

ITESO

Universidad Jesuita
de Guadalajara

ALGORITHMIC TRADING SYSTEMS

Executive Report

Marianne Trujillo Altamirano

Microestructura y sistemas de trading | Mtro. Luis Felipe Gómez Estrada

Febrero 2026 | ITESO

1. Descripción de la Estrategia y Fundamento

Para este proyecto decidí construir una estrategia de tendencia-momentum sobre el par BTC/USDT en velas de 5 minutos. La idea central es simple pero tiene mucho sentido desde la teoría: en lugar de depender de un solo indicador que fácilmente puede darte señales falsas, uso tres indicadores y exijo que al menos dos de ellos apunten en la misma dirección antes de abrir una posición. A eso se le llama la regla de confirmación 2-de-3.

Los Tres Indicadores

Cada indicador mide algo distinto del mercado, y juntos cubren tres dimensiones complementarias:

- **RSI (Relative Strength Index):** captura el momentum del precio. Si cae por debajo de 35, el activo está en zona de sobreventa y podría rebotar - señal de long. Si sube por encima de 65, está sobrecomprado - señal de short. Elegí esos umbrales en lugar del típico 30/70 para generar señales un poco más frecuentes en datos de alta frecuencia.
- **EMA (Exponential Moving Average):** da el contexto de tendencia. Si el precio está por encima de la EMA, el momentum general es alcista y favorezco posiciones largas. Por debajo, favorezco cortas. La EMA le da "dirección" al sistema.
- **Bandas de Bollinger:** miden qué tan lejos está el precio de su comportamiento estadístico normal. Si toca la banda inferior, el precio está inusualmente bajo y probablemente regrese al centro — confirma long. Si toca la banda superior, confirma short. Funciona como un filtro de volatilidad.

Reglas de Entrada, Salida y Gestión de Riesgo

Las reglas de entrada quedan así:

- Long: al menos 2 de ***RSI < 35, Precio > EMA, Precio < Banda Inferior de Bollinger***
- Short: al menos 2 de ***RSI > 65, Precio < EMA, Precio > Banda Superior de Bollinger***

Una cosa importante que cuidé mucho en el código es el look-ahead bias. Todas las señales se desplazan un periodo hacia adelante con `shift(1)` antes de ejecutarse, lo que significa que la decisión de comprar o vender en la vela t solo puede basarse en información disponible hasta la vela $t-1$. Sin ese desplazamiento, el backtest estaría viendo el futuro sin saberlo.

Para la gestión de riesgo, cada posición utiliza el 10% del capital disponible. Las posiciones se cierran automáticamente cuando el movimiento a favor alcanza el Take Profit optimizado, o cuando el movimiento en contra supera el Stop Loss. La comisión del 0.125% se aplica sobre el valor nocional en cada operación.

2. Análisis y Preprocesamiento de Datos

Trabajé con los dos archivos que nos proporcionaron: `btc_project_train.csv` para el entrenamiento y `btc_project_test.csv` para la evaluación final fuera de muestra. El preprocesamiento lo hice en el módulo `data_loader.py` y fue relativamente mínimo, porque no quería introducir transformaciones que pudieran contaminar la información temporal:

- Conversión del índice a formato datetime para poder hacer operaciones de ventana temporal correctamente.
- Ordenamiento cronológico ascendente: paso básico que ayuda a evitar que el Walk-Forward mezcle el pasado con el futuro.
- Eliminación de filas con valores nulos que pudieran romper el cálculo de los indicadores.

Decidí no normalizar ni transformar las variables de precio porque la librería `ta` (Technical Analysis) ya produce señales normalizadas por construcción: el RSI siempre está entre 0 y 100, y las Bandas de Bollinger ya expresan la posición relativa del precio. Normalizar encima de eso sería redundante y podría introducir información futura si la normalización usa estadísticos calculados sobre toda la serie.

