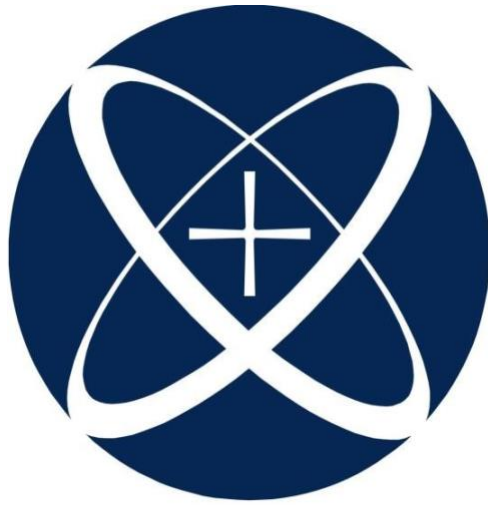


**INSTITUTO TECNOLÓGICO
Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE**



ITESO

**Universidad Jesuita
de Guadalajara**

“INTRODUCTION TO TRADING”

Asignatura:
Microestructura y Sistemas de Trading

Profesor:
Luis Felipe Gomez Estrada

Presenta:
Paulina Elizabeth Mejía Hori

Tlaquepaque, Jal. Al 7 de octubre de 2025

1. Introducción

En este proyecto se explora el diseño de una estrategia sistemática de trading para el par BTC/USDT con el propósito de maximizar el Calmar Ratio, una medida que relaciona el retorno anualizado con el riesgo asumido (máxima caída). La motivación surge de la alta volatilidad y liquidez del mercado de criptomonedas, un entorno idóneo para evaluar enfoques cuantitativos que privilegian la disciplina y el control de riesgo sobre la discrecionalidad.

El análisis se basa en precios horarios y emplea una partición cronológica 60%/20%/20% para entrenamiento, validación y prueba, con el fin de contar con una evaluación fuera de muestra. La estrategia opera posiciones largas y cortas, incorpora costos de transacción de 0.125% y exige confirmación de señal bajo una regla sencilla: la entrada se produce solo cuando al menos dos de tres indicadores coinciden en dirección.

La evaluación compara el desempeño de la estrategia frente a un benchmark de buy-and-hold y sintetiza resultados mediante métricas estándar de la industria (Sharpe, Sortino, Calmar, máxima caída y tasa de aciertos). El objetivo final es valorar si un enfoque sistemático y parsimonioso puede generar retornos ajustados por riesgo competitivos en un activo tan cambiante como Bitcoin.

2. Marco teórico

2.1. Indicadores Técnicos

- **RSI (Relative Strength Index)**

El Relative Strength Index (RSI) es un oscilador de momentum que mide la velocidad y magnitud de los cambios recientes del precio para identificar condiciones de sobrecompra y sobreventa. Se representa como una serie acotada entre 0 y 100 y, de forma tradicional, se interpreta que:

- $RSI \geq 70 \rightarrow$ zona de sobrecompra (riesgo de corrección),
- $RSI \leq 30 \rightarrow$ zona de sobreventa (posible rebote/rally).

El RSI fue introducido por J. Welles Wilder Jr. (1978) y es uno de los indicadores más difundidos en plataformas de trading.

El RSI estándar utiliza un periodo de 14 barras (ajustable). Su forma básica es:

- $RSI = 100 - 100 / (1 + RS)$

- $RS = (\text{promedio de ganancias}) / (\text{promedio de pérdidas})$

La estimación de “promedios” usa el suavizado de Wilder (análogamente a una media móvil exponencial):

1. Para el primer valor, se calculan los promedios simples de ganancias y pérdidas en la ventana inicial (p. ej., 14).
2. Para los siguientes, se suaviza recursivamente:

$$\rightarrow \text{AvgGain}_t = (\text{PrevAvgGain} \times (N-1) + \text{Gain}_t) / N$$

$$\rightarrow \text{AvgLoss}_t = (\text{PrevAvgLoss} \times (N-1) + \text{Loss}_t) / N$$

donde Gain_t es la subida positiva (si no sube, es 0) y Loss_t la bajada en valor absoluto (si no baja, es 0). Con ello, el RSI solo se aproxima a 0 o 100 en tendencias muy fuertes.

Periodo (N): N pequeño → RSI más sensible (más señales, más ruido).
N grande → RSI más suavizado (menos ruido, más rezago).

Interpretación y umbrales

- **Señales básicas:**

- Lecturas ≥ 70 : potencial sobrecompra → riesgo de pullback.
- Lecturas ≤ 30 : potencial sobreventa → probabilidad de rebote.

- **Contexto de tendencia (muy importante):**

- En tendencias alcistas, el RSI suele no caer mucho de 30; valores alrededor de 40–50 ya pueden actuar como soporte de momentum.
- En tendencias bajistas, el RSI rara vez supera 70; 50–60 puede actuar como resistencia de momentum.

