johnson & Johnson, JP Morgan Chase, McDonalds, Merck & Co., Microsoft, Minnesota Mining, Philip Morris, Procter & Gamble SBC, United Tech CP, Wall Mart Stores, Walt Disney.

Se trabaja con todas las acciones del Dow Jones para realizar una comparación directa entre el comportamiento de éste índice con los resultados obtenidos al desarrollar la metodología, se persigue con esta elección un parámetro objetivo de comparación.

Para aquellos inversionistas con un mejor conocimiento del mercado y que tenga como prioridad alcanzar una alta rentabilidad con un riesgo controlado, podrá hacer una mejor composición de su portafolio en el transcurso del periodo de inversión, así como abstenerse de involucrar alguna acción que hubiera sido seleccionada para las semanas anteriores.

## 5.2 MODELOS DE PRONÓSTICO Y SERIES SINTÉTICAS.

Para pronosticar los precios futuros de las acciones se recurre en este caso al programa SAS en su modulo interactivo, el cual proporciona los parámetros del modelo que mejor se ajusta a las series históricas de precios de las acciones.

Se desarrolla un programa que genera las series sintéticas a partir de los parámetros y la varianza de los errores del modelo.

Es probable que se puedan encontrar mejores modelos empleando la teoría de series de tiempo, o con Redes Neuronales o utilizando modelos como el Browniano Simple o Geométrico o el modelo de difusión con saltos, entre otros modelos que en algunos o en todos los casos pueden dar mejores pronósticos que los obtenidos con el método utilizado. Un estudio exhaustivo para la determinación del mejor modelo de pronóstico de precios de acciones es un problema que se sale del alcance del presente trabajo.

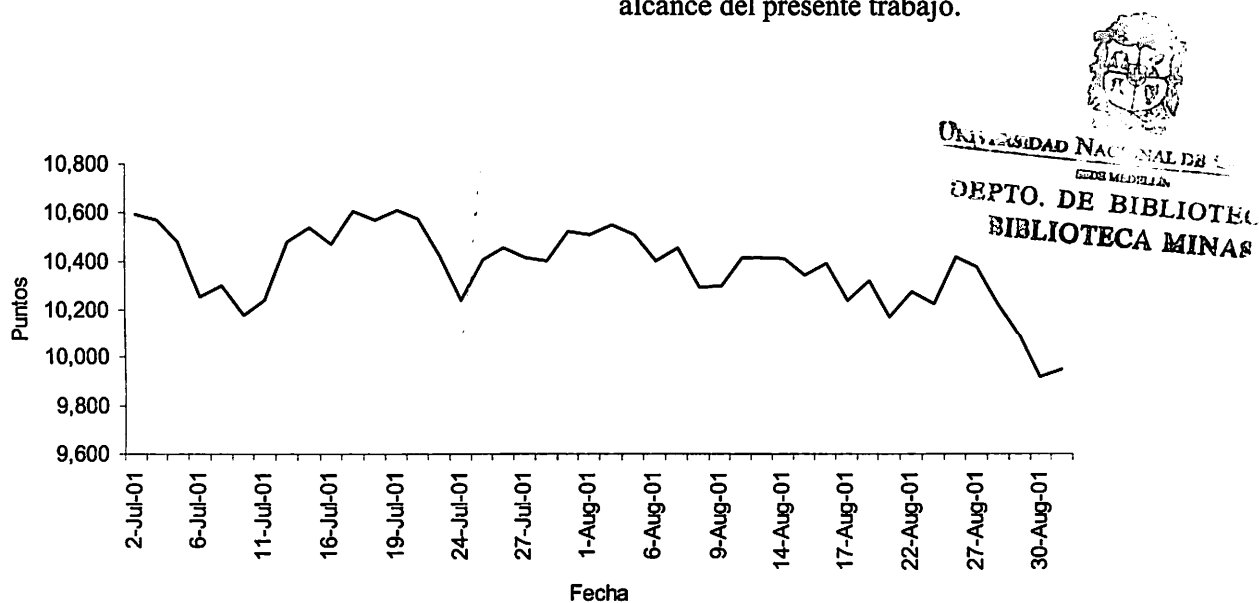


Figura 4. Índice Dow Jones 2 de julio – 31 agosto de 2001

Se eligió entre los siguientes modelos de series de tiempo y su forma logarítmica, el que más se ajustara a cada serie de precios histórica y se obtuvieron las series sintéticas de pronóstico a partir del seleccionado.