3. Metodología e Implementación

Walk-Forward Acumulativo

El Walk-Forward es la parte metodológica que manejé con más cuidado. La lógica es “simple” pero si optimizo mis parámetros sobre todos los datos históricos y después evalúo en esos mismos datos, los resultados van a parecer increíbles pero no van a replicarse en el mundo real porque el modelo “memorizó” el pasado, es decir hay overfitting. El Walk-Forward resuelve eso entrenando en una ventana, evaluando en la siguiente, avanzando en el tiempo, y repitiendo.

Parámetro	Valor
Ventana de entrenamiento	8,640 velas (\approx 1 mes)
Ventana de prueba (OOS)	2,016 velas (\approx 1 semana)
Paso de avance	2,016 velas (weekly step)
Trials por ventana	100 (Optuna, <code>n_jobs=-1</code>)
Capital inicial	\$1,000,000 USD
Tiempo total de cómputo	25.38 minutos

Lo que hago con el capital es acumulativo: el saldo con el que arranca cada ventana de prueba es el saldo con el que terminó la ventana anterior. Eso construye una curva de equity continua que representa lo que habría pasado si hubiera operado el sistema en tiempo real, re-optimizando cada semana con el mes anterior de datos.

Optimización con Optuna

Optuna me permite hacer búsqueda bayesiana (usando el algoritmo TPE — Tree-structured Parzen Estimator) en lugar de probar todas las combinaciones posibles como en Grid Search. La ventaja es que aprende de cada trial qué zonas del espacio de parámetros son más prometedoras y concentra las pruebas ahí. Con 100 trials por ventana logré cubrir bien el espacio en tiempos razonables.

La función objetivo que maximicé es el Calmar Ratio, que relaciona el retorno anualizado con el drawdown máximo. Es la métrica más relevante para este tipo de estrategia porque penaliza tanto la falta de rendimiento como el riesgo de pérdida severa.

El espacio de búsqueda que definí fue:

- Take Profit: 2% a 12%
- Stop Loss: 1% a 5%
- Periodo RSI: 10 a 20 velas
- Periodo EMA: 20 a 100 velas
- Periodo Bollinger Bands: 15 a 30 velas

Estructura del Código

Organicé el repositorio en módulos independientes para que cada archivo tenga una sola responsabilidad y el código sea fácil de mantener y entender:

- `src/data_loader.py` — carga y limpieza de los datos crudos
- `src/indicators.py` — cálculo de indicadores y generación de señales con protección contra look-ahead bias
- `src/backtest.py` — motor de simulación que maneja posiciones Long y Short con comisiones reales
- `src/optimization.py` — orquesta el Walk-Forward y llama a Optuna en cada ventana
- `src/metrics.py` — cálculo de Calmar, MaxDD, retorno total y anualizado
- `src/robustness.py` — análisis de sensibilidad paramétrica
- `main.py` — punto de entrada que conecta todos los módulos y genera los resultados

4. Resultados y Análisis de Rendimiento

Métricas de Desempeño (OOS — `btc_project_train.csv`)

Métrica	Valor	Interpretación
Calmar Ratio	-0.6742	Negativo — el retorno anualizado no alcanzó para cubrir el drawdown máximo
Máximo Drawdown	16.65%	La caída más grande desde el pico de capital durante todo el periodo
Retorno Total	-16.31%	Pérdida neta acumulada en el periodo OOS
Retorno Anualizado	-11.22%	Equivalente anual de esa pérdida total
Comisión aplicada	0.125%	Por operación, sobre el valor nocional (entrada y salida)
Tiempo de cómputo	25.38 min	Walk-Forward completo con 100 trials de Optuna por ventana