Esto significa que los umbrales 30/70 pueden ajustarse según el régimen:

- En tendencia alcista, “sobreventa” práctica puede estar >30
- En tendencia bajista, “sobrecompra” práctica puede estar <70

Señales habituales

- **Salidas de extremos:**

- Señal alcista: RSI sale de la sobreventa (sube de 30).
- Señal bajista: RSI sale de la sobrecompra (cae de 70).
Estas son más robustas que operar dentro del extremo, porque confirman reversión en proceso.

- **Cruces de niveles intermedios (50):**

- Por encima de 50: momentum positivo dominante.
- Por debajo de 50: momentum negativo dominante. Útil como filtro direccional.

- **Rangos y reversión a la media:**

- El RSI funciona especialmente bien en rangos (mercados laterales).
- En tendencias fuertes, puede permanecer largo tiempo en sobrecompra/sobreventa (evitar contradecir la tendencia sin confirmaciones adicionales).

Limitaciones

- **Falsas señales** en tendencias potentes: el RSI puede “quedarse” en extremos.
- **Sensibilidad al parámetro N:** demasiado corto → ruido; demasiado largo → rezago.
- El RSI **no mide volatilidad** ni dirección de tendencia por sí solo; su fortaleza aumenta al combinarlo con otros indicadores y filtros de régimen.

- **Media Móvil Exponencial (EMA)**

La Media Móvil Exponencial (EMA) es un promedio móvil que pondera más los datos recientes y reduce el peso de las observaciones pasadas de forma exponencial. Esto la vuelve más sensible a cambios recientes de precio que la SMA (simple moving average). En trading, la EMA se usa para suavizar la serie de precios, identificar la dirección de la tendencia y detectar cambios de régimen con menor rezago que la SMA.

- EMAs populares (marcos diarios): 12 y 26 (corto plazo), 50 y 200 (tendencia de medio/largo plazo).
- En intradía/horario, esos “días” suelen adaptarse a número de barras (horas) equivalentes.

La EMA se define recursivamente como:

$$EMA_t = \alpha \cdot P_t + (1 - \alpha) \cdot EMA_{t-1}, \text{ con } \alpha = \frac{2}{N+1}, 0 < \alpha < 1,$$

donde P_t es el precio en t , N es el número de periodos y α es el factor de suavizado.

Implicaciones:

- **N** pequeño $\Rightarrow \alpha$ grande \Rightarrow más reacción (menos rezago, más ruido).

- **N grande** $\Rightarrow \alpha$ pequeño \Rightarrow más suavizado (más rezago, menos ruido).

Interpretación operativa:

- **Sesgo de tendencia por nivel:**
 - Alcista cuando el precio está por encima de la EMA.
 - Bajista cuando el precio está por debajo de la EMA.
- **Señales por cruce del precio:**
 - Compra si el precio cruza al alza la EMA.
 - Venta si el precio cruza a la baja la EMA.

(Reglas generales: requieren validación y filtros para reducir falsos positivos).

Cruce de dos EMAs:

Una práctica extendida es usar dos EMAs:

- EMA corta (más sensible) y EMA larga (tendencial).
- Señales típicas:
 - **Compra:** la EMA corta cruza por encima de la EMA larga
 - **Venta:** la EMA corta cruza por debajo de la EMA larga.
- Configuración clásica en diario: 50 vs 200 periodos. En intradía, se ajustan a la granularidad.

Ventajas y limitaciones:

Ventajas:

- Menor rezago que la SMA ante **cambios recientes**.
- Sencilla de interpretar e integrar con otros indicadores

Limitaciones:

- En mercados laterales produce señales falsas.
- Sensible a ruido cuando el periodo es muy corto.
- No incorpora información de volatilidad ni confirma por sí sola la fortaleza de la tendencia.

- **Bandas de Bollinger**

Las Bandas de Bollinger son un indicador de análisis técnico diseñado por John Bollinger que delimita un rango estadístico dentro del cual el precio suele fluctuar. El indicador consta de tres líneas:

- **Banda media:** una media móvil simple (SMA), típicamente de 20 periodos.
- **Banda superior:** $SMA + k \text{ desviaciones estándar}$ (usual: $k = 2$).
- **Banda inferior:** $SMA - k \text{ desviaciones estándar}$ (usual: $k = 2$).

Fundamento y construcción

La lógica central es volatilidad adaptativa: la distancia entre bandas depende de la desviación estándar del precio en la ventana.

- Ensanchamiento de bandas \Rightarrow aumento de volatilidad.
- Estrechamiento de bandas \Rightarrow disminución de volatilidad o consolidación.

