

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

---

Los  $\pi$  mosqueteros

2 de diciembre de 2025

Universidad de las Américas Puebla

# Contenido

Motivación y objetivos

Descripción intuitiva del modelo

Resultados visuales

Limitaciones, extensiones y conclusiones

## Motivación y objetivos

# Motivación

- 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*.

# Tipos de agentes

## Market Makers

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

## Hedgers

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

## Especuladores

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

## Traders apalancados

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

## Dinámica del precio y del mercado

- 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.

## 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”.

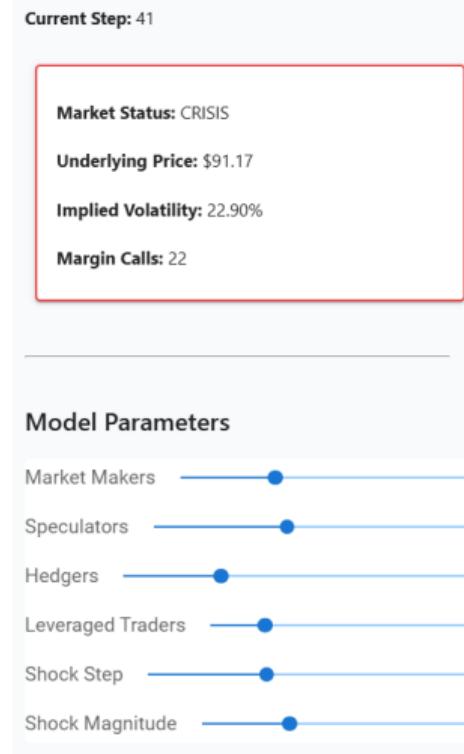
## Escenario base

- 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

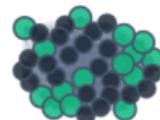
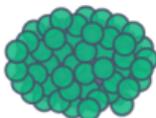
# Panel de estado del mercado

- 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.



