

Mejora de Estrategias de Deep Hedging utilizando el Modelo Chiarella-Heston basado en Agentes

Carlos Daniel Cortés Jiménez
Joel Miguel Maya Castrejón

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Modelación Basada en Agentes 2025-1

Profesor: Gustavo Carreón Vázquez
Ayudante: Marco Antonio Jiménez Limas

25 de Noviembre 2024

Agenda

- 1 Introducción
- 2 Desarrollo
- 3 Resultados
- 4 Conclusiones y Reflexiones
- 5 Bibliografía

- Los mercados financieros son sistemas complejos con múltiples agentes interactuando.
- Importancia de modelos que capturen la dinámica real del mercado para gestión de riesgos y estrategias de inversión.
- Modelos tradicionales como el Movimiento Browniano Geométrico (GBM) tienen limitaciones.
- Necesidad de modelos que reproduzcan **hechos estilizados** del mercado: volatilidad agrupada, colas gruesas, autocorrelaciones.

¿Por qué es importante abordarlo?

- Las estrategias de cobertura tradicionales pueden ser ineficientes en mercados reales.
- Subestimación del riesgo al usar modelos simplificados.
- Mejor comprensión del mercado conduce a estrategias de inversión más robustas.
- Impacto en la estabilidad financiera y en la toma de decisiones económicas.

- Uso de modelos de volatilidad estocástica y procesos de salto.
- Modelos GARCH para capturar volatilidad cambiante.
- Limitaciones al asumir comportamiento homogéneo de los agentes.
- Surgimiento de la **Modelación Basada en Agentes** para simular mercados financieros.

¿Cómo influye el uso de datos generados por el modelo Chiarella-Heston calibrado en el desempeño de las estrategias de deep hedging en comparación con el uso de datos generados por modelos tradicionales como el GBM?

- Analizar el impacto de utilizar datos simulados por el modelo Chiarella-Heston calibrado en el entrenamiento de agentes de *deep hedging*.
- Comparar su desempeño con estrategias tradicionales de cobertura y con agentes entrenados con datos generados por el modelo GBM.

Objetivos Específicos

- 1 Calibrar el modelo Chiarella-Heston utilizando datos históricos del índice Nikkei 225.
- 2 Generar datos sintéticos mediante el modelo Chiarella-Heston y el GBM para entrenar agentes de *deep hedging*.
- 3 Entrenar agentes de *deep hedging* y evaluar su desempeño en términos de ganancias y manejo del riesgo.
- 4 Comparar el desempeño de los agentes entrenados con ambos modelos frente a estrategias de delta hedging.
- 5 Analizar la influencia de los hechos estilizados en la eficacia de las estrategias de *deep hedging*.

- **Modelos Tradicionales:** GBM asume mercados eficientes y agentes homogéneos.
- **Limitaciones:** No captura volatilidad agrupada ni colas gruesas.
- **Modelo Chiarella-Heston:** Combina volatilidad estocástica con agentes heterogéneos.
- **Agentes en el Modelo:**
 - *Fundamental traders*
 - *Momentum traders* (corto y largo plazo)
 - *Noise traders*

- **Precio del activo (P_t):** Influenciado por la demanda agregada de los agentes.
- **Varianza instantánea (V_t):** Sigue un proceso de volatilidad estocástica.
- **Ecuaciones del Modelo:**

$$dP_t = P_t \left(\frac{D_t}{\lambda} \right) dt,$$

$$dV_t = \kappa_V(\theta_V - V_t)dt + \sigma_V \sqrt{V_t} dW_t^V.$$

- **Entorno:** Mercado financiero simulado con interacciones entre agentes.
- **Reglas de los Agentes:**
 - *Fundamental traders:* Compran/venden basado en la desviación del precio fundamental.
 - *Momentum traders:* Siguen tendencias a corto y largo plazo.
 - *Noise traders:* Operan aleatoriamente.
- **Simulación:** Evolución del precio y volatilidad a lo largo del tiempo.
- **Implementación:** Uso de Python y librerías para simulación y análisis.

- Uso de datos históricos del índice Nikkei 225.
- Ajuste de parámetros para minimizar la distancia entre hechos estilizados simulados e históricos.
- **Hechos Estilizados Considerados:**
 - Volatilidad anualizada.
 - Colas gruesas (estimador de Hill).
 - Autocorrelación de retornos y retornos al cuadrado.
- Selección de parámetros óptimos mediante minimización de función de distancia.