Interpretación

- **Rango y dispersión**: las bandas sugieren un canal estadístico; los precios "extremos" relativos se observan cerca de las bandas.
- **Sobrecompra/sobreventa relativa**: acercamientos a la banda superior suelen leerse como precio relativamente alto; acercamientos a la banda inferior, precio relativamente bajo. No implica señal por sí misma: es contextual y probabilística.
- **"Squeeze" (apretón)**: un estrechamiento pronunciado se asocia a baja volatilidad y frecuentemente precede movimientos direccionales significativos; la expansión posterior de las bandas suele acompañar el inicio/continuación de tendencias.
- **Patrones "M" y "W" (teoría de Bollinger)**:
 - "M" bajista: un primer máximo rompe la banda superior; el segundo máximo no logra hacerlo \Rightarrow debilitamiento del impulso alcista.
 - "W" alcista: un primer mínimo rompe la banda inferior; el segundo mínimo no la rompe \Rightarrow debilitamiento del impulso bajista.

Parámetros habituales

SMA de 20 periodos y 2 desviaciones estándar son el estándar "clásico"; pueden ajustarse según la naturaleza del activo y el horizonte temporal para equilibrar sensibilidad y robustez.

Limitaciones y consideraciones

- Es un indicador rezagado (dependiente de datos pasados).
- En tendencias fuertes, el precio puede permanecer cerca/fuera de una banda por periodos prolongados (riesgo de lecturas engañosas si se interpreta como reversión automática).
- La inferencia de "extremos" se basa en supuestos estadísticos (dispersión reciente) que no siempre capturan colas pesadas o asimetrías del mercado.
- Se recomienda su uso como indicador secundario/confirmatorio, combinándolo con otros filtros (p. ej., momentum o volumen) para reducir señales falsas.

2.2. Modelo de Ejecución y Backtesting

- **Gestión de riesgo: stop-loss porcentual y take-profit porcentual**

- **Stop-loss (SL):** orden condicionada que cierra automáticamente una posición cuando el precio alcanza un nivel predefinido en contra. Su fin es acotar la pérdida y evitar que una operación adversa deteriore el capital.
- **Take-profit (TP):** orden límite que cierra automáticamente una posición cuando el precio alcanza un objetivo favorable. Su fin es asegurar ganancias sin depender de la vigilancia constante.

Ambas herramientas automatizan la salida y favorecen la disciplina al eliminar sesgos emocionales (esperar “que vuelva”, vender tarde, etc.).

Enfoque porcentual

El método más extendido en sistemas discretos es fijar SL y TP como porcentaje del precio de entrada:

- **Largo:**

$$SL = P_{\text{entrada}} (1 - s), TP = P_{\text{entrada}} (1 + t)$$

- **Corto:**

$$SL = P_{\text{entrada}} (1 + s), TP = P_{\text{entrada}} (1 - t)$$

donde s y t son los porcentajes de pérdida máxima y beneficio objetivo.

Ventajas: simplicidad, comparabilidad entre activos y marcos temporales.

Riesgo: si ses demasiado pequeño en activos volátiles, el SL puede saltar por “ruido”

Ventajas y Limitaciones

Ventajas

- Delimita pérdida máxima por trade y estabiliza el riesgo agregado.
- Automatiza salidas y reduce sesgos conductuales.
- Facilita la planificación previa (R:R, expectativa, tamaño de posición).

Limitaciones

- Gaps y saltos pueden ejecutar a precio peor que el nivel marcado (riesgo operativo).
- En mercados muy volátiles, SL estrechos generan stops prematuros; SL excesivamente amplios deterioran el ratio de caída.

- TP puede implicar coste de oportunidad si el movimiento continúa (mitigable con TP parciales o trailing).

Backtesting

Backtesting es el proceso de evaluar una estrategia de trading aplicándola a datos históricos con el fin de estimar su rentabilidad, riesgo y robustez antes de emplear capital real. Un backtest positivo puede aumentar la confianza en la viabilidad del sistema; resultados negativos permiten revisar, ajustar o descartar la estrategia sin incurrir en pérdidas reales.

Cómo funciona

El backtesting simula operaciones siguiendo reglas predefinidas (entradas, salidas y gestión de riesgo) sobre una serie histórica de precios, generando una curva de equity y métricas de desempeño (retornos, drawdown, ratios de riesgo/retorno). En estrategias cuantitativas, los parámetros (p. ej., periodos de medias o umbrales de indicadores) se tratan como inputs que pueden “probarse” para observar su efecto en los resultados.

