**Proyecto 2**

**002 Introduction to Trading**

A logo of a company

AI-generated content may be incorrect.

DAVID ROGELIO CAMPOS MURIA

7 de octubre de 2025

Este proyecto desarrolla y evalúa una estrategia sistemática de trading sobre BTCUSDT con datos horarios, diseñada para operar sin apalancamiento, en largos y cortos, incorporando costos transaccionales del 0.125% y aplicando una confirmación de señales 2-de-3 (tendencia, momento y ruptura). El énfasis analítico se centra en maximizar el Calmar Ratio (CAGR/|MaxDD|), una métrica que privilegia la rentabilidad ajustada por caídas máximas, complementada con Sharpe, Sortino, MaxDD y Win Rate.

Metodológicamente, el trabajo implementa un backtesting realista y un flujo walk-forward: el conjunto de datos se divide cronológicamente en 60% Entrenamiento, 20% Prueba y 20% Validación. Los hiperparámetros de la estrategia (ventanas e umbrales de EMA y RSI, banda Donchian con amortiguación por ATR, y controles de riesgo como stop loss/take profit) se optimizan exclusivamente en Entrenamiento mediante búsqueda aleatoria con semilla controlada; posteriormente, esos parámetros se congelan y se evalúan sin re-ajuste en Prueba y Validación, lo que mitiga el sobreajuste y refleja mejor el desempeño fuera de muestra.

La estrategia se estructura en tres pilares técnicos: (i) tendencia (cruce EMA rápida/lenta), (ii) momento (RSI con bandas asimétricas para captar presiones direccionales) y (iii) ruptura (canal Donchian ajustado por la volatilidad vía ATR). Sólo cuando al menos dos de estos componentes coinciden se habilita una señal, y la ejecución se difiere una barra para evitar *look-ahead*. El motor de backtest controla inventario y costos en cada operación, y calcula la curva de capital (equity) y el retorno por barra con precisión contable.

Los resultados se presentan de manera reproducible y auditables: (1) una tabla consolidada por segmento con Calmar, Sharpe, Sortino, MaxDD, Win Rate, número de operaciones y % de rendimiento total; (2) gráficas de equity y drawdown para Entrenamiento, Prueba y Validación; y (3) tablas de retornos mensuales por segmento. El proyecto entrega además los parámetros óptimos en un artefacto persistente (archivo de configuración “congelado”) para repetir evaluaciones sin re-optimización, facilitando comparabilidad y control de cambios.

En términos gerenciales, la estrategia demuestra ser coherente con su objetivo de control de riesgo: la optimización por Calmar reduce la probabilidad de caídas profundas a costa de priorizar la calidad sobre la cantidad de señales. La evaluación fuera de muestra (Prueba/Validación) permite estimar la estabilidad del desempeño bajo regímenes de volatilidad cambiantes típicos de criptoactivos. Las secciones siguientes detallan datos, metodología, resultados y riesgos, así como limitaciones y líneas de mejora (robustez paramétrica, modelado de *slippage*, y análisis por regímenes), conformando un entregable técnico listo para decisión y reporte ejecutivo.

Contents

[**1. Introducción** 5](#_Toc210744670)

[**1.1 Objetivo** 5](#_Toc210744671)

[**1.2 Alcance y restricciones** 5](#_Toc210744672)

[**1.3 Justificación del activo y del marco temporal** 5](#_Toc210744673)

[**1.4 Métrica objetivo: por qué Calmar** 5](#_Toc210744674)

[**1.5 Principios de diseño de la estrategia** 6](#_Toc210744675)

[**1.6 Criterios de éxito** 6](#_Toc210744676)

[**2. Datos** 7](#_Toc210744677)

[**2.1 Fuente y frecuencia** 7](#_Toc210744678)

[**2.2 Rango temporal y cobertura** 7](#_Toc210744679)

[**2.3 Estructura del archivo** 7](#_Toc210744680)

[**2.4 Validaciones y limpieza** 7](#_Toc210744681)

[**2.5 Preparación para indicadores y señales** 8](#_Toc210744682)

[**2.6 Esquema de *split* 60/20/20 (walk-forward)** 8](#_Toc210744683)

[**2.7 Implicaciones para las métricas** 8](#_Toc210744684)

[**2.8 Riesgos de calidad de datos (y mitigación)** 8](#_Toc210744685)

[**3. Metodología** 9](#_Toc210744686)

[**3.1 Datos y partición temporal** 9](#_Toc210744687)

[**3.2 Arquitectura de señales: confirmación 2-de-3** 9](#_Toc210744688)

[**3.3 Gestión del riesgo y costos** 10](#_Toc210744689)

[**3.4 Motor de backtesting (ciclo de órdenes y P&L)** 10](#_Toc210744690)

[**3.5 Espacio de hiperparámetros y búsqueda.** 10](#_Toc210744691)

[**3.6 Hiperparámetros finales** 11](#_Toc210744692)

[**3.7 Validación fuera de muestra (walk-forward simple)** 12](#_Toc210744693)

[**3.8 Visualización y evidencia** 12](#_Toc210744694)

[**3.9 Reproducibilidad** 14](#_Toc210744695)

[**4. Resultados y análisis de performance** 14](#_Toc210744696)

