

Crisis de Liquidez en un Mercado de Opciones: Un Modelo Basado en Agentes

Los π mosqueteros

3 de diciembre de 2025

Universidad de las Américas Puebla

Motivación y objetivos

Descripción intuitiva del modelo

Resultados visuales

Limitaciones, extensiones y conclusiones

Motivación y objetivos

- Los mercados de opciones son clave para:
 - Cobertura de riesgos
 - Especulación
 - Formación de precios
- En episodios de estrés pueden aparecer:
 - Ventas forzadas y *margin calls* en cadena
 - Ampliación brusca de *spreads*
 - Desaparición temporal de liquidez
- Estos fenómenos dependen de:
 - Apalancamiento
 - Reglas de margen
 - Estructura de red entre participantes

¿Por qué usar modelos basados en agentes (ABM)?

- Modelos clásicos: suelen asumir un agente representativo y mercados líquidos.
- Pero en crisis importa:
 - Quién está apalancado
 - Quién provee liquidez
 - Cómo se conectan los balances
- Un ABM permite:
 - Representar tipos de agentes con reglas distintas
 - Observar cómo surgen cascadas y contagio *desde abajo*
 - Probar “qué pasaría si...” cambiamos márgenes, apalancamiento, etc.

Objetivo de la presentación

- Mostrar un modelo sencillo de mercado de opciones basado en agentes.
- Enseñar, con ejemplos visuales, cómo:
 - Un shock de precio puede generar una crisis de liquidez.
 - Los traders apalancados amplifican el choque.
 - La red de agentes se fragmenta en plena crisis.
- Discutir qué nos dice el modelo sobre:
 - Límites de apalancamiento
 - Políticas de margen
 - Medición de riesgo sistémico

Descripción intuitiva del modelo

Mercado simulado

- Un solo activo subyacente S_t (precio de una acción).
- Opciones call europeas at-the-money sobre ese activo.
- Tiempo discreto: un “día” por paso de simulación.

Qué se simula en cada día

1. Movimiento del precio del subyacente (con posibilidad de shock).
2. Recalcular precio de la opción y volatilidad implícita.
3. Decisiones de los agentes y ejecuciones en el mercado.
4. Actualizar capital, estrés y posibles *margin calls*.

Market Makers

- Proveen cotizaciones bid/ask.
- Gestionan inventarios de opciones.
- A más volatilidad o inventario, más ancho el *spread*.

Especuladores

- Reglas simples de:
 - *Momentum*: seguir la tendencia.
 - Reversión: apostar a que el precio vuelve.
- Operan si el movimiento del día supera cierto umbral.

Hedgers

- Tienen un portafolio grande de acciones.
- Usan opciones para cubrir una fracción del portafolio.
- En crisis aumentan su nivel de cobertura.

Traders apalancados

- Capital propio pequeño, exposición grande.
- Sujetos a reglas de margen.
- Si el capital cae demasiado, sufren *margin calls* y liquidaciones.

- El precio del subyacente se mueve como un proceso aleatorio “suave”.
- En un día específico se introduce un shock (por ejemplo, -10 %).
- A partir de ahí:
 - El precio de la opción cae.
 - La volatilidad implícita sube (el mercado exige mayor prima de riesgo).
- El modelo marca el régimen “CRISIS” cuando:
 - Ocurre el shock, o
 - Se acumulan suficientes *margin calls*.

Market Makers

- Si tienen demasiado inventario o la volatilidad sube:
 - Ensanchan sus *spreads* para protegerse.
 - En crisis, el *spread* se puede duplicar.

Especuladores

- Se activan sólo si el movimiento del día supera su umbral.
- *Momentum*: compran cuando el precio ya subió.
- Reversión: venden cuando el precio subió demasiado.

Reglas clave de comportamiento (II)

Hedgers

- Cada cierto número de días ajustan su cobertura.
- En crisis:
 - Aumentan el porcentaje cubierto.
 - Generan demanda adicional de opciones justo cuando hay menos liquidez.

Traders apalancados

- Comparan su capital con el valor de la posición.
- Si el colchón de capital es demasiado pequeño:
 - Sufren una *margin call*.
 - El modelo los liquida y registra una nueva liquidación.
- Varias de estas liquidaciones en cadena es lo que llamamos “cascada”.

- Un shock de precio moderado (por ejemplo, -10 %) en el paso 50.
- Población típica:
 - 7 market makers
 - 40 especuladores
 - 15 hedgers
 - 25 traders apalancados
- Volatilidad inicial: 20 %.
- Plazo de la opción: 30 días (se va reduciendo con el tiempo).
- Variamos:
 - Nivel de apalancamiento promedio.
 - Cantidad de market makers.
 - Momento y magnitud del shock.

Resultados visuales

- En el ejemplo mostrado:
 - **Estado:** CRISIS
 - Precio subyacente \approx \$91 (desde \$100)
 - Volatilidad implícita \approx 23 % (desde 20 %)
 - 22 *margin calls* acumuladas
- Con los deslizadores podemos:
 - Cambiar el número de agentes de cada tipo.
 - Mover el paso del shock.
 - Ajustar la magnitud del shock.