- Simple Exponential Smoothing

$$Y_t = \mu_t + \varepsilon_t$$

$$\hat{Y}_t(k) = L_t + N(0, \sigma)$$

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha) L_{t-1}$$

$$L_t = L_{t-1} + \alpha \varepsilon_t$$

- Linear (Holt) Exponential Smoothing

$$Y_t = \mu_t + \beta_t t + \varepsilon_t$$

$$\hat{Y}_t(k) = L_t + kT_t + N(0, \sigma)$$



$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \gamma(L_t - L_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1}$$

- Damped-Trend Linear Exponential Smoothing

$$Y_t = \mu_t + \beta_t t + \varepsilon_t$$

$$\hat{Y}_t(k) = L_t + \sum_{i=0}^k \phi^i T_t + N(0, \sigma)$$

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + \phi T_{t-1})$$

$$T_t = \gamma(L_t - L_{t-1}) + (1 - \gamma)\phi T_{t-1}$$

A manera de ejemplo, se presentan en la Tabla 2, los modelos obtenidos para la cuarta semana del mes de octubre. Igualmente en la Figura 5, se presenta los percentiles que se obtendrían para la serie de Argos, para probabilidades del 0%, 25%, 75% y 100%.

### 5.3 OPTIMIZACIÓN DEL PORTAFOLIO

Se definen los siguientes parámetros de entrada para desarrollar la búsqueda tabú que genera las mejores políticas de compra y venta de acciones:

- *Selección de la solución inicial:* vector de ceros como se indicó.
- *Elección del tamaño de la lista tabú para la memoria en corto plazo:* número de bits sobre dos igual a 7.

- *Elección del tamaño de la lista tabú para la memoria de largo plazo (L):* 500 soluciones.
- *Número de ciclos:* 14.
- *Criterio de finalización:* 5 reintentos para alcanzar el óptimo global.
- *Número de instrumentos financieros que tienen la opción de hacer parte del portafolio:* como se indicó en el numeral anterior se trabajara con 10 acciones para el caso colombiano y 30 acciones para el caso estadounidense.
- *Número de días:* se considera 10 días, sin embargo esta política es reevaluada cada cinco días, es decir, se obtienen las políticas de compra y venta de acciones para 10 pero solo se siguen los 5 primeros días.
- *Número de bits:* se emplea 14 bits para representar cada política.
- *Número de series:* se utilizan 50.
- *Capital inicial:* se supone un capital inicial de 100'000.000 de pesos para ser invertidos en la bolsa de Colombia y de 100.000 dólares en la bolsa de Nueva York.
- *Portafolio inicial:* se considera que el inversionista no posee acciones al comenzar el horizonte de inversión.

**Tabla 2.** Modelos de pronóstico obtenidos para la última semana del mes de octubre en el caso Colombiano

Acción	Modelo	Parámetros			
		Lt	Tt	$\phi$	$\sigma$
Argos	Damped-Trend Linear Exponential Smoothing	4380	-32.92492	0.9829	259267
Coltabaco	Damped-Trend Linear Exponential Smoothing	1478	-50.59779	0.9811	24092
Bancolombia	Damped-Trend Linear Exponential Smoothing	969.9892	-0.58196	0.9603	509.8521
Paz del Río	Log Simple Exponential Smoothing	7.15466	0	0	0.0003
Cadenalco	Damped-Trend Linear Exponential Smoothing	771.0051	-0.24611	0.9605	9652.0
Valores Bavaria	Linear (Holt) Exponential Smoothing	334.9703	-10.88748	0	947.8951
Bavaria	Damped-Trend Linear Exponential Smoothing	6860	389.2852	0.3644	23266
Bogotá	Damped-Trend Linear Exponential Smoothing	3600	-5.50161	0.9834	8655
Caribe	Damped-Trend Linear Exponential Smoothing	3800	-7.30E-07	0.0166	3469
Éxito	Damped-Trend Linear Exponential Smoothing	4500	-10.57618	0.9103	4150

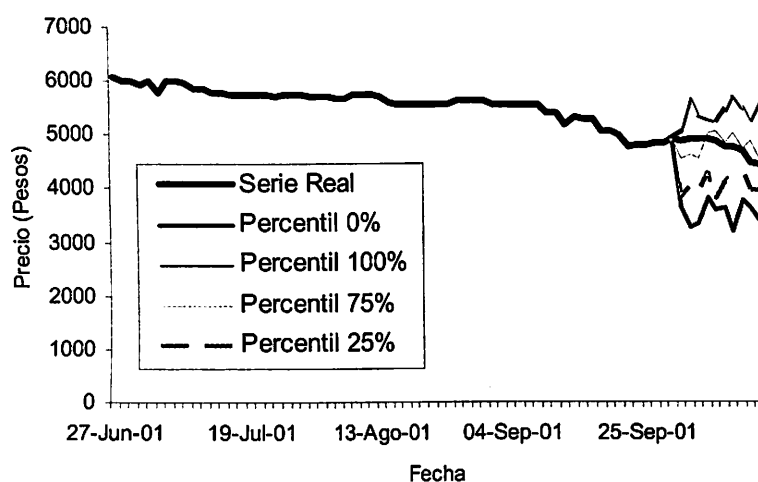


Figura 5. Percentiles para el pronóstico del precio de la acción de Argos en la primera semana de octubre de 2001

- *Porcentaje de Comisión:* se trabaja con un porcentaje del 0.3% sobre el valor total de compra y venta.
- *Volumen máximo de acciones:* se trabaja con un máximo de 9600 acciones para el caso colombiano y 600 acciones para las acciones estadounidenses, en algunas pruebas no se restringe el volumen para observar el comportamiento de la metodología en tal circunstancia.