[**4.1 Métricas agregadas (60/20/20)** 14](#_Toc210744697)

[**4.2 Curva de capital y perfil de riesgo** 14](#_Toc210744698)

[**4.3 Eficiencia por trade y estilo de P&L** 15](#_Toc210744699)

[**4.4 Estacionalidad operativa (retornos mensuales)** 15](#_Toc210744700)

[**4.5 Qué está funcionando** 16](#_Toc210744701)

[**4.6 Limitaciones observadas** 16](#_Toc210744702)

[**4.7 Conclusión operativa de resultados** 16](#_Toc210744703)

[**5. Análisis de riesgo y limitaciones** 16](#_Toc210744704)

[**5.1 Riesgo de mercado (P&L y drawdowns)** 16](#_Toc210744705)

[**5.2 Riesgo de modelo (sobre-ajuste y deriva)** 17](#_Toc210744706)

[**5.3 Riesgo de ejecución y fricción** 18](#_Toc210744707)

[**5.4 Riesgo de datos y medición** 18](#_Toc210744708)

[**5.5 Sensibilidad y capacidad** 18](#_Toc210744709)

[**5.6 Controles y gobernanza de riesgo** 19](#_Toc210744710)

[**5.7 Qué rompería la estrategia (señales de alerta)** 19](#_Toc210744711)

[**5.8 Limitaciones del estudio** 19](#_Toc210744712)

[**6. Conclusiones** 19](#_Toc210744713)

# **1. Introducción**

## **1.1 Objetivo**

Desarrollar y evaluar una estrategia sistemática de trading para BTCUSDT en marco temporal horario, que opere sin apalancamiento y en ambos lados del mercado (largos y cortos), incorporando costos transaccionales del 0.125% y utilizando confirmación 2-de-3 entre señales de tendencia, momento y ruptura. El desempeño se optimiza con respecto al Calmar Ratio —métrica que equilibra crecimiento compuesto y severidad de pérdidas máximas—, y se valida mediante un flujo walk-forward con división 60%/20%/20% (TRAIN/TEST/VALID)

## **1.2 Alcance y restricciones**

* **Mercado y símbolo:** BTCUSDT (mercado spot).
* **Frecuencia:** velas de 1 hora.
* **Costos:** comisión fija del 0.125% por transacción; sin apalancamiento.
* **Posiciones:** largas y cortas, con control de inventario (no se venden activos no poseídos y no se excede el capital disponible).
* **Ejecución:** las señales se materializan una barra después de su generación para evitar sesgos de anticipación (*look-ahead*).
* **Optimización:** los hiperparámetros de indicadores y gestión (ventanas/umbrales, buffers de volatilidad, *stops* y *targets*) se ajustan solo en Entrenamiento; no se re-estiman en Prueba/Validación.
* **Validación:** evaluación out-of-sample en Prueba y Validación para estimar capacidad de generalización.

## **1.3 Justificación del activo y del marco temporal**

* BTC presenta alta volatilidad y liquidez, condiciones propicias para estrategias técnicas que explotan tendencias, rupturas y cambios de momentum.
* La frecuencia horaria equilibra:
  + Señal-ruido más favorable que intradía de muy alta frecuencia,
  + Suficiente densidad de datos para aprendizaje de parámetros y evaluación robusta,
  + Costos de transacción manejables frente a marcos de muy corto plazo.

## **1.4 Métrica objetivo: por qué Calmar**

* Calmar Ratio = CAGR / |Máximo *Drawdown*|.

Maximiza el crecimiento compuesto penalizando de forma explícita la profundidad de caídas, alineando el objetivo con la tolerancia al riesgo que típicamente exigen los comités de inversión (protección de capital y suavidad de la curva).

* **Se complementa con:**
  + Sharpe (riesgo total),
  + Sortino (riesgo a la baja),
  + Máximo *Drawdown* (severidad de pérdidas),
  + Win Rate (frecuencia de aciertos),
  + % de rendimiento total (para lectura ejecutiva).

## **1.5 Principios de diseño de la estrategia**

* **Confirmación 2-de-3:**
  1. Tendencia (relación entre medias móviles exponenciales rápida y lenta),
  2. Momento (RSI con umbrales para presión alcista/bajista),
  3. Ruptura (canales tipo Donchian modulados por volatilidad vía ATR).  
     La entrada solo se habilita cuando al menos dos componentes coinciden, buscando reducir señales espurias.
* **Robustez operativa:**
  1. Desplazamiento de señales +1 barra para evitar *look-ahead*,
  2. Costos aplicados en cada operación,
  3. Control de inventario y capital en todo momento,
  4. Cálculo contable de equity y retornos por barra.
* **Simplicidad explicable:**
  1. Indicadores ampliamente documentados,
  2. Reglas transparentes y auditables,
  3. Modularidad para aislar errores y facilitar mejoras.

## **1.6 Criterios de éxito**

* Coherencia walk-forward: métricas en Prueba/Validación sin degradación sustancial frente a Entrenamiento.
* Gestión de caídas: Máximo *Drawdown* acotado en magnitud y duración, con Calmar competitivo para el perfil del activo.
* Consistencia operativa: tasas de acierto y número de operaciones acordes con el *trade-off* riesgo-coste-frecuencia.
* Reproducibilidad: resultados replicables con artefactos y parámetros congelados, y *outputs* estandarizados (tablas y gráficas).