Buenas prácticas para un backtest útil

- **Cobertura de regímenes:** usar muestras que incluyan condiciones de mercado variadas (tendencias alcistas/bajistas, rangos, alta/baja volatilidad) para evitar que los buenos resultados se deban a un régimen específico.
- **Costes de transacción:** incorporar todas las fricciones relevantes (comisiones por lado, spreads, costes de financiación en cortos, etc.). En marcos intradía, los costes pueden alterar sustancialmente la rentabilidad.
- **Reglas fijas y reproducibles:** especificar claramente entradas/salidas y gestión de riesgo (stops/targets), evitando decisiones discrecionales *ex post*.
- **Separación temporal (in/out-of-sample):** diseñar y calibrar con datos in-sample y evaluar con datos out-of-sample; si el desempeño es consistente en ambos, la validez es mayor.

Backtesting vs. análisis de escenarios

- **Backtesting:** usa datos reales históricos para medir ajuste y desempeño.
- **Análisis de escenarios:** utiliza datos hipotéticos para explorar posibles resultados (p. ej., shocks de tipos de interés, caídas extremas). Es útil para dimensionar riesgos extremos y evaluar peores casos que tal vez no aparezcan en la muestra histórica.

Sesgos y errores comunes

- **Sobreajuste (overfitting) y data dredging:** probar muchas variantes/ideas sobre el mismo conjunto histórico aumenta la probabilidad de “aciertos por azar” que no se replican en vivo.
- **Look-ahead bias y data leakage:** uso inadvertido de información futura o filtrada.
- **Ignorar fricciones:** omitir costes/slippage sobrestima retornos. Mitigación: modelar comisiones, spreads, y—si aplica—coste de borrow en cortos.

2.3. Métricas de desempeño

▪ Sharpe Ratio

El **Ratio de Sharpe** mide el rendimiento ajustado por riesgo de una inversión comparando su exceso de retorno (sobre un punto de referencia, típicamente la tasa libre de riesgo) con la volatilidad de dichos retornos. Sirve para discriminar si un desempeño superior proviene de buenas decisiones o simplemente de asumir más riesgo/azar.

Fórmula

Para una serie de retornos r_t y una tasa libre de riesgo r_f (en la misma frecuencia temporal):

$$\text{Sharpe} = \frac{\bar{r} - r_f}{\sigma_r}$$

donde \bar{r} es el promedio del exceso de retorno y σ_r su desviación estándar.

Interpretación

- **Más alto = mejor rendimiento** ajustado por riesgo.
- **Negativo:** el portafolio rinde por debajo de la tasa libre de riesgo (o retorno esperado negativo).
- Útil para comparar fondos/estrategias dentro de una misma frecuencia de medición (diaria, mensual, etc.).

Supuestos y alcance

- Usa la desviación estándar como proxy de riesgo (implica, de facto, simetría y cierta normalidad en la distribución de retornos).
- Asume que el historial de retornos posee poder informativo (cierta estabilidad/estacionaridad) para el futuro.

Buenas prácticas de estimación

- **Consistencia temporal:** la tasa r_f debe estar en la misma frecuencia que r_t ; luego se anualiza.

- **Horizonte objetivo:** calcular con una ventana fija y representativa (evitar seleccionar “el mejor tramo”).
- **Costos incluidos:** comisiones, *spreads* y, si aplica, coste de *borrow* en cortos.
- **Datos limpios:** manejar *outliers*, valores faltantes e inconsistencias para no sesgar σ_r .

Limitaciones y sesgos frecuentes

- **No-normalidad / colas gruesas:** la desviación estándar subestima riesgo de cola; Sharpe puede verse inflado en estrategias con pérdidas raras pero severas (“recoger centavos frente a una aplanadora”).
- **Correlación serial:** tendencias/momentum reducen la volatilidad medida y sobrestiman el Sharpe.
- Manipulación por frecuencia: medir a intervalos más largos reduce σ y eleva artificialmente el ratio (anual vs. mensual vs. diario).
- **Data-mining:** optimizar parámetros para maximizar Sharpe in-sample produce métricas infladas que no se replican out-of-sample.

▪ **Sortino Ratio**

El Sortino ratio es una variante del Sharpe que mide el rendimiento ajustado por el “riesgo malo”. En lugar de usar la desviación estándar total, utiliza la desviación a la baja (downside deviation), es decir, solo la variabilidad de los retornos por debajo de un umbral (usualmente la tasa libre de riesgo o un “mínimo aceptable de retorno”, MAR).

Fórmula

Para retornos por barra r_t y tasa libre r_f (en la misma frecuencia):

$$\text{Sortino} = \frac{\bar{r} - r_f}{\sigma_d}$$

donde σ_d es la **desviación a la baja**:

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\min(0, r_t - r_f))^2}$$

Interpretación

- **Más alto = mejor:** más retorno por unidad de riesgo a la baja.

- Es preferido cuando el gestor no penaliza la volatilidad positiva (alzas).