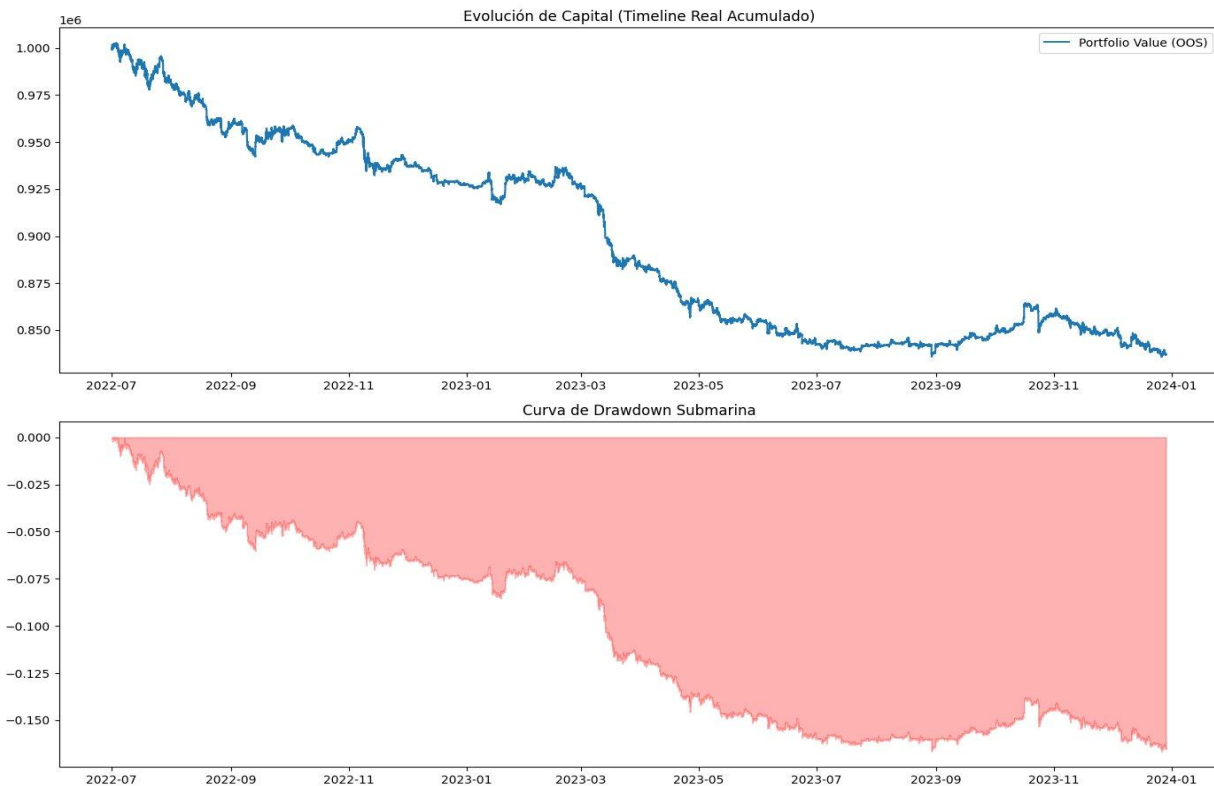
Los resultados en el periodo fuera de muestra son negativos, y hay que ser honesta al respecto. El Calmar de -0.67 significa que por cada punto de drawdown que generé, perdí 0.67 puntos de retorno anualizado - básicamente, asumí riesgo sin recompensa. El retorno total de -16.31% en 18 meses de operación refleja

que la estrategia no logró adaptarse bien al entorno de mercado que enfrentó BTC entre mediados de 2022 y finales de 2023.

Lo que sí funcionó bien es el mecanismo de stop loss: el drawdown máximo se contuvo en 16.65%, lo que para un mercado tan volátil como BTC en ese periodo no es un resultado catastrófico. La estrategia perdió, pero de manera controlada.

Gráficas de Rendimiento

Figura 1. Evolución del capital y curva de drawdown submarino (Portfolio OOS acumulativo).



La gráfica muestra tres momentos bastante distintos. De julio a diciembre 2022 la pérdida fue gradual, casi tranquila, como si la estrategia fuera cediendo terreno poco a poco sin grandes sustos. Luego, de enero a mayo 2023, la caída se acelera notoriamente — ese es el tramo que más me preocupa, porque sugiere que el mercado cambió de comportamiento y los indicadores de reversión simplemente dejaron de funcionar. Ya en el segundo semestre de 2023 la curva se estabiliza e incluso recupera algo, lo que me hace pensar que el sistema sí tiene potencial, solo que no está diseñado para aguantar tendencias bajistas tan prolongadas como las que vivió BTC en ese periodo.