# **2. Datos**

## **2.1 Fuente y frecuencia**

* Símbolo y mercado: BTCUSDT (spot).
* Proveedor: Binance (histórico descargado en formato CSV).
* Frecuencia temporal: 1 hora (24/7).  
  La elección horaria equilibra densidad de observaciones, costos de transacción y estabilidad de señales técnicas frente a marcos de muy alta frecuencia.

**2.2 Rango temporal y cobertura**El histórico a resolución horaria cubre de **2017** a **2025**. Para la evaluación walk-forward se aplicó un particionado estrictamente cronológico 60/20/20:

* **TRAIN (≈ 2017–2022):** tramo inicial utilizado para optimización.
* **TEST (≈ 2022–2024):** primer tramo fuera de muestra, usado para verificar generalización sin re-estimación.
* **VALID (≈ 2024–2025):** tramo más reciente y estrictamente out-of-sample, que confirma estabilidad de desempeño.  
  Todas las marcas de tiempo se normalizan a UTC y el ordenamiento es ascendente antes de cualquier cálculo.

## **2.3 Estructura del archivo**

* Campos mínimos requeridos: dt (fecha/hora), Open, High, Low, Close.
* Campos adicionales disponibles: Volume\_BTC, Volume\_USDT, Trades (conteo de *ticks* o transacciones, cuando el proveedor lo incluye).
* Ordenamiento estrictamente cronológico antes de cualquier cálculo de indicadores.

## **2.4 Validaciones y limpieza**

* Parsing de fecha robusto y uniforme (UTC; descartando registros con fecha inválida).
* Chequeo de columnas: el backtest no arranca si falta alguna columna crítica.
* Orden temporal: *sorting* ascendente y reinicio de índices para asegurar alineación con indicadores basados en ventanas.
* Valores faltantes:
  + Se descartan filas con dt inválido o ausente.
  + El período de *warm-up* de indicadores (p. ej., EMA, RSI, ATR, Donchian) se excluye de la simulación, evitando señales artificiosas de arranque.
* Duplicados/outliers:
  + No se detectaron duplicados en dt; en caso de existir, se conservaría una sola observación por hora.
  + No se aplicó *winsorization* ni suavizados adicionales: se preserva la estructura de volatilidad propia del activo; el control de riesgo se delega a reglas de entrada/salida y al objetivo Calmar.

## **2.5 Preparación para indicadores y señales**

* Indicadores calculados sobre Close (EMA, RSI) y sobre High/Low (ATR, Donchian).
* Confirmación 2-de-3: tendencia (EMA rápida vs lenta), momento (RSI con umbrales asimétricos) y ruptura (Donchian ajustado por ATR).
* Desplazamiento +1 barra de todas las señales para evitar *look-ahead*.
* Costos de 0.125% integrados en la lógica transaccional del backtest (cada entrada/salida).

## **2.6 Esquema de *split* 60/20/20 (walk-forward)**

* **Entrenamiento (60%):** ajuste de hiperparámetros mediante búsqueda aleatoria (semilla fija para reproducibilidad) maximizando Calmar.
* **Prueba (20%):** evaluación out-of-sample con parámetros congelados; sirve de control de sobreajuste.
* **Validación (20%):** confirmación final de estabilidad y transferencia temporal del desempeño.
* Sin *look-ahead* ni re-estimación en los segmentos de evaluación.

## **2.7 Implicaciones para las métricas**

* Anualización de Sharpe/Sortino y cálculo de CAGR/Calmar basados en el reloj real de la serie (años efectivos entre primer y último registro), evitando sesgos por asumir un número fijo de barras/año ante posibles huecos.
* Máximo *Drawdown* y % de rendimiento total calculados sobre la curva de capital resultante del backtest con costos.
* Win Rate estimado a partir del registro de operaciones; cuando se analizan retornos por barra, se aclara la diferencia entre *bar-wins* y *trade-wins*.

## **2.8 Riesgos de calidad de datos (y mitigación)**

* Huecos horarios: verificación previa; exclusión de segmentos con datos incompletos en el *warm-up*.
* Desalineación temporal: normalización a UTC y orden cronológico antes de cálculos.
* Sesgos de medición: al incluir costos y desplazar ejecuciones una barra, se reduce el impacto de artefactos microestructurales y de *look-ahead*.
* No-survivorship: no aplica en spot BTCUSDT (activo único y continuo).

# **3. Metodología**

## **3.1 Datos y partición temporal**

Activo y frecuencia. Trabajamos con velas BTC/USDT de 1 hora. Esta granularidad ofrece un balance práctico: suficiente número de observaciones para optimizar con estabilidad, sin entrar en microestructura (slippage) extrema.

**Limpieza y normalización.**

* Se estandarizaron columnas OHLC y el conteo de trades.
* Las fechas se convirtieron a UTC y se ordenaron cronológicamente.
* Se descartaron filas con timestamp inválido.
* Se garantizó que las series fueran numéricas y continuas (salvo gaps de mercado).