Buenas prácticas

- Especificar el MAR (p. ej., r_f o 0%).
- Mantener frecuencias consistentes (misma granularidad en r_t , r_f y σ_d).
- Incluir costes de transacción.

Limitaciones

- Sensible a la elección del MAR y a colas gruesas.
- Con muestras pequeñas, σ_d puede infraestimar el riesgo real de cola.

▪ **Maximum Drawdown**

El Maximum Drawdown (MDD) mide la peor caída que ha sufrido una inversión desde un máximo histórico (peak) hasta un mínimo posterior (trough), antes de alcanzar un nuevo máximo. Resume el riesgo a la baja extremo (pérdida pico-valle) observado en un periodo dado.

Fórmula

Sea V_t la curva de equity/valor del portafolio,

$$\text{Peak}_t = \max_{s \leq t} V_s \text{ y } \text{DD}_t = \frac{V_t}{\text{Peak}_t} - 1.$$

El MDD es:

$$\text{MDD} = \min_t \text{DD}_t$$

(negativo; p. ej., -0.30 indica -30%).

Forma equivalente (porcentual) entre el pico y el valle más profundos:

$$\text{MDD} = \frac{\text{Trough} - \text{Peak}}{\text{Peak}}$$

Interpretación

- Más cercano a 0 = mejor (menores pérdidas históricas).
- -100% implicaría pérdida total.
- Dos estrategias con igual retorno medio y volatilidad pueden diferir mucho en MDD, por lo que es clave para evaluar preservación de capital.

Limitaciones

- Captura solo la peor caída, no la frecuencia de pérdidas ni la duración total bajo agua.

- Sensible al periodo elegido (puede subestimar o sobrestimar el riesgo si la ventana es atípica).
- No describe la trayectoria del daño (varias caídas moderadas vs. una extrema).

▪ **CAGR**

El CAGR es la tasa anual compuesta que llevaría un capital desde su valor inicial al valor final durante un periodo de n años, suavizando la trayectoria (no refleja la variabilidad intermedia).

Fórmula

Con equity inicial BV y final EV :

$$\text{CAGR} = \left(\frac{EV}{BV}\right)^{1/n} - 1$$

Interpretación

- Útil para comparar inversiones/estrategias a lo largo del tiempo.
- No incorpora riesgo ni trayectoria (es un promedio geométrico "suavizado").

Limitaciones

- Ignora la volatilidad y la secuencia de retornos.
- Puede dar una impresión excesivamente estable del crecimiento.

▪ **Calmar Ratio**

El Calmar ratio evalúa el rendimiento ajustado por riesgo usando CAGR en el numerador y el máximo drawdown (MDD) en el denominador. Enfatiza la severidad de caídas peak-to-trough frente al retorno anualizado.

Fórmula

$$\text{Calmar} = \frac{\text{CAGR}}{|\text{MDD}|}$$

donde

$$\text{MDD} = \min_t \left(\frac{V_t}{\max_{s \leq t} V_s} - 1 \right)$$

Interpretación

- Más alto = mejor: mayor crecimiento por unidad de caída máxima.

- Muy útil para estrategias con control de drawdown o para comparar tolerancia a pérdidas.

Limitaciones

- Ignora la volatilidad cotidiana (solo mira la peor caída).
- Puede ser inestable si MDD es muy pequeño o calculado en muestras cortas.

▪ **Win Rate**

El win rate es el porcentaje de operaciones ganadoras sobre el total. Se usa junto con el riesgo/beneficio (risk-reward) y el profit factor para evaluar la calidad de una estrategia.

$$\text{Win Rate} = \frac{\text{\#Trades Ganadores}}{\text{\#Trades Totales}}$$

Interpretación

- > 50% implica más aciertos que fallos; < 50%, lo contrario.
- Un win rate bajo puede ser rentable si la estrategia tiene payoff asimétrico (ganancias medias >>pérdidas medias).

Limitaciones

- No dice cuánto se gana/pierde: puede ser alto con pérdidas grandes cuando se falla.
- Sensible a muestras pequeñas y cambios de régimen.

3. Metodología

En esta sección describo el flujo completo que se implementó, desde la generación de señales hasta la evaluación final y la visualización. El objetivo fue construir un pipeline reproducible que convierta precios horarios de BTC/USDT en decisiones operables, las simule bajo supuestos claros de ejecución, y mida su desempeño con métricas estándar de la literatura.

1) Generación de señales

Se partió de la serie de cierres horarios y se escogieron y calcularon tres indicadores técnicos: RSI, medias móviles exponenciales corta y larga (EMA) y Bandas de Bollinger (BB). Cada indicador emite un “voto” direccional: +1 (sesgo alcista), -1 (bajista) o 0 (neutro). La señal operativa final se define con una regla de confirmación 2-de-3: solo actúo cuando al menos dos indicadores coinciden en la misma dirección. El resultado es el mismo DataFrame original, enriquecido con las columnas de indicadores y una columna signal $\in \{+1, 0, -1\}$.