En la Tabla 3, se presenta el portafolio óptimo encontrado mediante la metodología para el caso colombiano para la cuarta semana del mes de octubre.

#### 5.4 SIMULACIÓN DEL FLUJO DE CAJA

Para el desarrollo de este punto es necesario incorporar el precio actual de las acciones; dado estos precios y de acuerdo a la capacidad de compra del inversionista, se calcula el número de acciones que podrán entrar al portafolio; el modelo hace una redistribución de los recursos disponibles como se indicó anteriormente.

Para probar el modelo se crea un programa para simular el comportamiento real de las políticas de compra y venta arrojadas por la metodología, respetando los ajustes que se le deben hacer a estas políticas y que son sugeridas por el modelo.

Dicho portafolio óptimo que se presenta en la Tabla 3, representa el portafolio que maximiza el VPN promedio evaluado en cada una de las series sintéticas, pero el portafolio óptimo puede ser imposible de llevar a cabo debido al comportamiento real de los precios de las acciones,

por lo tanto es necesario ajustar el portafolio óptimo a un portafolio que sea consecuente con la realidad; este portafolio se presenta en la Tabla 4 como portafolio real. En la Tabla 4 se observa que algunos valores son menores que los que aparecen en la Tabla 3, esto debido a que la capacidad de compra real del inversionista no fue suficiente para obtener la cantidad de acciones que sugiere la metodología.

Tabla 3. Portafolio óptimo para la cuarta semana del mes de Octubre. Caso colombiano.

Acción	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Argos	0	0	0	9600	0
Coltabaco	0	1	0	9600	0
Bancolombia	0	0	0	0	0
Paz del Río	1	0	0	0	0
Cadenalco	1	9600	0	9600	0
Valores Bavaria	0	2	2	9600	0
Bavaria	1	9600	7999	0	0
Bogota	4095	0	0	0	0
Caribe	0	9600	64	64	0
Éxito	0	0	0	0	0

Tabla 4. Portafolio real para la cuarta semana del mes de Octubre. Caso colombiano.

Acción	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Argos	0	0	0	7642	0
Coltabaco	0	1	0	1	0
Bancolombia	0	0	0	0	0
Paz del Río	1	0	0	0	0
Cadenalco	1	9600	0	0	0
Valores Bavaria	0	2	0	0	0
Bavaria	1	9573	7999	0	0
Bogota	4095	0	0	0	0
Caribe	0	3502	64	64	0
Éxito	0	0	0	0	0

### 5.5 RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL CASO COLOMBIANO

La primera prueba que se le realiza es la simulación del juego *Bolsa Millonaria* organizado por la Bolsa de Valores de Colombia, juego que se realizó entre el 10 y el 26 de octubre de 2001. Este juego presenta reglas y características que se respetan dentro de la simulación, entre las de mayor importancia están: un porcentaje de comisión del 0.3% y una cantidad máxima de acciones de cada empresa que se pueden transar en un día.

Se aplica la metodología como se explicó en los apartados anteriores, con un capital inicial de 100'000.000 de pesos como lo indican las reglas del juego.

Al final del periodo de juego se obtiene una rentabilidad de -0.36%; ella se explica por el comportamiento del mercado en el mes de octubre de 2001 (véase la Figura 6) donde el Índice General de la Bolsa de Valores de Colombia (IGBC) cae en un 11.4%, y por supuesto este comportamiento del mercado no es ajeno a las acciones elegidas para hacer parte del portafolio, donde las acciones presentan una tendencia a la baja, muy marcada para el caso de las acciones de Argos y Coltabaco. Al final del periodo, todas las acciones presentan una rentabilidad negativa, las acciones del Coltabaco presentan una caída del 48.4% siendo ésta la más alta; las acciones menos perjudicadas durante el periodo son las de Cementos Paz del Río que caen un 0.68%.

Los equipos que participaron en el juego *Bolsa Millonaria* obtuvieron una rentabilidad promedio de -6.0%, con la rentabilidad obtenida con la metodología se habría alcanzado el puesto 18 en la clasificación final entre 87 equipos participantes.

Por las características del mercado para este periodo es poco probable obtener una rentabilidad positiva, como lo demuestran los resultados del juego donde solo 13 equipos obtienen una rentabilidad positiva, y alcanzan una rentabilidad superior al 5% solo 4 de

los 87 equipos participantes; estas rentabilidades pueden ser producto de manejo de información privilegiada. El jugador que participa siguiendo la metodología propuesta alcanza una posición superior al 80% de los equipos participantes como se observa en la Figura 7.

La Figura 7 se obtiene suponiendo que cada una de las rentabilidades obtenidas por cada jugador es equiprobable, esto para ser comparada con la Figura 8 que ilustra la rentabilidad obtenida por la estrategia optima en cada una de las series sintéticas, donde cada una de estas se supone equiprobable.