**Split 60/20/20 en el tiempo.**

* **TRAIN:** ~60% inicial del histórico (optimización).
* **TEST:** 20% siguiente (primera validación fuera de muestra).
* **VALID:** 20% final (segunda validación, “lo más reciente”).  
  La división es estrictamente causal: todo lo que se decide con datos de TRAIN se “congela” antes de mirar TEST/VALID, evitando *leakage*.

## **3.2 Arquitectura de señales: confirmación 2-de-3**

El sistema requiere que al menos dos bloques de señal apunten en la misma dirección para entrar; la idea es reducir falsos positivos combinando señales complementarias:

1. **Tendencia (EMA rápida vs EMA lenta).**  
   Si la EMA rápida está por encima de la lenta, asumimos sesgo alcista (y viceversa). Las EMA suavizan ruido y permiten reaccionar a cambios de régimen sin la latencia de medias simples.
2. **Momento (RSI).**  
   Se usa RSI de Wilder con ventana optimizable. Los umbrales superior/inferior definen sobrecompra/sobreventa del propio sistema, no como señal contraria clásica, sino como filtro direccional: RSI por encima del umbral superior refuerza largos; por debajo del inferior, cortos. El RSI aporta sensibilidad a aceleraciones y fatiga del movimiento.
3. **Ruptura amortiguada (Donchian + ATR).**  
   El precio se compara con el canal de Donchian (máximos/mínimos de *n* horas). Para evitar entrar en rupturas “por un tick”, se suma un colchón proporcional al ATR (parámetro *atr\_q*). Este bloque captura breakouts reales, ajustados por la volatilidad del momento.

**Ejecución sin *look-ahead*.** Las votaciones (0/1) de cada bloque se desplazan una barra antes de calcular la orden. Así, toda decisión usa exclusivamente información hasta el cierre de la barra previa.

**Racional.**

* **Tendencia** da el telón de fondo.
* **Momento** evita ir “tarde” cuando el empuje ya se agotó.
* **Ruptura** exige que el precio pruebe un extremo relevante **y** lo supere con holgura (vía ATR), reduciendo entradas por ruido.  
  La **regla 2-de-3** privilegia la coincidencia de evidencias y baja la tasa de señales débiles.

## **3.3 Gestión del riesgo y costos**

* **Coste por operación:** **0.125%** por lado (se descuenta en cada entrada y salida).
* **Tamaño de posición:** fracción fija del capital (pos\_frac). Esto alinea el riesgo con el patrimonio; drawdowns reducen tamaño, y rachas positivas lo amplían de forma natural.
* **Protecciones por volatilidad:**
  + **Stop-loss (SL)** y **take-profit (TP)** expresados como múltiplos del ATR para que el umbral “respire” más en entornos volátiles y sea más cercano cuando el mercado está tranquilo.
  + **Retención mínima (hold\_min)** en horas para evitar *over-trading* y el “ruido” de cierres/reaperturas muy frecuentes.
* **Sin apalancamiento;** el sistema puede tomar largos y cortos simétricos.

## **3.4 Motor de backtesting (ciclo de órdenes y P&L)**

Cada hora se evalúan las tres familias de señal (EMA, RSI, Donchian+ATR); se vota 2-de-3 y la orden se ejecuta en la barra siguiente. El tamaño de posición es una fracción fija del equity (pos\_frac); la exposición puede ser larga o corta y no usa apalancamiento. Los costos (0.125%) se aplican en cada cambio de estado (abrir/cerrar/invertir). La salida ocurre por señal contraria, stop-loss/take-profit (múltiplos de ATR) o retención mínima (hold\_min) para evitar sobre-operación. Se calcula la curva de capital con P&L realizado/no realizado y, a partir de ella, las métricas (Sharpe/Sortino anualizados, MaxDD, CAGR y Calmar). El slippage no se modela explícitamente (en 1h y spot suele ser menor que la comisión), pero se considera como línea de mejora.

## **3.5 Espacio de hiperparámetros y búsqueda.**

**Objetivo de optimización:** maximizar Calmar en TRAIN.

**Random Search (50 ensayos, semilla 42).** Se muestrean uniformemente rangos razonables para:

* Ventanas de **EMA rápida/lenta, RSI, ATR, Donchian**.
* **Umbrales RSI** (superior/inferior) para filtro direccional.
* **atr\_q** (colchón de ruptura).
* **pos\_frac** (exposición).
* Múltiplos **ATR** para **SL/TP** (asimetría opcional).
* **hold\_min** (retención mínima).

**Razonamiento.** Random Search es eficiente cuando el espacio es amplio y no lineal; además, 50 ensayos con una semilla fija controlan la varianza y facilitan reproducibilidad.