Current Step: 41

Market Status: CRISIS

Underlying Price: \$91.17

Implied Volatility: 22.90%

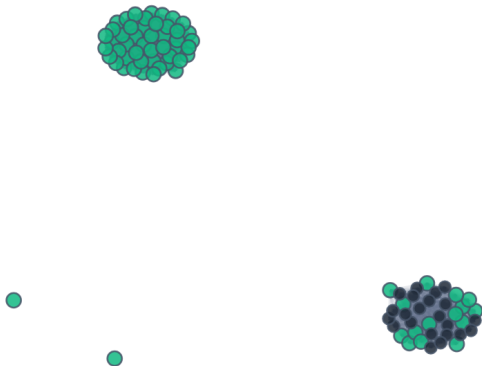
Margin Calls: 22

Model Parameters



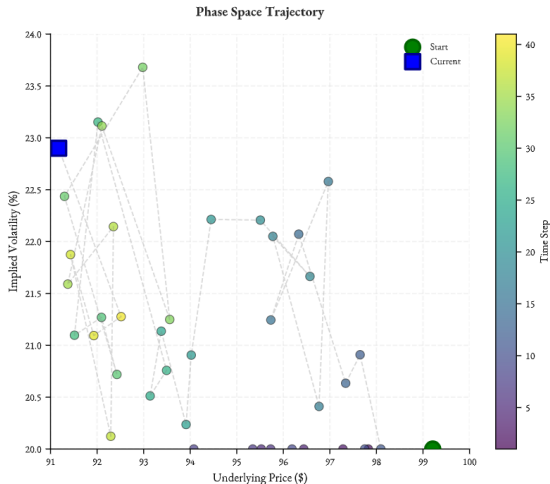
Red de agentes y contagio

Agent Network Topology (t=41)
Green: Healthy | Orange: Stressed | Red: Critical | Black: Liquidated



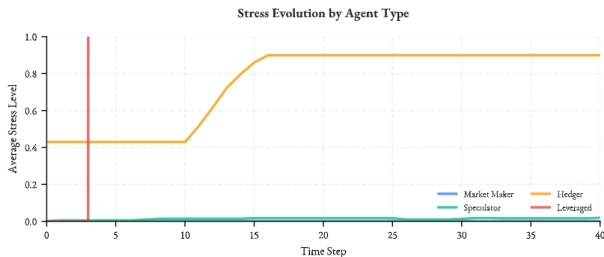
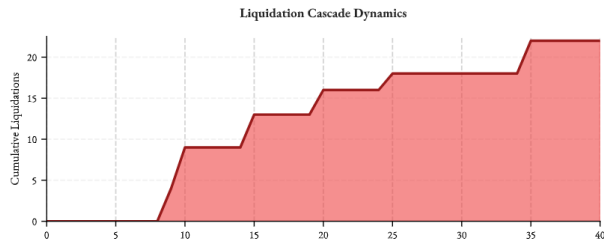
- Cada punto es un agente.
- El color indica su “salud”:
 - Verde: sano
 - Naranja: estresado
 - Negro: liquidado
- En el ejemplo:
 - La red se rompe en dos grandes grupos.
 - Varios nodos negros se concentran en un clúster.
 - Esto refleja que el mercado deja de estar bien conectado.

Espacio de fases: precio vs volatilidad



- Cada punto es un día: precio en el eje X, volatilidad en Y.
- Inicio: alrededor de (100, 20 %).
- Shock: salto brusco a menor precio y mayor volatilidad.
- Después del shock:
 - El sistema ya no vuelve a la región de baja volatilidad.
 - Se queda en un “nuevo régimen” más inestable.

Cascadas de liquidación y estrés



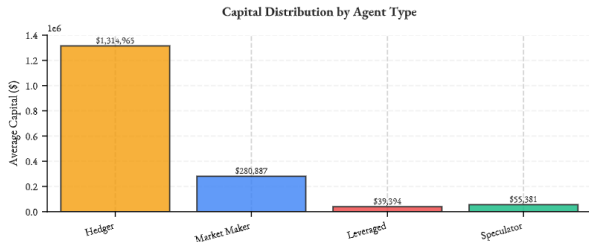
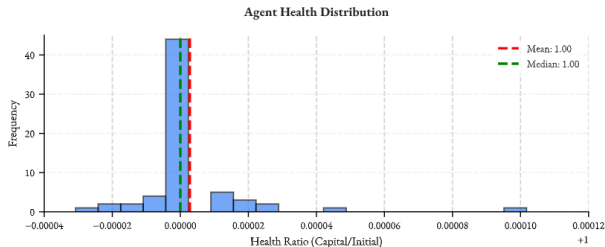
Arriba: liquidaciones acumuladas

- Curva plana antes del shock.
- Saltos en escalones después del shock.
- Cada escalón = nueva ola de *margin calls*.