Se observa al comparar estas Figuras, que con la metodología propuesta se reducen los escenarios probables, reduciendo así el riesgo; muchas de estas series sintéticas reflejan comportamientos del mercado mucho más bajos que el ocurrido en la realidad, sin embargo se observa que aun en estas circunstancias la estrategia optima no presenta una rentabilidad tan baja como la que obtienen algunos de los participantes.

Se supone ahora que un inversionista planea invertir en la bolsa de Colombia 100'000.000 de pesos durante un periodo de tres meses comenzando la primera semana del mes de noviembre de 2001, entre sus posibilidades de inversión esta la renta fija con una rentabilidad igual a la DTF para la fecha 11.38% a 90 días efectiva anual o la inversión en renta variable, para obtener su portafolio el inversionista tiene la opción de recurrir al modelo de Markowitz o a la metodología propuesta.

Se presenta además la posibilidad de un portafolio igual a la totalidad del mercado, es decir, su porcentaje de rentabilidad es igual al porcentaje de aumento o disminución del IGBC, para este inversionista no se considera el pago de comisión lo que representa una situación ventajosa a la hora de ser comparado con los resultados de la metodología propuesta. Un portafolio de este tipo es poco probable que se de en la realidad.

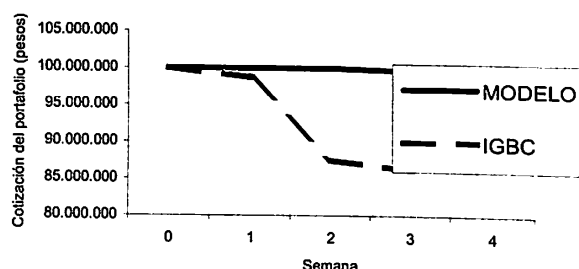
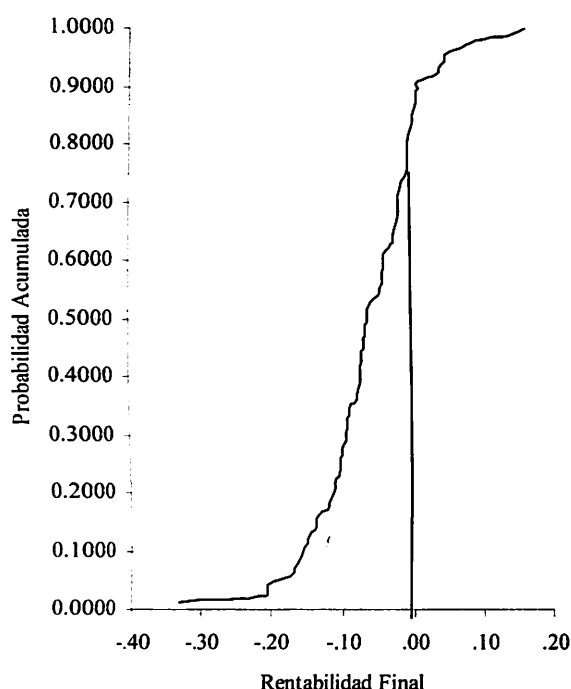


Figura 6. Comparación entre el resultado obtenido al aplicar el modelo y el índice comportamiento del IGBC.



**Figura 7.** Ranking Juego Bolsa Millonaria.

Dado que el modelo de Markowitz genera un portafolio que en teoría es rentable a largo plazo, se elabora tal portafolio al comenzar el horizonte de inversión, se hacen compras o ventas de acciones en el resto del periodo y la totalidad de las acciones se venderán al finalizar el mes de Enero de 2002, cuando se supone acaba el periodo de inversión. La cotización del portafolio de Markowitz se ilustra semana a semana en la Figura 9.

La rentabilidad que ofrece el portafolio de Markowitz al final del periodo de inversión es 1,14%.

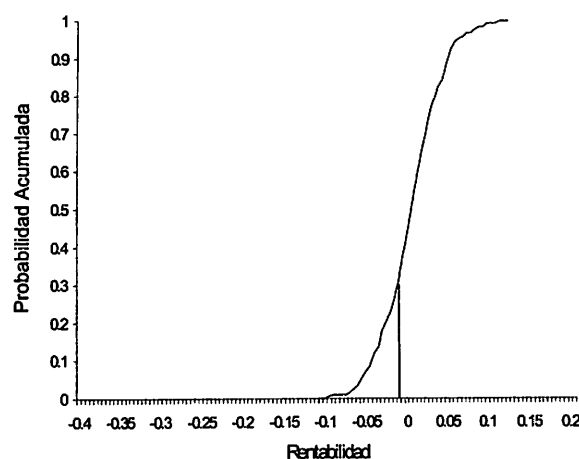
Para la utilización de la metodología planteada el inversionista tiene la opción de plantear algunos parámetros que dependen entre otros aspectos de la aversión al riesgo que éste presente.