## **3.6 Hiperparámetros finales**

Los óptimos sobre TRAIN (archivo best\_params.json) fueron:

| **Componente** | **Parámetro** | **Valor** |
| --- | --- | --- |
| **EMA** | ema\_fast / ema\_slow | 13 / 25 |
| **RSI** | rsi\_window / rsi\_upper / rsi\_lower | 26 / 65.03 / 33.21 |
| **ATR** | atr\_window | 17 |
| **Donchian** | donch\_window | 37 |
| **Ruptura (volatilidad)** | atr\_q | 0.379 |
| **Riesgo** | pos\_frac | 0.381 |
| **Gestión** | hold\_min (h) | 31 |
| **Protección** | atr\_sl / atr\_tp (×ATR) | 3.43 / 5.42 |
| **Coste** | fee | 0.00125 |
| **Capital inicial** | start\_capital | 10,000 |

* El **RSI** relativamente “alto/bajo” (65/33) evita compras/vendas en zonas tibias; exige convicción del momento.
* **TP > SL** (5.42 vs 3.43) busca rachas con *fat tails* a favor y corta las en contra.
* **pos\_frac ≈ 38%** produce un apalancamiento efectivo < 1× y evita concentración excesiva.
* **Donchian 37h** y **atr\_q ≈ 0.38** filtran micro-rupturas; la entrada requiere superar un umbral relevante **y** “pagar peaje” de volatilidad.

**3.7 Validación fuera de muestra (walk-forward simple)**

Tras la búsqueda en TRAIN, los parámetros se congelan y se aplican sin retoque a TEST y VALID. Esta disciplina permite medir generalización real. Adicionalmente, se analizan retornos mensuales por segmento para entender distribución temporal de ganancias/pérdidas.

**Tabla 1. TRAIN — Rendimientos mensuales (%)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Year | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
| 2017 | nan | nan | nan | nan | -0.30 | 8.47 | nan | -6.78 | nan | -9.91 | nan | 4.04 |
| 2018 | 2.21 | 0.00 | 7.46 | 4.08 | 2.96 | -1.91 | 8.68 | 3.13 | -1.54 | -5.22 | 3.38 | -2.98 |
| 2019 | -4.23 | 0.46 | 0.70 | 4.04 | 11.15 | 7.64 | -5.72 | 1.30 | 6.15 | -0.44 | 3.03 | -2.49 |
| 2020 | 0.68 | -2.33 | 20.77 | -1.84 | 2.29 | -4.51 | 5.83 | -6.37 | 0.77 | 5.17 | 3.34 | 12.40 |
| 2021 | 4.89 | 15.24 | -4.01 | 0.27 | 6.95 | 11.88 | 5.34 | 2.60 | -1.33 | 1.42 | -1.78 | -1.35 |
| 2022 | 2.25 | 4.41 | 8.35 | -5.30 | nan | 1.14 | 1.78 | nan | nan | nan | nan | 3.52 |

**Tabla 2. TEST — Rendimientos mensuales (%)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Year | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
| 2022 | nan | nan | nan | nan | 5.23 | nan | 1.97 | -3.48 | nan | -4.37 | 0.39 | -2.16 |
| 2023 | 12.97 | -0.31 | 13.07 | 0.92 | -3.09 | -0.26 | -5.20 | 0.68 | -3.48 | 6.98 | -7.84 | 1.30 |
| 2024 | -4.24 | nan | nan | nan | nan | nan | nan | nan | nan | nan | nan | 3.42 |

**Tabla 3. VALID — Rendimientos mensuales (%)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Year | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
| 2024 | — | 4.34 | 10.42 | -3.26 | -0.11 | -0.36 | 3.35 | 1.47 | 1.49 | 3.61 | 1.83 | -5.19 |
| 2025 | — | 2.60 | -6.88 | -4.50 | -0.03 | 1.18 | -4.78 | 0.21 | 0.82 | nan | 1.78 | nan |

**Notas y alcance**

• Un guion largo (—) indica que en ese mes no existen observaciones dentro del segmento (está fuera del rango temporal del split 60/20/20). No representa un 0% de retorno, sino ausencia de datos.  
• El bloque VALID solo incluye 2024–2025 porque, al partir el historial en 60%/20%/20% en orden cronológico, el 20% final (VALID) corresponde al tramo más reciente del dataset (aprox. desde 2024 hasta 2025).

## **3.8 Visualización y evidencia**

Para cada segmento se reportan:

* **Curva de equity:** trayectoria del capital con costos.
* **Gráfico de drawdown:** profundidad y duración de caídas.

**Gráfico 1. Equity Train**

**A graph with blue lines

AI-generated content may be incorrect.**

**Gráfico 2. Equity Test**

**A graph showing the value of a stock market

AI-generated content may be incorrect.**

**Gráfico 3. Equity Valid**

A graph with blue lines

AI-generated content may be incorrect.

**Gráfico 4. Drawdown Train**

A graph showing a graph of a graph

AI-generated content may be incorrect.

**Gráfico 5. Drawdown Test**

A graph showing a graph

AI-generated content may be incorrect.

**Gráfico 6. Drawdown Valid**

A graph with red and white lines

AI-generated content may be incorrect.

## **3.9 Reproducibilidad**

Se fijó **semilla 42** en la búsqueda aleatoria. Se versionaron artefactos clave:

* **best\_params.json** (óptimos).
* **results\_60\_20\_20.csv** (tabla de métricas consolidada).
* **figs/** (curvas de equity, drawdowns y retornos mensuales).  
  Esto permite rehacer el análisis con los mismos resultados y facilita auditoría.

# **4. Resultados y análisis de performance**

## **4.1 Métricas agregadas (60/20/20)**

**Tabla 2 — Métricas por segmento (con comisiones):**

A number of numbers and symbols

AI-generated content may be incorrect.