2) Carga y preparación de datos

Se cargó el CSV horario de BTC/USDT en el archivo principal, se normalizaron los nombres de columnas y se ordenaron cronológicamente los registros (antiguo → reciente). Esta etapa asegura consistencia de formatos y evita sesgos por ordenamiento.

3) Cálculo e inspección de señales

Se aplicó la función de señales sobre el DataFrame de precios para obtener el dataset con indicadores + signal. Se realizó una inspección básica (muestras de cabecera) para verificar ausencia de valores problemáticos en la ventana operable.

4) Simulación

Se implementó un motor de backtesting bajo los siguientes supuestos:

- Ejecución a cierre de barra y sin apalancamiento.
- Exclusión mutua de posiciones (no se mantienen simultáneamente posiciones largas y cortas).
- Costes explícitos: 0.125% por lado; en cortos se añade un componente de costo de préstamo (borrow rate 0.25%).
- Gestión de riesgo mediante **stop-loss** y **take-profit** porcentuales definidos sobre el precio de entrada.

La lógica por barra es: (i) cerrar posiciones cuando el precio alcanza SL/TP; (ii) abrir long si la señal es +1 y no existen cortos abiertos, o abrir short si la señal es -1 y no existen largos; (iii) valorar la cartera. Para la valoración de cortos se considera el principal prestado y el PnL implícito ($\text{entry} - \text{price}$) $\times n_shares$. El sistema registra la trayectoria del equity (portfolio_value) y el PnL realizado por cierre (trade_pnl). Al finalizar, se fuerzan los cierres restantes para obtener el capital final.

5) Métricas de desempeño

Con la curva de equity se construyó la serie de retornos por barra y se calcularon:

- **Sharpe anualizado** (exceso sobre tasa libre, escalado por $\sqrt{\text{barras/año}}$).
- **Sortino anualizado** (análoga al Sharpe, con desviación a la baja).
- **Máximo drawdown (MDD)** como $\min_t (V_t / \max_{s \leq t} V_s - 1)$.
- **CAGR** a partir de equity inicial/final y años efectivos.
- **Calmar** = $\text{CAGR} / |\text{MDD}|$.
- **Win rate** a partir de PnL realizados en cierres (proporción de cierres con ganancia).

Para anualizar en datos horarios se utilizó $\text{barras/año} = 24 \times 365$.

6) Evaluación “baseline”

Se ejecutó el backtest con parámetros por defecto, se obtuvo la trayectoria de equity y se calcularon las métricas; se imprimió un resumen con los indicadores de riesgo-retorno principales.

7) Optimización de hiperparámetros

Se integró **Optuna** para **maximizar el Calmar Ratio**. Se definió un espacio de búsqueda que incluyó:

- Parámetros de señales: periodos y umbrales de **RSI**, ventana y pares **EMA** (corta/larga), y parámetros de **Bandas de Bollinger** (ventana y desviaciones).
- Parámetros monetarios: **stop-loss**, **take-profit** y **n_shares**. Cada *trial* generó señales con sus parámetros, ejecutó el backtest y devolvió el Calmar; se penalizaron *trials* con pocos cierres para evitar resultados inestables.

8) División temporal y ejecución de la optimización

Se dividió el dataset en 60% entrenamiento, 20% prueba y 20% validación. La optimización se corrió sobre validación para mitigar sobreajuste. Al concluir, se guardaron los mejores parámetros y un resumen de desempeño.

9) Backtest con parámetros óptimos

Se regeneraron señales con los parámetros óptimos y se corrió un backtest sobre el conjunto de prueba (out-of-sample). Se reportaron capital final y métricas comparables contra la línea base.

10) Visualización

Se graficó la curva de equity de la estrategia frente a un benchmark buy-and-hold de BTC. Se normalizaron ambas curvas (inicio en 1) para comparación relativa y, cuando fue necesario, se empleó escala logarítmica y downsampling horario→diario para mejorar legibilidad. Las figuras se guardaron en outputs con título, periodo y nota sobre comisiones.

4. Resultados

En la evaluación **out-of-sample** (conjunto de **test**) el sistema presentó un desempeño prácticamente plano. Las métricas agregadas fueron: *total return* $\approx 0.02\%$, *Sharpe* ≈ 0.0181 , *Sortino* ≈ 0.0184 , *max drawdown* $\approx -3.11\%$,

Calmar ≈ 0.0046 y *win rate* $\approx 26.53\%$. El resultado económico neto fue un capital final de **1,000,228.65 USD**, es decir, una ligera ganancia respecto al capital inicial (1,000,000 USD).