Se plantean tres combinaciones de parámetros diferentes para emplear la metodología, utilizando 50 series sintéticas y sin restricciones sobre la cantidad de acciones de cada empresa, una segunda estrategia se realiza con 50 series pero con un número limitado de acciones dentro del portafolio, una última estrategia que se prueba entre muchas otras posibles es correr el modelo con 200 series sintéticas y un número limitado de acciones de cada empresa. Para el caso que se considera 200 series

sintéticas se presenta un comportamiento muy plano donde la metodología propone pocos movimientos de compra y venta, se logra una rentabilidad -3.22%.

Cuando se consideran 50 series y no se restringe la cantidad de acciones de una empresa dentro del portafolio, se está optando por una estrategia riesgosa ya que no se considera el concepto de diversificación dentro del portafolio, donde las políticas que se proponen se podrían resumir como una apuesta del todo o nada. Además se corre un alto riesgo de liquidez ya que para seguir las políticas planteadas por la metodología se debe transar un alto volumen de acciones que difícilmente el mercado Colombiano lo pueda ofrecer o demandar según el caso. Con esta estrategia se obtiene una rentabilidad del 27%, esta rentabilidad es alta, cumpliéndose la premisa teórica: A mayor riesgo mayor rentabilidad.

Al limitar el número de acciones y utilizar 50 series sintéticas, se logra al final del periodo una rentabilidad del 18.9%; para esta solución se ha diversificado el portafolio y se ha transado con un volumen bajo de acciones, máximo 9600 acciones de cada empresa. Esta parece ser la mejor decisión que puede tomar el inversionista planteado.



**Figura 8.** Valor presente neto evaluado en la serie sintética

## 5.6 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA BOLSA DE NUEVA YORK

Para el caso de la bolsa de Nueva York se desarrolla la metodología con varias combinaciones de parámetros, en cada una de estas estrategias la metodología logra un rendimiento superior al del

mercado, incluso en los casos donde no se consideró el pago de comisión se logran rentabilidades positivas, en un periodo donde el mercado esta a la baja y ve caer su índice un 4.5%.

En la Figura 9 se ilustran los resultados obtenidos. Las siglas ILIM indica que no se limitó el número de acciones de cada empresa dentro del portafolio, la sigla LIM600 por el contrario significa que se

limitó a 600 acciones de cada empresa, 0% y 0.3% hacen referencia al porcentaje de comisión que se consideró; por último el 200 que esta presente en las dos últimas series de la Figura 9 corresponden al número de series sintéticas que se generaron para desarrollar la metodología, en los casos que este número no está explícito el número de series es igual a 50.

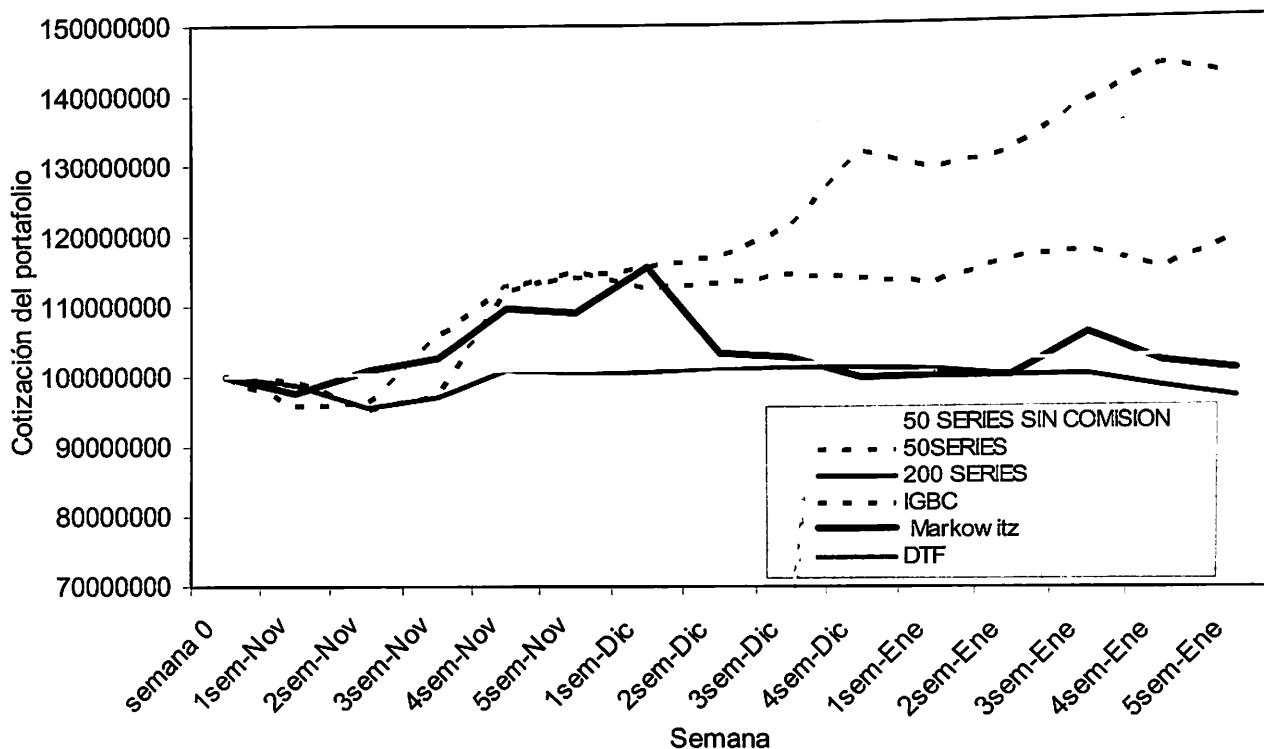


Figura 9. Resultados de las posibles inversiones en la bolsa de Colombia para un periodo de 3 meses.