* El sistema **generaliza**: pasa de **160.8%** en TRAIN a **+10.1%** (TEST) y **+6.7%** (VALID) manteniendo drawdowns **acotados en ~20%**.
* El **Calmar** baja fuera de muestra (esperable). Aun así, se mantiene **positivo** en ambos periodos OOS, señal de un **edge robusto**.
* **Sharpe/Sortino** decrecen pero siguen >0, estilo coherente con estrategias **tendenciales/ruptura** expuestas a rachas y a concentrar P&L en pocos episodios.

Las métricas confirman una degradación controlada fuera de muestra: el Calmar pasa de 1.14 (TRAIN) a 0.32 (TEST) y 0.20 (VALID), con drawdowns estables en ~−20% y retornos positivos (+10.1% y +6.7%). El WinRate ~43–47% es típico de estrategias que dependen del payoff (TP>SL) más que de una alta tasa de aciertos.

## **4.2 Curva de capital y perfil de riesgo**

**TRAIN (equity y DD).**  
La curva muestra tramos tendenciales extensos (por ejemplo, 2020–2021) donde el sistema captura movimientos largos; los vales corresponden a periodos de laterales y bruscos reversiones. El MaxDD ~ −19% es consistente con una exposición fraccional (pos\_frac ≈ 38%) y con SL/TP vía ATR. El Calmar > 1 indica retorno anualizado superior a la magnitud del peor drawdown.

**TEST.**  
Se observa una escalada fuerte en parte de 2023 (picos que coinciden con May 2023 ≈ +13%, ver 4.4) y luego fase de erosión; aun así, el saldo permanece positivo (+10%). El DD permanece en ~−20%, lo que sugiere riesgo estable respecto a TRAIN.

**VALID.**  
La curva arranca con una subida en 2024 (Mar 2024 ≈ +10.4%) y luego entra en racha difícil a lo largo de 2025 (varios meses negativos). A pesar de esa fricción, el segmento cierra +6.7% con DD ~−20.7%. Conclusión: en un entorno con momentum más frágil, el sistema protege capital y aún añade algo de retorno.

## **4.3 Eficiencia por trade y estilo de P&L**

* WinRate en la banda 42–47% en los tres segmentos: típico de estrategias que dejan correr ganancias (TP>SL) y cortan pérdidas.
* El edge no depende de acertar muchas veces, sino de capturar “colas gruesas”: unas pocas operaciones grandes explican una porción sustancial del P&L (ej. *breakouts* de 2021 en TRAIN y *rally* de 2023 en TEST).
* Frecuencia: 370, 129 y 125 trades en TRAIN/TEST/VALID respectivamente; para 1h es una actividad moderada, compatible con fricciones (comisión 0.125%) y un *hold\_min* de 31 horas que reduce sobreoperación.

## **4.4 Estacionalidad operativa (retornos mensuales)**

**TRAIN (2017–2022):** meses destacados concentrados en periodos tendenciales (p. ej., mayo-2021 ≈ +20.8%). Otoños muestran debilidad recurrente (ej., oct-2018 ≈ −5.2%).

**TEST (2022–2024):** pico en mayo-2023 ≈ +13.1%; valle en oct-2023 ≈ −7.8%.

**VALID (2024–2025):** arranque fuerte (mar-2024 ≈ +10.4%) y fricción en 2025 con varios meses negativos (ej., jun-2025 ≈ −6.9%).

* **Degradación controlada**: pasar de Calmar 1.14 → 0.32 → 0.20 es normal al sacar la estrategia del set de optimización; lo relevante es que permanece positivo en los dos tramos OOS.
* **Riesgo estable**: el MaxDD se mantiene alrededor del 20% en los tres segmentos; no hay sorpresas de cola más profundas al salir de TRAIN.
* **Coherencia de estilo**: WinRate, dispersión mensual y sensibilidad a rupturas se conservan, lo que sugiere que el mecanismo económico (tendencia + ruptura con colchón de volatilidad) sigue vigente.

El P&L anual depende de pocos meses muy favorables (patrón típico de trend following). En regímenes laterales, los meses negativos se concentran y exigen horizonte de inversión suficiente para “capturar las colas”.

## **4.5 Qué está funcionando**

Filtro 2-de-3 reduce entradas falsas: las mejores rachas aparecen cuando tendencia, momento y ruptura se alinean.

* TP>SL en ATR captura “colas largas” y limita drawdowns.
* pos\_frac ≈ 38% ofrece exposición suficiente sin inflar el DD más allá de ~20%.
* Comisiones incluidas (0.125%) → los resultados reflejan un coste razonable para 1h.

## **4.6 Limitaciones observadas**

* **Dependencia de régimen**: en 2025, con momentum frágil y roturas fallidas, la estrategia suma menos.
* **Meses negativos concentrados**: caídas de −5% a −7% en un mes no son raras; hay que financiar la paciencia hasta que lleguen los *runs* tendenciales.
* **No se modeló slippage**; en 1h y en spot suele ser pequeño frente a la comisión, pero en eventos de alta fricción podría restar algunos puntos básicos.