- **¿Qué es Deep Hedging?** Uso de aprendizaje profundo para estrategias de cobertura.
- **Arquitectura del Agente:**
 - Red neuronal recurrente (RNN) para manejar series temporales.
 - Función de recompensa que considera ganancias, pérdidas, costos y riesgo.
- **Datos de Entrenamiento:** Generados por el modelo Chiarella-Heston y GBM.
- **Proceso de Entrenamiento:**
 - 1 Simulación de trayectorias de precios.
 - 2 Interacción del agente con el entorno.
 - 3 Actualización de la política mediante aprendizaje por refuerzo.

- **Comparación de Estrategias:**

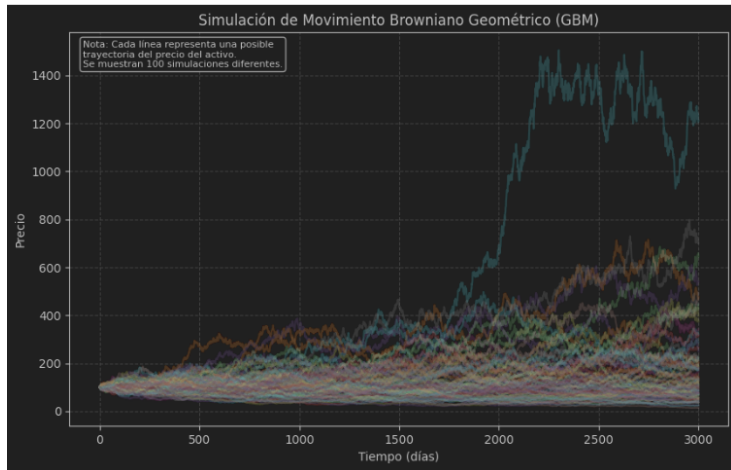
- Delta Hedging tradicional.
- Deep Hedging con GBM.
- Deep Hedging con Chiarella-Heston.

- **Métricas Evaluadas:**

- Ganancia y pérdida promedio (P&L).
- Expected Shortfall (ES).
- Resistencia a costos de transacción.

Resultados: Modelo GBM

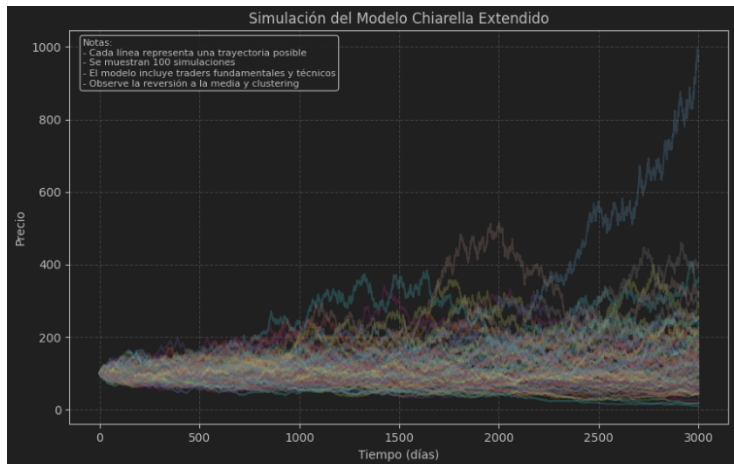
- **Simulaciones de Precios:** Trayectorias generadas por el modelo GBM.



- Las trayectorias presentan variaciones suaves y no capturan volatilidad agrupada ni eventos extremos.

Resultados: Modelo Chiarella Extendido

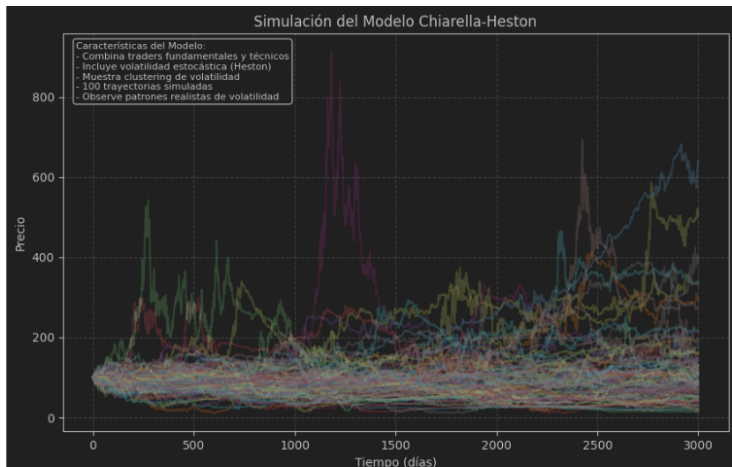
- **Simulaciones de Precios:** Trayectorias generadas por el modelo Chiarella Extendido.