Tabla 5. Resultados de la metodología para el juego de Bolsa en el caso colombiano.

Semana	IGBC	Metodología
0	100000000	100000000
1	98627328.9	99953920
2	87474242.3	99909568
3	86223920.3	99589753.6
4	87290718.6	99639625.6

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con el estudio llevado a cabo y los resultados obtenidos con el nuevo método planteado, se establecieron una serie de conclusiones tendientes a contribuir al mejoramiento de la gestión y la aplicabilidad de este, que, combinado con otros tipos de análisis, permite al inversor dentro del muy volátil mercado colombiano, operar y mejorar sustancialmente las

estrategias de compra y venta de activos financieros en el mercado bursátil.

En el entorno colombiano los criterios de decisión de los inversionistas se basan más en la especulación que en un análisis real del comportamiento de los precios. El Análisis Fundamental es solo utilizado intuitivamente debido a que el inversionista es una persona informada del entorno macro y macroeconómico; con base en esta información y con un conocimiento obtenido por la experiencia, el inversionista colombiano toma las decisiones de vender o comprar de acuerdo con su conocimiento empírico del mercado.

Indudablemente, la integración del Análisis Fundamental y el Análisis Técnico, es una herramienta de gran uso por los analistas en el mundo. De manera que con el apoyo de la metodología propuesta, los inversionistas podrían

mejorar sustancialmente sus estrategias de que se deriva de los procesos de compra y venta de títulos en la bolsa.

Los métodos de análisis conocidos hasta el momento incorporan el análisis del riesgo que asume el inversionista en un determinado periodo de tiempo, sin embargo dichas metodologías son complicadas y requieren un mayor tiempo de procesamiento de datos. Lo cual induce a que en el corto plazo, la medición de riesgo debe representar una función más del administrador financiero.

Al lograr con la metodología rentabilidades del orden 18% en tres meses para el mercado colombiano y del 2% en un mes para el mercado estadounidense, genera gran motivación para seguir investigando en el tema.

Un modelo teórico deberá permitir la incorporación de parámetros objetivos, al igual que de parámetros

negociación y, por ende, optimizar la rentabilidad subjetivos provenientes del juicio del experto para que el modelo sea exitoso en la práctica.

El conocimiento adquirido por los agentes que intervienen en el mercado de valores, para el caso colombiano adquirido más por la experiencia que por la academia; es importante y valioso debido a que la experiencia adquirida por dichos agentes puede ser definitiva en el momento de crear un modelo ajustado a la realidad y que permita hacer predicciones confiables. Sin embargo, la falta de una metodología robusta y estructurada lleva a que la inversión en acciones se convierta en juego de azar o en una competencia de información privilegiada y no en el producto de un proceso de una toma de decisiones serio y profesional.

**Tabla 6.** Resultados de la metodología para el caso colombiano entre noviembre de 2001 y enero de 2002.

		IGBC	ILIM50	LIM50	LIM200	Markowitz	DTF
Noviembre	semana 1	100000000	100000000	100000000	100000000	100000000	100000000
	semana 2	95761920	99059253.7	99417737.1	98851541.2	97702404	100203214
	semana 3	96242653.7	92717243.6	95429328.5	95452517.6	100983718	100406429
	semana 4	105658150	96146053.7	97223313.4	97002358.9	102554809	100609643
	semana 5	112802764	93828284.7	111971637	100906633	109705659	100812857
Diciembre	semana 1	114249883	94539617.1	115019313	100550945	109181325	101016071
	semana 2	115553151	125113835	112602828	100677886	115691472	101219286
	semana 3	117096171	125520420	113338976	101102064	103319777	101422500
	semana 4	121148597	126667838	114275559	101073160	102635250	101625714
Enero	semana 1	131662036	125248026	113704289	101073160	99828327	101828929
	semana 2	129298940	123127789	113303208	100866264	99861941	102032143
	semana 3	131812034	119916894	116411959	100067767	99945670	102235357
	semana 4	138609929	125249424	117614083	99930722.8	105770698	102438571
	semana 5	143476283	125628868	115114046	98256526.3	101846578	102641786
	semana 5	141983672	127037532	118933161	96777294.1	100463182	102845000