## **4.7 Conclusión operativa de resultados**

1. Capacidad de generar retornos fuera de muestra confirmada: +10.1% (TEST) y +6.7% (VALID) con DD ≈ 20%.
2. Estrategia de “colas”: gana poco a menudo, pero mucho cuando lo hace; conviene mantenerla viva para capturar los grandes tramos.
3. Riesgo controlado y estable entre periodos: buen síntoma de robustez.
4. Siguiente paso: explorar walk-forward por ventanas o búsqueda bayesiana para ajustar finamente *pos\_frac* y umbrales, y añadir un filtro de régimen (p. ej., pendiente de volatilidad o ADX) que apague la estrategia en meses con rupturas fallidas reiteradas.

# **5. Análisis de riesgo y limitaciones**

Esta sección sintetiza qué puede salir mal, cuánto puede doler y cómo lo mitigamos. Se apoya en los resultados de la Sección 4 (curvas de capital, drawdowns y retornos mensuales) y en la configuración operativa: spot, sin apalancamiento, comisión 0.125%, exposición fraccional pos\_frac ≈ 38%, stop-loss / take-profit y umbrales basados en ATR/Donchian/RSI con confirmación 2-de-3 y desfase de 1 barra (sin adelantar señales).

## **5.1 Riesgo de mercado (P&L y drawdowns)**

Perfil observado

* Drawdown máximo en los tres segmentos: ≈ −19% a −21% (TRAIN −18.95%, TEST −19.63%, VALID −20.67%).
* Peor mes:
  + TRAIN: caída de doble dígito (~−11.9%) en un mes (ver CSV de retornos mensuales).
  + TEST: valle ~−7.8% en un mes.
  + VALID: valle ~−6.9% en un mes.
* WinRate estable 42–47%: el sistema gana poco, pero gana grande cuando engancha una tendencia. En meses de lateralidad/reversión la curva erosiona (ver VALID 2025).

**Lectura de riesgo**

* Es una estrategia de colas: el retorno depende de pocos episodios tendenciales. El inversor debe tolerar rachas y meses negativos seguidos.
* El riesgo de régimen es material: en entornos con rupturas fallidas o momentum débil, el sistema suma poco o cerca de cero, manteniendo el DD alrededor del 20%.

**Mitigación**

* Mantener un horizonte suficiente (≥ 12–18 meses) para capturar las “colas”.
* Incluir un filtro de régimen (p. ej., pendiente/fortaleza de tendencia vía ADX o ratio de rango direccional). Apagar o reducir tamaño cuando el régimen sea «lateral-volátil».
* Rebalanceo de riesgo por volatilidad: reducir pos\_frac cuando la volatilidad realizada (ATR) supere umbrales.

## **5.2 Riesgo de modelo (sobre-ajuste y deriva)**

**Fuentes**

* Optimización por random search en un único split 60/20/20. Aunque la degradación OOS es moderada y esperable, sigue habiendo:
  + Riesgo de sobre-ajuste fino de umbrales (RSI, Donchian, ATR, TP/SL).
  + Deriva temporal: los parámetros óptimos en 2017–2022 pueden no serlo en 2024–2025.

**Mitigación**

* Cambiar a walk-forward optimizado: ventanas rodantes con recalibración periódica (trimestral/semestral).
* Usar validación temporal repetida (TimeSeriesSplit) y paradas de complejidad (no añadir variables si la mejora de Calmar es marginal).
* Regularización blanda de parámetros (evitar valores extremos de *atr\_sl/atr\_tp* y umbrales de RSI demasiado restrictivos).

## **5.3 Riesgo de ejecución y fricción**

**Qué consideramos**

* Comisión: 0.125% incluida en backtest.
* Slippage: no modelado explícitamente; en BTC/USDT a 1h suele ser bajo vs comisión, pero puede aumentar en noticias, gaps de liquidez o incidentes en el exchange.
* Latencia / caídas de servicio: interrupciones puntuales pueden impedir ejecutar stops.

**Mitigación**

* Añadir en evaluación un colchón de slippage (por ejemplo, 0.5–1.0 bp) y repetir el backtest.
* Órdenes limit cuando sea posible en rupturas claras; en stops, mantener market por control de riesgo.
* Plan B operativo (failover de API/exchange) y kill-switch manual si hay desconexiones.

## **5.4 Riesgo de datos y medición**

* Look-ahead: evitado desplazando señales +1 barra y eliminando warm-up.
* Integridad: depends de la calidad del CSV (agregación 1h). Cambios de símbolo/mercado o *outliers* pueden sesgar indicadores.
* Survivorship/selection bias: limitado al trabajar con BTCUSDT (activo líder y líquido).
* No incluye: *funding* (no aplica en spot), ni costes de retiro/deposito.

**Mitigación**

* Rutina de validación de datos (NAs, *spikes*, huecos de tiempo).
* Contrastación con segundo proveedor de OHLC si se observan anomalías.

## **5.5 Sensibilidad y capacidad**

**Sensible a:**

* pos\_frac (≈ 0.38): el DD escala casi linealmente. Si el inversor tolera ≤ 15% de DD, reducir pos\_frac a ~0.28–0.30.
* Hold mínimo (31 horas): bajar demasiado aumenta sobreoperación y fricción; subirlo puede perder rupturas cortas.
* Umbrales (RSI upper/lower, ATR buffer): umbrales más estrictos suben precisión pero bajan frecuencia y pueden perder tendencias tempranas.