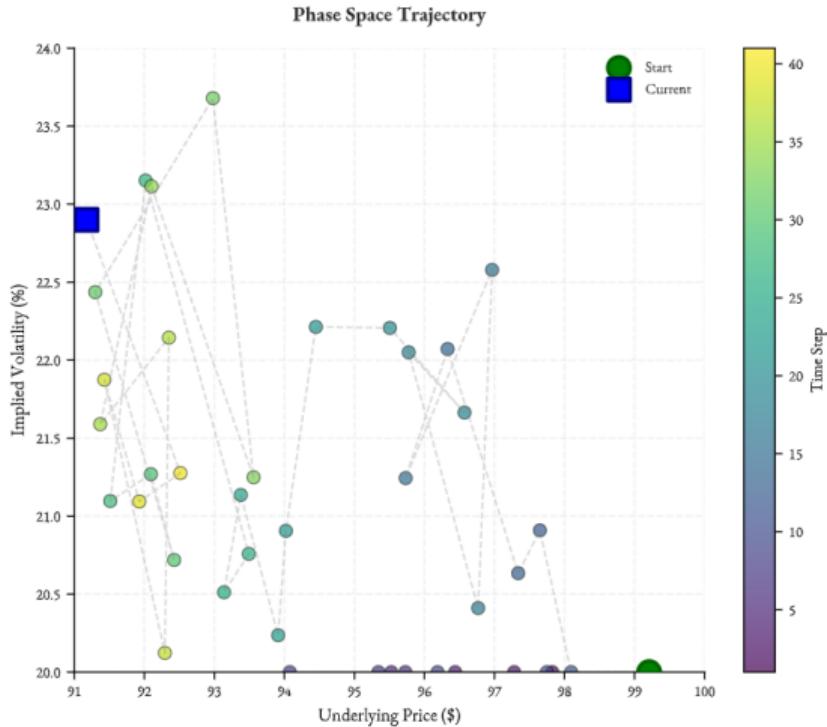
# Red de agentes y contagio

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



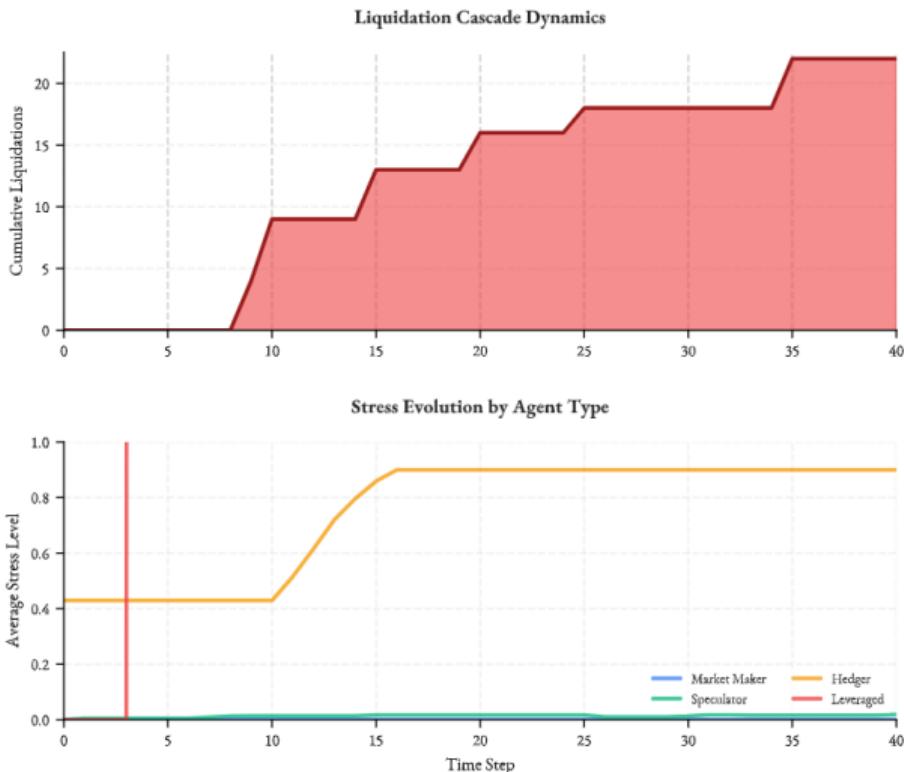
- Cada punto es un agente.
- El color indica su “salud”:
  - Verde: sano
  - Naranja: estresado
  - Negro: liquidado
- En el ejemplo:
  - La red se rompe en dos grandes grupos.
  - Varios nodos negros se concentran en un clúster.
  - Esto refleja que el mercado deja de estar bien conectado.

# 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



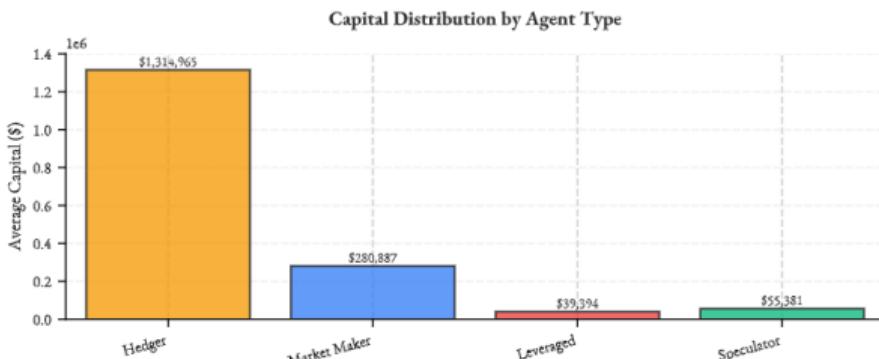
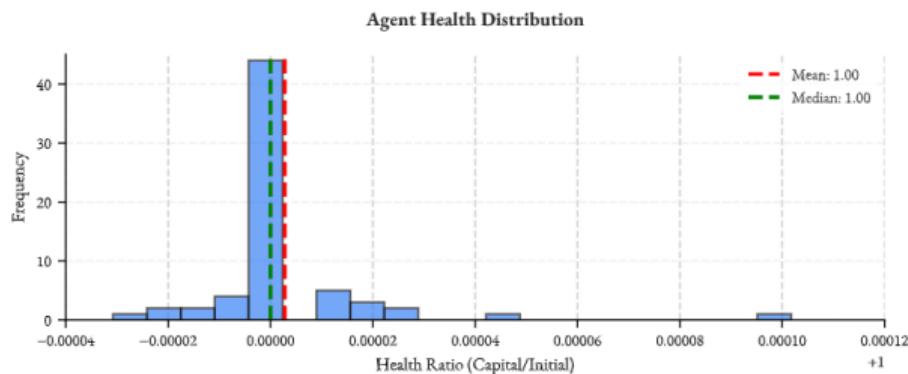
Arriba: liquidaciones acumuladas