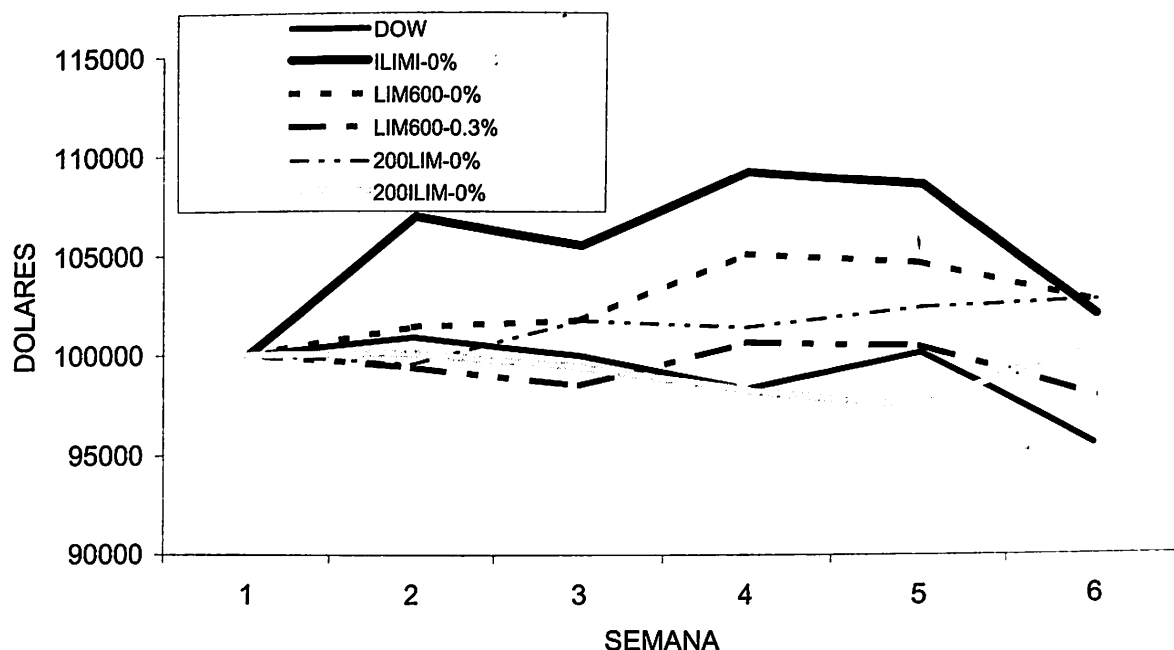


Figura 17. Resultados obtenidos al aplicar la metodología en la bolsa de N.Y.

Tabla 7. Resultados obtenidos en la bolsa de Nueva York

Agosto	DOW	ILIMI-0%	LIM600-0%	LIM600-0.3%	200LIM-0%	200ILIM-0%
Semana 0	100000	100000	100000	100000	100000	100000
Semana 1	100922.656	106938.176	101452.66	99416.4834	99580.637	100135.064
Semana 2	99995.968	105516.634	101778.645	98536.5121	101772.621	99439.529
Semana 3	98311.4565	109142.79	105049.51	100619.774	101387.497	98247.5086
Semana 4	100062.4	108407.511	104536.254	100401.493	102305.805	97353.8315
Semana 5	95517.5694	101833.555	102457.542	97827.9944	102552.285	100572.904

Contrario al pensamiento general donde se considera la inversión en acciones como una inversión a largo plazo, se prueba con los resultados obtenidos como la inversión en el corto plazo en acciones es una excelente alternativa, siempre y cuando el riesgo este controlado y la estrategia de inversión sea derivada de la aplicación de una metodología apropiada.

La metodología presentada en este trabajo puede ser usada en una gran cantidad de problemas donde no se tiene certeza sobre las variables que afectan la solución. La optimización bajo incertidumbre que se plantea en el presente trabajo podrá ser adaptada por ejemplo al problema de planeación de producción con demanda incierta.

En el presente trabajo se logra estructurar una metodología cuyo resultado es una estrategia completa de compra y venta de acciones, lo que la hace potencialmente superior a técnicas como el Análisis Técnico o el Fundamental que no indican cuantas acciones comprar de una determinada empresa o cuantas acciones del portafolio vender,

solo indican la tendencia que podría tener el precio de una acción determinada. La metodología al indicar el momento en que se debe vender la acción toma ventaja al modelo de Markowitz y al de Sharpe, ya que estos indican cuales acciones se deben compra pero no indica en que momento se debe vender aspecto fundamental en una inversión. Además estos dos modelos son utilizados para la inversión de largo plazo, dando resultados poco atractivos en el corto plazo como se comprobó en el presente trabajo.