Desde una lectura de riesgo-retorno, los valores de Sharpe y Sortino cercanos a cero indican que la prima de rendimiento por unidad de riesgo fue casi nula: el sistema no destruye capital, pero tampoco lo hace crecer de forma significativa en el período de prueba. El *max drawdown* moderado ($\approx -3.11\%$) refleja un perfil bastante defensivo; el control de pérdidas vía *stops* y el uso conservador del tamaño de posición contienen caídas, aunque a costa de limitar el potencial de captura de tendencias. El *win rate* de 26.53% no es, en sí mismo, preocupante: con reglas de salida por *take-profit* y *stop-loss*, una tasa de aciertos baja puede ser compatible con rentabilidad si la asimetría de payoffs es favorable; en este caso, la combinación de parámetros no generó una ventaja clara.

Al contrastar estos resultados con la optimización, se observó una brecha: la mejor configuración en validación arrojó un Calmar elevado (≈ 2.77), pero en test la relación retorno/caída máxima se redujo sustancialmente. Esto sugiere que parte del desempeño en validación estuvo influido por condiciones de mercado específicas o por una ligera sobre-especialización de los hiperparámetros. Aun así, el sistema mantuvo estabilidad (drawdowns contenidos y capital preservado), lo que es valioso como línea base sobre la que iterar.

La comparación visual de la curva de la estrategia frente al *buy-and-hold* de BTC/USDT (curvas normalizadas con inicio en 1 y eje Y en escala logarítmica) evidencia este carácter conservador: mientras el *benchmark* exhibe grandes oscilaciones y un crecimiento acumulado muy elevado, la curva del sistema permanece cercana a 1 durante todo el horizonte. Esta diferencia cualitativa respalda la lectura cuantitativa: el algoritmo prioriza control de riesgo y baja exposición direccional.

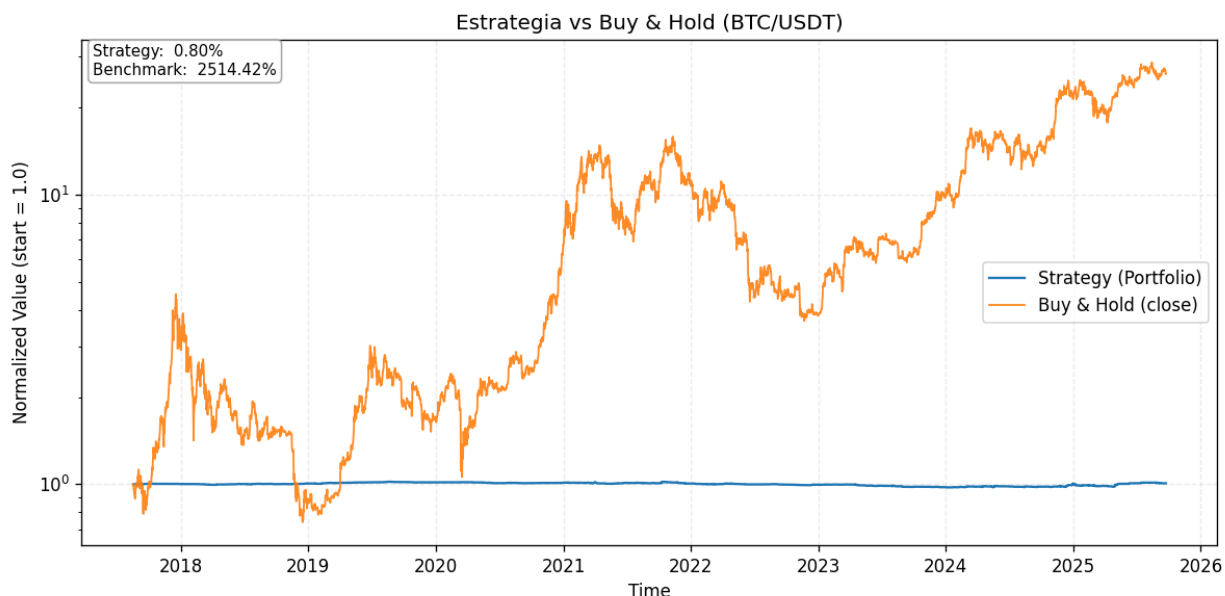


Figura 1. Curva de equity de la estrategia vs. buy-and-hold (BTC/USDT). Ambas curvas normalizadas a 1 al inicio; eje Y en escala logarítmica para comparar crecimientos proporcionales. Incluye costos de transacción.

En conjunto, el sistema, tal como quedó parametrizado, funcionó como una aproximación prudente: bajo *drawdown*, volatilidad acotada y capital prácticamente intacto. Para transformarlo en una alternativa con mayor *alpha*, convendría (i) revisar umbrales de confirmación y ventanas de indicadores para aumentar sensibilidad en fases tendenciales, (ii) ajustar la relación *stop-loss/ take-profit* para mejorar la asimetría de resultados, y (iii) incorporar un filtrado de régimen de mercado o reglas de *position sizing* dinámico que incrementen exposición cuando la probabilidad de tendencia es alta y la reduzcan en rangos laterales.