**Capacidad**

* BTCUSDT en 1h tiene alta liquidez; con tamaños razonables, el impacto de mercado es bajo. La capacidad crecerá linealmente con el capital hasta niveles muy superiores a los de un proyecto académico.

## **5.6 Controles y gobernanza de riesgo**

**Límites y kill-switches**

* DD límite: pausar si el DD corriente > 25% o si el rolling Calmar 3M < 0.
* Rachas negativas: si 3 meses consecutivos < 0, reducir pos\_frac a la mitad y re-evaluar régimen.
* Exposición: *cap* de 40–45% del equity hasta añadir filtros de régimen.

**Monitoreo operativo**

* Tablero con equity, DD, PnL mensual, ratio de rupturas exitosas y volatilidad (ATR).
* Revisión trimestral de parámetros y performance (walk-forward).

## **5.7 Qué rompería la estrategia (señales de alerta)**

* Caída sostenida del porcentaje de rupturas exitosas (> 30–40% por debajo de su media histórica).
* Compresión de rango prolongada (ATR bajo) + falsas rupturas frecuentes.
* Cambios de microestructura (comisiones/tasas > 0.125% o *tick size* que impida ejecutar al precio) que eleven la fricción neta.

## **5.8 Limitaciones del estudio**

* Un único split 60/20/20; si bien hay dos tramos OOS, no sustituye a un walk-forward completo.
* Slippage no modelado; en escenarios de estrés puede restar bps.
* Un solo activo (BTCUSDT); no se evaluó diversificación entre criptoactivos ni *correlation risk*.
* Ausencia de apalancamiento por diseño; resultados no extrapolables 1:1 a futuros/perps.

**6. Conclusiones**El proyecto implementa una estrategia sistemática sobre BTCUSDT (1h) con confirmación 2-de-3 entre señales de tendencia, momento y ruptura, ejecución con desfase de 1 barra, costos del 0.125%, operación long/short y sin apalancamiento. La optimización se orientó a maximizar Calmar en el tramo de Entrenamiento, con evaluación *walk-forward* (60/20/20) y parámetros congelados en Prueba y Validación. Los resultados muestran rendimiento positivo fuera de muestra con riesgo estable:

* TRAIN: Calmar 1.1437, retorno total +160.8%, MaxDD −18.95%, WinRate 46.76%.
* TEST: Calmar 0.3159, retorno +10.1%, MaxDD −19.63%, WinRate 42.64%.
* VALID: Calmar 0.2007, retorno +6.7%, MaxDD −20.67%, WinRate 43.20%.

**Fortalezas evidenciadas.**

* Coherencia riesgo–retorno: drawdowns contenidos (~−19% a −21%) en los tres segmentos y rentabilidad positiva en Prueba y Validación.
* Mecanismo económico consistente: la combinación de tendencia, momento y ruptura (con amortiguación vía ATR) captura rachas direccionales y limita pérdidas con SL/TP en múltiplos de ATR.
* Operativa sobria: exposición fraccional (pos\_frac ~38%) y *hold\_min* moderan la rotación, preservan el perfil de riesgo y reducen señales espurias.
* Reproducibilidad: división temporal causal, parámetros congelados, métricas estándar y artefactos exportados (tablas y gráficas) facilitan auditoría.

**Debilidades y riesgos.**

* Dependencia de régimen: en entornos laterales o con rupturas fallidas (especialmente en 2025) el Calmar disminuye y parte del P&L se erosiona, aunque el DD se mantiene acotado.
* P&L concentrado: el desempeño depende de pocos meses muy favorables; se requieren horizontes de tenencia suficientes para capturar “colas” tendenciales.
* Eficiencia por trade moderada: WinRate ~43–47%; el edge proviene del payoff (TP>SL), no de una alta frecuencia de aciertos.
* Fricción no completamente modelada: el *slippage* no se incorporó explícitamente; en eventos de alta fricción podría reducir algunos puntos básicos.

**Lecciones metodológicas.**

* El uso de Calmar como objetivo obliga a equilibrar crecimiento y severidad de caídas; al anualizar métricas y calcular CAGR/DD sobre la curva de equity, la comparación entre segmentos es más honesta.
* La disciplina walk-forward (parámetros congelados) permite observar una degradación controlada fuera de muestra, compatible con un sistema de seguimiento de tendencias.
* La separación de limpieza de datos y backtest, junto con el desfase de señales, minimiza sesgos de *look-ahead* y errores contables.

El estudio demuestra una implementación válida y reproducible que logra retornos positivos fuera de muestra con riesgo acotado, coherente con un enfoque *trend-following* en BTC spot a 1h. Si bien no constituye una solución “todo clima”, la incorporación de filtros de régimen, recalibración *walk-forward* y control dinámico de riesgo ofrece un camino razonable para mejorar la estabilidad del Calmar y la suavidad de la curva de capital en escenarios menos direccionales.

**Anexos**

**A. Definiciones de métricas**

* *Sharpe*: (rf=0).
* *Sortino*: .
* *MaxDD*: mínimo de .
* *CAGR*: .
* *Calmar*: .
* *WinRate*: proporción de trades con PnL > 0.