Para seleccionar los activos financieros que pueden hacer parte del portafolio de inversión, se debe estructurar una metodología que involucre sistemas de análisis del mercado, tales como el análisis técnico y el análisis fundamental. Esta metodología debe permitir buscar oportunidades de inversión en una gran cantidad de mercados, incorporando diferentes instrumentos financieros, como la renta fija, opciones y futuros, divisas, entre otros activos financieros. Las redes neuronales artificiales y lógica difusa, modelos como el Browniano Simple o



Geométrico, son algunas de las herramientas que se están desarrollando para obtener mejores pronósticos del precio de los instrumentos financieros. Se recomienda como trabajo futuro la exploración de estas herramientas para buscar mejorar los pronósticos, que generarían a su vez mayor confiabilidad de la metodología propuesta en el presente trabajo; igualmente deberían considerarse otras medidas de riesgo como la desviación estándar de los retornos. Una exploración más detallada debería ser realizada.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARANGO, C., Y CARDONA, J. *Rentabilidad de las Acciones frente a otros Títulos Valores*. Trabajo de grado. Universidad Nacional Sede Medellín, Facultad de Minas. 1984.
2. ARROYAVE, Iván. "Determinante del Precio de las Acciones en Colombia: Un Análisis Econométrico." *Ecos de Economía*. Universidad EAFIT, Medellín, No.3: pp. 4-42. Dic., 1996.
3. BIZARRO. "¿Que es Análisis Fundamental y Análisis Técnico?" 2001. En Línea: <http://www.alfil.com/preguntas/pregun10.htm>.
4. BOTERO, R., BUILES, A., Y PEREZ N. *El Análisis Técnico Aplicado a la Bolsa de Medellín*. Monografía. Medellín, Colombia. Universidad de Antioquia. 2000.
5. COSTA, L. Y FONT, M. "Nuevos Instrumentos Financieros en la Estrategia Empresarial." Segunda edición. Editorial ESIC. Madrid, 1992.
6. EL COLOMBIANO. "Bolsas piden estimular la oferta de Títulos" Medellín, 27 de abril de 1998. pp. 3B.
7. ELLIOT. *Análisis Técnico y Fundamental*. 2000. En Línea: <http://www.megabolsa.com/biblioteca/art33.htm>
8. FADUL, Maria. "Nuevo Modelo para Medir los Riesgos del Mercado (VeR) Colombiano". *Revista: Estrategia*, Bogotá, pp. 50-52. Nov., 1997
9. GLOVER, Fred W. *Tabu Search - Part I*. *ORSA Journal on Computing*, Vol. 1, No. 3, 190 - 206, 1989.
10. GLOVER, F. & Laguna, M. 1997. *Tabu Search*. Kluwer Academic Publishers. London.
11. GOMEZ G., Juan D. *Acciones: Teoría y Práctica del Mercado de Renta Variable en Colombia*. Medellín, Colombia. 1999. 222p.
12. GOMEZ G., Juan D. 2000. *Acciones Teoría y práctica del mercado de renta variable en Colombia*. Escuela de Ingeniería de Antioquia EIA. Medellín
13. GROSSMAN, J. Y ZHOGQUAN, Z. "Equilibrium Analysis of Portfolio insurance." In: *The Journal of Finance*, vol. 51, No. 4: pp 1379 - 1403. Sep., 1996.
14. JIMÉNEZ, J. Y SEJIN H. *Efectos De La Diversificación Sobre El Riesgo De Portafolios En Colombia*. Trabajo de grado Universidad Nacional de Colombia. Medellín 2000.
15. KHALFANI, Lynnette. "Cuando vender una acción". *PORTAFOLIO*, No. 1272: pp 24-25. Enero, 2002.
16. MARQUEZ, Mauricio. "Modelos para la Medición del Riesgo de Mercado". *Memos de Investigación*, Universidad de los Andes. Bogota, No. 446: pp 1- 16. Sep., 1997.
17. MARKOWITZ, Harry. "Portfolio Selection". In: *The Journal of Finance* Vol. 7, No. 1: pp. 77-91. March, 1952.
18. MEDINA, C. Y ECHEVERRI, J. "La Selección de Portafolios y la Frontera Eficiente: el caso de la Bolsa de Medellín, 1990-1992". *Lecturas de Economía* No. 39, p101-149. Julio - Diciembre, 1993.
19. PARADA, Rigoberto. "La teoría Financiera y Análisis Técnico" *Revista Universidad EAFIT*. pp 21-36. Oct. - Dic., 1999.
20. PINILLA, R., VALERO, L. Y GUZMÁN, A. *Operaciones Financieras en el Mercado Bursátil*. ED. Universidad Externado de Colombia. Bogota, Colombia. 2000. 323p.
21. RAMÍREZ G., Mauricio A. "Sector Financiero Colombiano. Sus Determinantes Estructurales en los Marcos de la Apertura Económica". Trabajo de Grado. Universidad Nacional Facultad de Ciencias Humanas y Económicas. Medellín, 1995. pp. 204
22. SÁNCHEZ, L., NÚÑEZ, C. Y COUTO, E. *Invierta con Éxito en la Bolsa de Valores*. Pearson Educación de México, S.A. México. 2000. 324 p.
23. SHAPIRO, Arnold. *A Hitchhiker's guide to the techniques of Adaptive Nonlinear Models*. Insurance Mathematics and Economics. 1999. En línea: [www.elsevier.nl/locate/econbase](http://www.elsevier.nl/locate/econbase) 1999.
24. VARIAN, Hall. "A Portfolio of Nobel Laureates: Markowitz, Miller and Sharpe". In: *Journal of Economic Perspectives*, vol. 7, No. 1: pp 159 - 169. Dic. 1993.