- Introduce comportamientos más variados que el GBM, pero aún no reproduce completamente los hechos estilizados.

Resultados: Modelo Chiarella-Heston

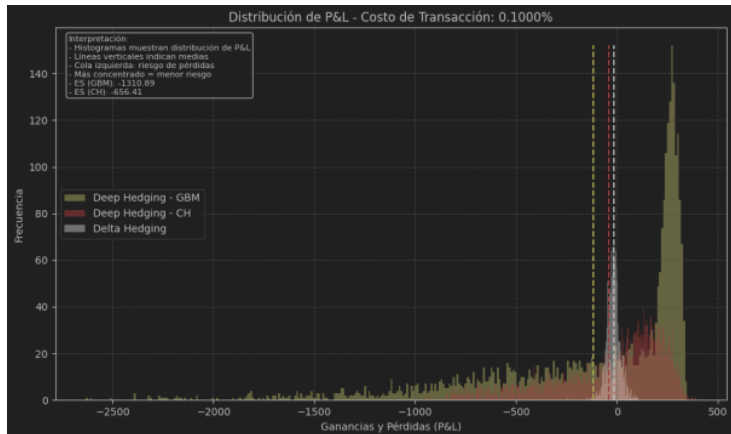
- **Simulaciones de Precios:** Trayectorias generadas por el modelo Chiarella-Heston.



- Muestra una mayor variabilidad y eventos extremos, representando mejor la volatilidad estocástica y las colas gruesas.

Resultados: Análisis de Ganancias y Pérdidas (P&L)

- Comparación del desempeño de las estrategias bajo diferentes niveles de costo de transacción.



- El modelo Chiarella-Heston muestra menores pérdidas extremas en comparación con el modelo GBM.

Resultados: Expected Shortfall (ES)

- **Expected Shortfall (ES):** Pérdida promedio en el peor 10% de los casos.

Table: Expected Shortfall para Diferentes Estrategias

TC (%)	Deep Hedging GBM	Deep Hedging Chiarella-Heston
0.10	-1310.89	-656.41
0.20	-724.44	-700.49
0.40	-819.69	-568.63
0.60	-803.28	-678.13
0.80	-1016.47	-591.62
1.00	-870.80	-672.83

- El modelo Chiarella-Heston tiene un mejor desempeño en términos de menor pérdida esperada.

Hallazgos Importantes

- Agentes entrenados con Chiarella-Heston manejan mejor el riesgo.
- Mejor desempeño en presencia de altos costos de transacción.
- Captura de hechos estilizados mejora la eficacia de las estrategias.
- El modelo basado en agentes proporciona datos más realistas para el entrenamiento.

- El uso del modelo Chiarella-Heston mejora significativamente las estrategias de *deep hedging*.
- La modelación basada en agentes permite reproducir dinámicas reales del mercado.
- Importancia de considerar comportamientos heterogéneos y volatilidad estocástica.
- Contribución al campo de finanzas computacionales y gestión de riesgos.

Trabajo Futuro y Posibles Extensiones

- Introducir nuevos tipos de agentes al modelo (e.g., traders de alta frecuencia).
- Aplicar la metodología a otros mercados e instrumentos financieros.
- Incorporar costos y restricciones realistas en las simulaciones.
- Mejorar algoritmos de entrenamiento y explorar nuevas arquitecturas de redes neuronales.

Bibliografía

- Yahoo Finance (2024). Nikkei 225 Stock Index: <https://finance.yahoo.com/quote/%5EN225/>.
- Investopedia (2024). Option Definition: <https://www.investopedia.com/terms/o/option.asp>.
- ScienceDirect (2024). Título del artículo: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214845021000995>.
- Ar5iv (2024). Título del artículo en ar5iv: <https://ar5iv.labs.arxiv.org/html/2310.18755>.
- Simudyne (2019). Computational Simulation Report: <https://simudyne.com/wp-content/uploads/2019/07/computational-simulation-rebranded-new-address.pdf>.
- Mazars (2021). Deep Hedging: Application of Deep Learning to Hedge Financial Derivatives: https://financialservices.forvismazars.com/wp-content/uploads/2021/08/Mazars_Deep-hedging-application-of-deep-learning-to-hedge-financial-d.pdf.
- ArXiv (2018). Deep Hedging: <https://arxiv.org/abs/1802.03042>

¡Gracias por su atención!

¿Preguntas?