- 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



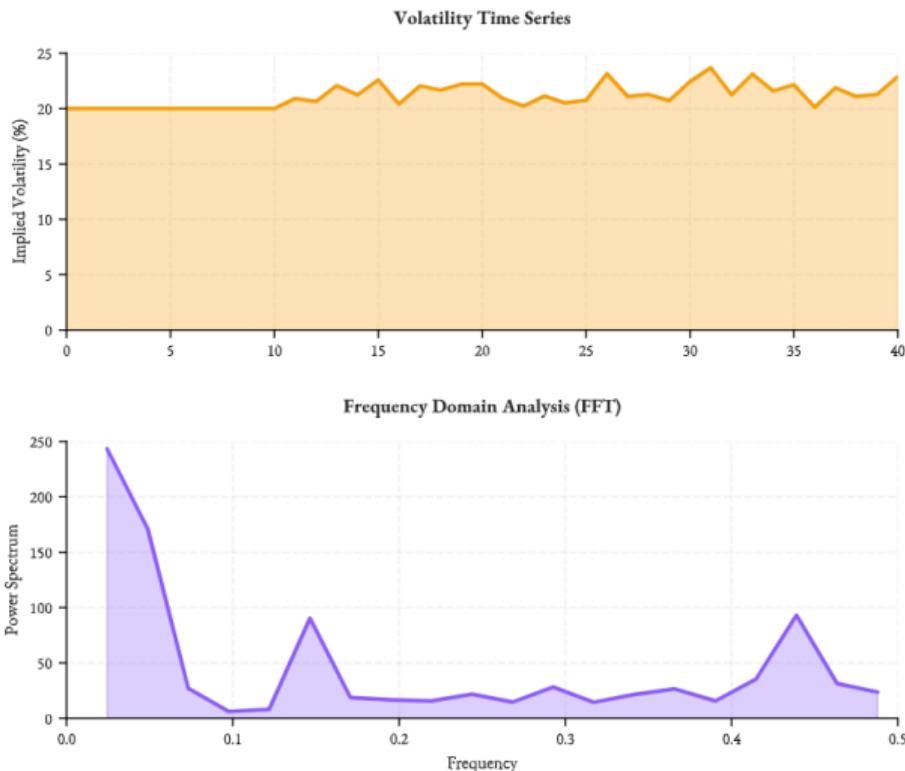
## Salud de los agentes

- 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

# Volatilidad a lo largo del tiempo



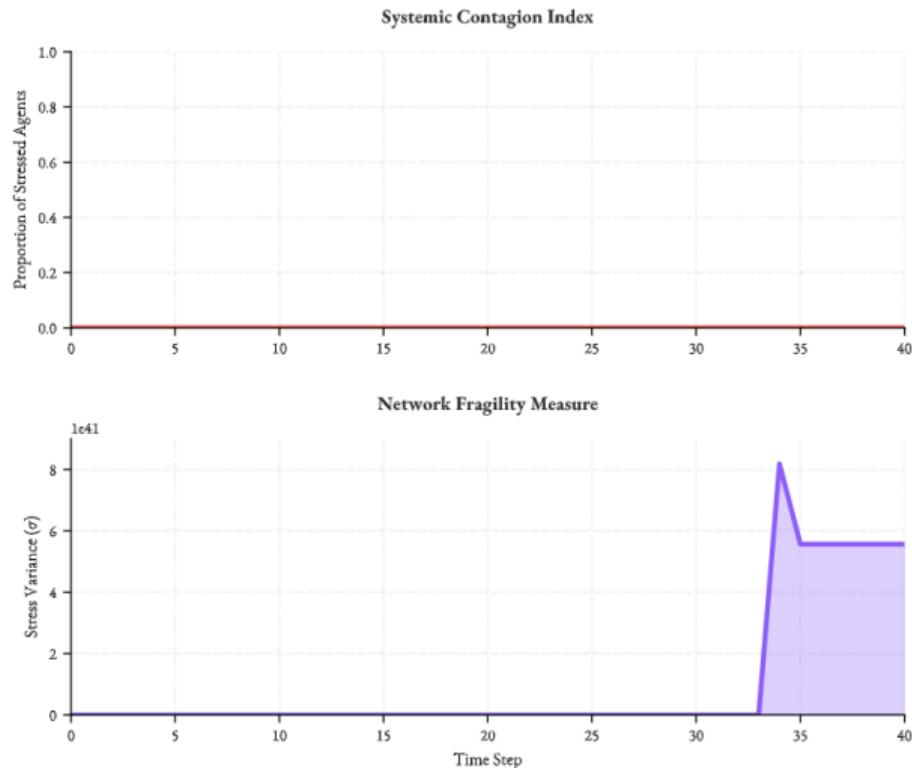
## Serie temporal

- 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.

# Extensiones futuras

- **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.).

# Conclusiones

- 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.