La curva de drawdown submarino confirma que el sistema nunca recuperó su máximo histórico durante todo el periodo. El punto más profundo, alrededor de -16.6%, se alcanzó hacia septiembre de 2023.

5. Tablas de Retornos

Retornos Mensuales

Mes	rt.	Mes	rt.	Mes	rt.
Ago 2022	-2.20%	Sep 2022	-0.24%	Oct 2022	-0.61%
Nov 2022	-1.44%	Dic 2022	-1.01%	Ene 2023	+0.30%
Feb 2023	-0.28%	Mar 2023	-4.70%	Abr 2023	-2.14%
May 2023	-1.26%	Jun 2023	-1.36%	Jul 2023	-0.12%
Ago 2023	+0.05%	Sep 2023	+0.71%	Oct 2023	+1.23%
Nov 2023	-1.19%	Dic 2023	-1.35%		

La mayoría de los meses son negativos, pero la magnitud es contenida. Marzo 2023 es el mes que más llama la atención con -4.70% — fue el peor mes del periodo y coincide exactamente con la caída acelerada visible en la gráfica. Lo más esperanzador es ver tres meses positivos consecutivos en el tercer trimestre de 2023 (agosto, septiembre y octubre), que es la señal más clara de que el sistema sí puede generar valor cuando las condiciones se lo permiten.

Retornos Trimestrales

Trimestre	rt.
Q4 2022	-3.03%
Q1 2023	-4.68%
Q2 2023	-4.68%
Q3 2023	+0.64%
Q4 2023	-1.33%

Q1 y Q2 de 2023 empataron prácticamente en pérdidas (-4.68% cada uno), lo cual refleja que fue un semestre muy difícil de manera sostenida. El único trimestre positivo fue Q3 2023 (+0.64%), confirmando la recuperación parcial que se ve en la gráfica.

Retorno Anual

Año	rt.
2023	-9.77%

Cerrar 2023 con -9.77% es más llamativo cuando sabes que BTC en ese año tuvo una recuperación bastante fuerte después del desplome de 2022. El mercado estaba subiendo y la estrategia igual perdió dinero: lo que básicamente me dice que los indicadores de reversión estaban generando señales cortas justo en medio de una tendencia alcista. El sistema apostaba a que el precio iba a bajar cuando en realidad estaba subiendo con fuerza.

6. Análisis de Riesgo y Limitaciones

Exposición al Riesgo

Con un capital inicial de \$1,000,000, el drawdown máximo de 16.65% equivale a una pérdida puntual de hasta \$166,500. No es un nivel catastrófico, pero tampoco sería aceptable para la mayoría de los gestores de portafolio sin apalancamiento. En términos de riesgo ajustado, el Calmar negativo es el indicador más honesto: el sistema no compensó adecuadamente el riesgo que tomó.

Vale la pena mencionar que el módulo de métricas actual (metrics.py) solo calcula Calmar, MaxDD, retorno total y anualizado. Para un análisis de riesgo más completo habría que agregar Sharpe y Sortino, que requieren calcular la volatilidad de los retornos diarios.

¿Por qué la Estrategia Tuvo Problemas?

Identifico cuatro fuentes principales de los problemas de la estrategia:

- Cambio de régimen de mercado: el periodo 2022-2023 fue complicado para cualquier estrategia de reversión. La caída de 2022 y la recuperación de 2023 son dos entornos completamente distintos, y en ambos el RSI marcaba sobreventa y generaba entradas largas cuando en realidad el mercado seguía bajando. El problema de fondo es que los indicadores de reversión asumen que los precios van a regresar a un promedio, y eso no pasa cuando hay una tendencia fuerte y sostenida.
- Data mining bias residual: el Walk-Forward ayuda mucho, pero no elimina por completo el overfitting. Tomando en cuenta que Optuna encuentra los mejores parámetros para esa ventana de entrenamiento específica, y si la semana siguiente el mercado se comporta diferente, esos parámetros ya no sirven igual. El coeficiente de variación del Take Profit de 41.57% lo deja muy claro el optimizador nunca encontró un valor que funcionara de manera consistente, sino que lo ajustaba cada vez.
- Comisiones acumuladas: en velas de 5 minutos se generan muchas señales, y eso significa muchas operaciones. Cada round-trip cuesta 0.25% entre entrada y salida, y los movimientos típicos en esas velas están entre 0.05% y 0.30%. Básicamente, en varios casos las comisiones se llevan todo el movimiento antes de que la posición pueda ser rentable.
- Position sizing fijo: usar siempre el 10% del capital sin importar qué está haciendo el mercado es simple pero limitado. Un 10% en un día tranquilo y un 10% en medio de una volatilidad extrema no representan el mismo riesgo, y esa diferencia termina afectando los resultados sin que el sistema lo esté considerando.