Abajo: estrés promedio

- Apalancados: estrés cerca de 1 (casi todos al límite).
- Hedgers: aumentan su estrés al subir cobertura.
- MM y especuladores: estrés bajo en promedio.

Distribuciones de salud y capital



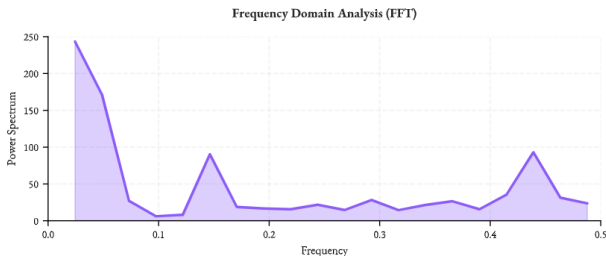
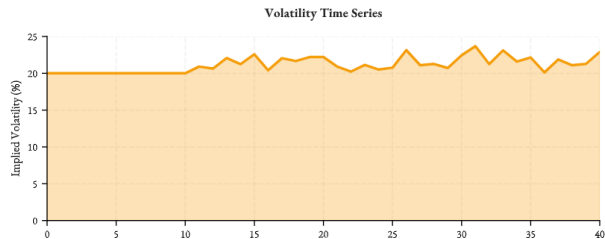
Salud de los agentes

- Mayoría cerca de 1 (capital casi intacto).
- Cola izquierda: algunos agentes muy dañados.
- Los liquidados se acumulan en la parte más baja.

Capital por tipo

- Hedgers: los más grandes.
- Market makers: intermedios.
- Especuladores: pequeños.
- Apalancados: capital promedio bajo y golpeado por la crisis.

Volatilidad a lo largo del tiempo



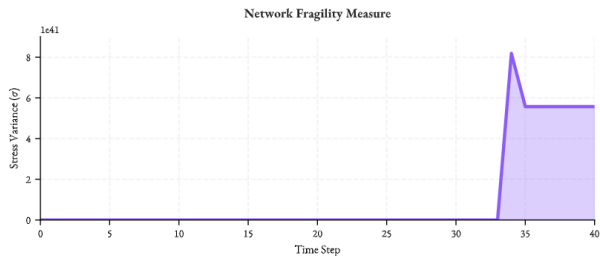
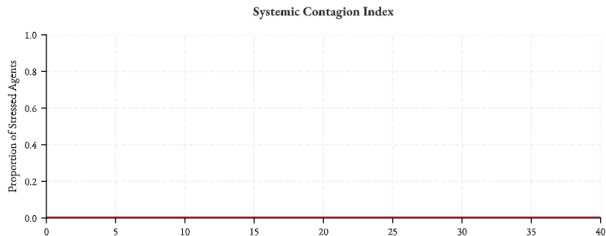
Serie temporal

- Antes del shock: volatilidad estable cerca del 20 %.
- Después: sube y se mantiene en una banda más alta.

En frecuencia (FFT)

- La mayor parte de la energía está en frecuencias bajas.
- La volatilidad responde más a movimientos de “medio plazo” que a ruido muy rápido.

Índice de contagio y fragilidad



Índice de contagio

- Mide qué proporción de agentes está seriamente dañada.
- En este ejemplo, el contagio fuerte se concentra en apalancados.

Fragilidad de red

- Captura cuán distintos son los niveles de estrés.
- Picos grandes: coexisten agentes casi intactos con otros muy dañados.

Limitaciones, extensiones y conclusiones

Limitaciones principales

- Libro de órdenes agregado:
 - No modelamos cada nivel de precio ni cada orden límite.
- Reglas de comportamiento sencillas:
 - No hay algoritmos de alta frecuencia ni estrategias demasiado sofisticadas.
- Un solo subyacente y una sola opción:
 - No hay contagio entre activos o clases de instrumentos.
- Parámetros estilizados:
 - No está calibrado contra datos reales de posiciones.

- **Microestructura más rica**
 - Libro de órdenes explícito.
 - Impacto de mercado según tamaño de la orden.
- **Red de crédito y cámara de compensación**
 - Exposiciones entre instituciones.
 - Márgenes dinámicos según volatilidad y concentración.
- **Aprendizaje y adaptación**
 - Agentes que modifican sus reglas si pierden dinero.
- **Calibración empírica**
 - Ajustar parámetros para imitar episodios históricos (2008, 2020, etc.).

- Un shock moderado puede volverse una crisis de liquidez si:
 - Hay mucho apalancamiento.
 - Las reglas de margen son laxas.
- Los traders apalancados son el principal canal de amplificación:
 - *Margin calls* y liquidaciones en cadena.
 - Aumentos de volatilidad y fragmentación de la red.
- Los ABM ayudan a pensar en diseño de políticas:
 - Límites de apalancamiento.
 - Esquemas de margen más prudentes.
 - Métricas de riesgo sistémico basadas en redes y estrés.