5. Conclusión

En conclusión, la estrategia quedó en “aceptable pero no convincente”. Logró contener caídas y mantener disciplina (fees, SL/TP, exclusión de posiciones simultáneas), pero los ratios de Sharpe/Sortino y el Calmar fueron modestos; es decir, el control del riesgo estuvo bien, pero la generación de valor no fue consistente frente a un buy-and-hold.

Lo que más me deja aprendizaje es la sensibilidad a régimen: con solo RSI/EMA/BB, el sistema sufre en rangos y cuando la volatilidad cambia. Para mejorarlo, priorizaría tres cosas: (1) filtros de régimen y tamaño de posición por volatilidad (vol targeting) para estabilizar la curva; (2) stops y objetivos adaptativos (p. ej., en función del ATR o del ancho de BB) para evitar salidas/entradas subóptimas; y (3) validación walk-forward formal con menos grados de libertad y objetivos múltiples (no solo Calmar, también rotación, profit factor, estabilidad mensual).

Si esas piezas se incorporan y aún así los resultados out-of-sample mejoran (Calmar más alto y equity más "suave"), entonces sí tendría fundamento para considerar la estrategia como desplegable en condiciones reales. Por ahora, la dejo como una base sólida de control de riesgo que necesita una capa extra de contexto y gestión dinámica para aspirar a alfa robusto.

6. Referencias

Analyst, I. (2019, 4 febrero). Bandas de Bollinger: ¿qué son y cómo se utilizan en trading? IG. <https://www.ig.com/es/estrategias-de-trading/bandas-de-bollinger---que-son---como-se-utilizan-en-trading--190204>

Chen, J. (2025b, septiembre 1). Backtesting in Trading: Definition, Benefits, and Limitations. Investopedia.

<https://www.investopedia.com/terms/b/backtesting.asp>

Chen, J. (2025, 26 agosto). Take-Profit Order (TP): How to Maximize Profits in Trading. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/t/take-profitorder.asp>

Fernando, J. (2025d, septiembre 29). Compound Annual Growth Rate (CAGR) Formula and Calculation.

Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/c/cagr.asp#toc-what-is-the-compound-annual-growth-rate-cagr>

Fernando, J. (2025, 12 septiembre). Relative Strength Index (RSI): What It Is, How It Works, and Formula.

Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/r/rsi.asp#toc-limitations-of-the-rsi>

Fernando, J. (2025b, septiembre 15). Sharpe Ratio: Definition, Formula, and Examples.

Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/s/sharperatio.asp#toc-formula-and-calculation-of-the-sharpe-ratio>

Garzón, E. B. (2024, 26 febrero). Cómo usar la Media Móvil Exponencial (EMA) en Trading. Admirals. <https://admiralmarkets.com/es/education/articles/forex-indicators/media-movil-exponencial>

Hayes, A. (2025, 1 julio). Understanding Maximum Drawdown (MDD): Key Insights and Formula. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/m/maximum-drawdown-mdd.asp>

IG. (s. f.). *RSI (definición)*. IG. <https://www.ig.com/es/glosario-trading/definicion-de-rsi>

Kenton, W. (2025a, junio 6). *Sortino Ratio: Definition, Formula, Calculation, and Example*.

Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/s/sortinoratio.asp#toc-formula-and-calculation-of-the-sortino-ratio>

Kenton, W. (2025b, octubre 5). *Understanding the Calmar Ratio: Risk-Adjusted Returns for Hedge Funds*.

Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/c/calmarratio.asp>

Kenton, W. (2025, 1 octubre). *Understanding Trading Win/Loss Ratio: Definition, Formula, and Examples*.

Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/w/win-loss-ratio.asp#toc-what-is-the-winloss-ratio>

Killian, A. (2019, 5 septiembre). *Los 10 mejores indicadores de trading para inversores*. IG. <https://www.ig.com/es/estrategias-de-trading/los-10-mejores-indicadores-de-trading-para-inversores-190830#movilexponencial>

Kramer, M. J. (2025, 10 agosto). *How Stop-Loss Orders Help Limit Investment Losses and Risk*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/s/stop-lossorder.asp>

Kuepper, J. (2025, 3 febrero). *Risk Management Techniques for Active Traders*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/articles/trading/09/risk-management.asp>

Thompson, C. (2025, 3 septiembre). *Understanding Bollinger Bands: A Key Technical Analysis Tool for Investors*.

Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/b/bollingerbands.asp#toc-what-are-bollinger-bands>