El Problema Real de las Comisiones en Alta Frecuencia

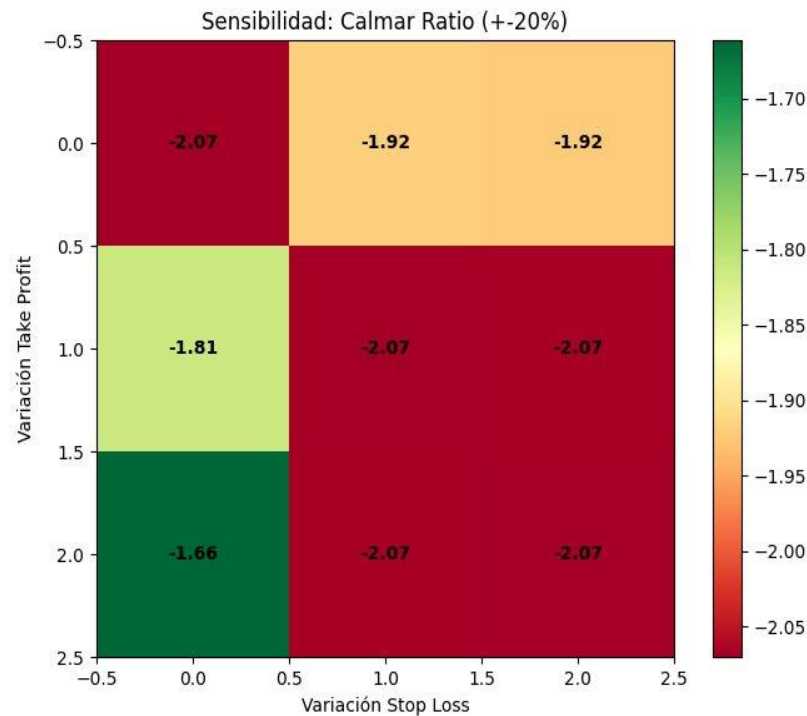
Cada operación completa cuesta 0.25% solo en comisiones. Si el Stop Loss está en 2%, eso significa que antes de que el precio se mueva un solo centavo ya se perdió el 12.5% de todo lo que se estaba dispuesto a arriesgar. En estrategias que operan en 5 minutos y generan muchas señales, ese costo se acumula rápido y se vuelve muy difícil de compensar si las señales no son consistentemente buenas.

7. Análisis de Sensibilidad Paramétrica

Para verificar si los resultados son estrechamente dependientes de los parámetros que encontró Optuna, realicé un análisis de sensibilidad variando los parámetros óptimos de la última ventana en $\pm 20\%$ y midiendo el impacto sobre el Calmar Ratio en los datos de prueba.

Heatmap de Sensibilidad

Figura 2. Calmar Ratio al variar Take Profit y Stop Loss $\pm 20\%$ respecto al valor óptimo.



Lo primero que noto en este heatmap es que casi todas las celdas muestran -2.07, con dos excepciones cuando el TP aumenta y el SL se mantiene o disminuye. La combinación que da el mejor resultado relativo (-1.66) es TP al 120% con SL al 80%, lo que en términos prácticos significa dejar correr más las ganancias y cortar las pérdidas antes. Tiene lógica intuitiva, pero sigue siendo un Calmar negativo.

La concentración de valores en -2.07 me dice algo importante: el problema no está en la calibración de TP y SL. Si pequeños cambios en estos parámetros no mejoran el resultado, es porque hay algo más profundo que está fallando (probablemente la capacidad de la estrategia de generar señales con alpha positivo en este entorno de mercado). Ajustar TP y SL es como querer arreglar los frenos de un coche que tiene el motor descompuesto.

Estabilidad de Parámetros en el Walk-Forward

También analicé qué tan consistentes fueron los parámetros óptimos a lo largo de todas las ventanas del Walk-Forward, usando el Coeficiente de Variación ($CV = \text{desviación estándar} / \text{media}$). Un CV alto significa que el optimizador encontró valores muy distintos en cada ventana, lo que puede indicar sobreajuste o simplemente que el mercado cambia mucho.

Parámetro	CV (%)	Interpretación
Take Profit (tp)	41.57%	El optimizador buscó niveles de TP muy distintos en cada ventana: señal de que no existe un valor óptimo universal
EMA Period	39.15%	El horizonte de tendencia se reajustó mucho, lo que tiene sentido porque BTC cambia de régimen constantemente
Stop Loss (sl)	35.48%	Variabilidad moderada, coherente con los distintos niveles de volatilidad que enfrentó el sistema
BB Period	21.36%	Más estable entre ventanas - la volatilidad relativa tiene cierta consistencia en BTC
RSI Period	20.71%	El más consistente de todos: el momentum de corto plazo en BTC tiende a comportarse de forma similar

El RSI y las Bollinger Bands son los más estables ($CV \sim 21\%$), lo que tiene sentido: el momentum de corto plazo en BTC tiene cierta consistencia. El Take Profit y la EMA son los más inestables ($CV \sim 40\%$), que es donde más se nota la falta de un régimen de mercado dominante durante el periodo. Cada ventana veía un BTC diferente y el optimizador respondía encontrando parámetros diferentes.

8. Conclusiones

De manera general, los resultados OOS son negativos (Calmar = -0.67, Retorno Total = -16.31%) sin intentar maquillarlos. Lo que tengo claro es que el problema no está en cómo está construido el sistema; el Walk-Forward corre bien, Optuna hace su trabajo y las comisiones están bien implementadas. Lo que pasó es que una estrategia de reversión enfrentó dos años donde BTC primero se desplomó y luego se recuperó con fuerza, y ninguno de esos dos entornos es favorable para indicadores que asumen que el precio va a regresar a un promedio.

Algo que sí me parece rescatable es el comportamiento del sistema en el segundo semestre de 2023: cuando el mercado dejó de tener una dirección tan marcada, la estrategia se estabilizó e incluso recuperó algo de terreno. Eso da a entender que la lógica de confirmación 2-de-3 tiene sentido en entornos laterales o de baja tendencia, solo que necesita saber cuándo no aplicarse.

Lo que me llevo de esto:

- El Walk-Forward evita el look-ahead bias y reduce el overfitting, pero no puede protegerte cuando el mercado cambia de comportamiento de fondo. Eso está fuera de su alcance.
- Los coeficientes de variación altos del Take Profit y la EMA me dicen que el optimizador nunca encontró un valor que funcionara de forma consistente — cada ventana veía un mercado distinto y respondía con parámetros distintos. Eso es data mining bias residual que el Walk-Forward no elimina del todo.
- La regla 2-de-3 filtra señales falsas, pero en mercados con una tendencia clara también filtra señales que habrían sido correctas. Es un trade-off que en este periodo jugó en contra.

- El siguiente paso lógico sería incorporar detección de régimen para que el sistema sepa cuándo operar y cuándo quedarse fuera, reemplazar el sizing fijo del 10% por algo dinámico basado en volatilidad como el ATR, y extender el módulo de métricas para incluir Sharpe y Sortino, que darían una imagen más completa del perfil de riesgo.

En resumen, construir un sistema que falla pero puedes saber dónde y por qué, es más valioso que uno que funciona sin que sepas el trasfondo. Después de realizar este proyecto y ejercicio, creo que puedo señalar qué condiciones de mercado lo perjudicaron y qué cambios estructurales lo mejorarían.