

Algorithmic Trading Systems: Optimización Walk-Forward y Análisis de Costos de Fricción en Estrategias Multi-Indicador

Alberto Marín Gómez

27 de Febrero del 2026

Resumen

Este reporte detalla el diseño, optimización y evaluación rigurosa de una estrategia de trading sistemático aplicada al mercado de Bitcoin. Se implementó un modelo de consenso multi-indicador (RSI, MA, MACD) validado a través de un Análisis Walk-Forward (WFA) para mitigar el sobreajuste. El simulador incorpora fricciones reales del mercado, incluyendo comisiones transaccionales y gestión de cuentas de margen para operaciones en corto. El análisis final responde directamente al impacto del reequilibrio frecuente y los costos de transacción sobre la rentabilidad neta.

1. Introducción

El desarrollo de sistemas de trading algorítmico rentables requiere superar el sesgo de datos (*data-snooping*) y modelar con precisión la microestructura del mercado. En este proyecto, se construyó un motor de *backtesting* determinista que evalúa una estrategia basada en la confirmación de señales técnicas (consenso 2 de 3).

El entorno de simulación se diseñó bajo restricciones estrictas: comisiones por transacción del 0.125 % (más IVA del 16 % sobre la comisión), prohibición de apalancamiento neto, pero permitiendo posiciones largas y cortas. Para las posiciones cortas, se programó una lógica de cuenta de margen con un requerimiento inicial del 50 % y un margen de mantenimiento del 30 %, ejecutando *margin calls* dinámicos. El objetivo principal es encontrar hiperparámetros óptimos que se adapten a los cambios de régimen del mercado y analizar si la frecuencia operativa justifica los costos de fricción.

2. Marco Teórico e Indicadores Matemáticos

La estrategia no depende de un único indicador, sino de un sistema de votación donde cada indicador emite una señal direccional $v \in \{-1, 0, 1\}$.

2.1. Media Móvil Simple (MA)

Funciona como el filtro de régimen principal, identificando la inercia del precio. Se calcula como el promedio de los precios de cierre P en una ventana de n periodos:

$$MA_n = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} P_{t-i} \quad (1)$$

Lógica de señal: $v_{MA} = 1$ si $P_t > MA_n$ (tendencia alcista), y $v_{MA} = -1$ si $P_t < MA_n$ (tendencia bajista).

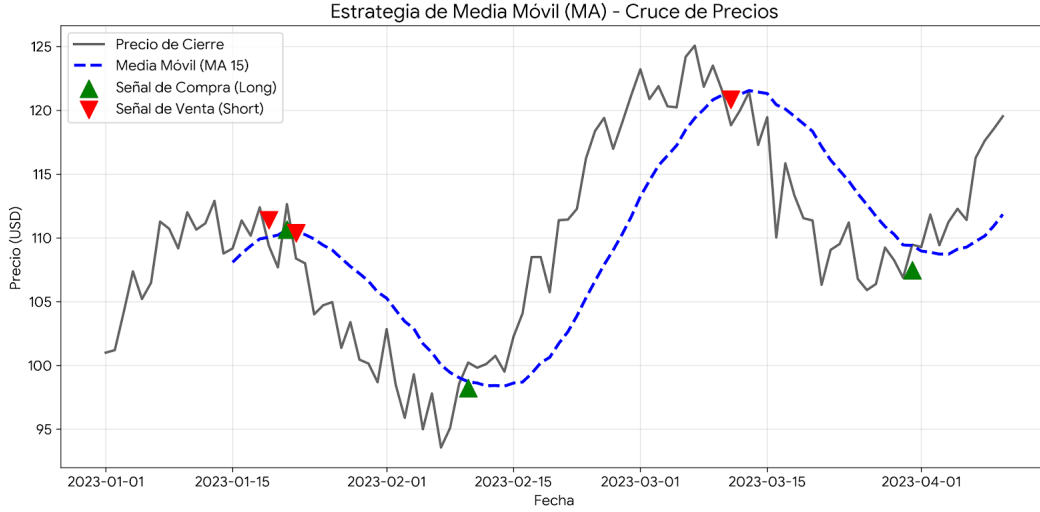


Figura 1: Comportamiento del precio respecto a la Media Móvil Simple.

2.2. Relative Strength Index (RSI)

Oscilador de *momentum* que mide la velocidad y magnitud de los movimientos direccionales del precio.

$$RSI = 100 - \left(\frac{100}{1 + RS} \right) \quad \text{donde} \quad RS = \frac{\text{Media}(\text{Ganancias})}{\text{Media}(\text{Pérdidas})} \quad (2)$$

Lógica de señal: $v_{RSI} = 1$ si el activo está en sobreventa ($RSI < L_{inf}$), y $v_{RSI} = -1$ si está en sobrecompra ($RSI > L_{sup}$).

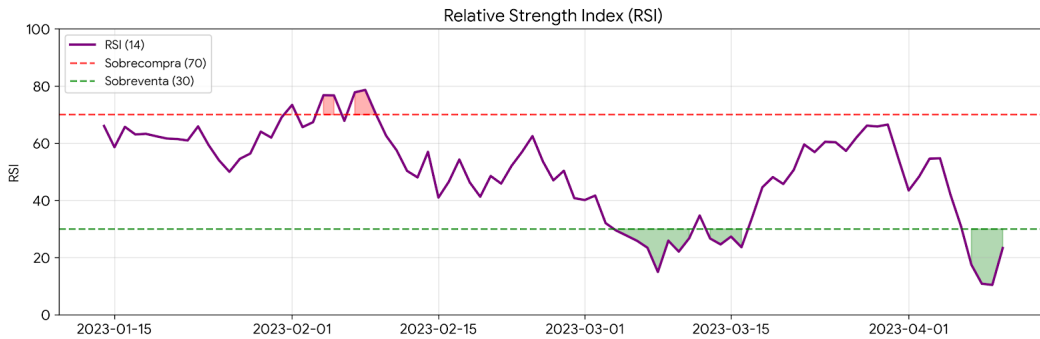


Figura 2: Identificación de zonas de sobrecompra y sobreventa mediante el RSI.

2.3. Moving Average Convergence Divergence (MACD)

Mide la divergencia entre dos medias móviles exponenciales (EMA) rápidas y lentas. Su histograma representa la diferencia entre la línea MACD y la línea de señal. Lógica de señal: $v_{MACD} = 1$ si el histograma es positivo, y $v_{MACD} = -1$ si es negativo.

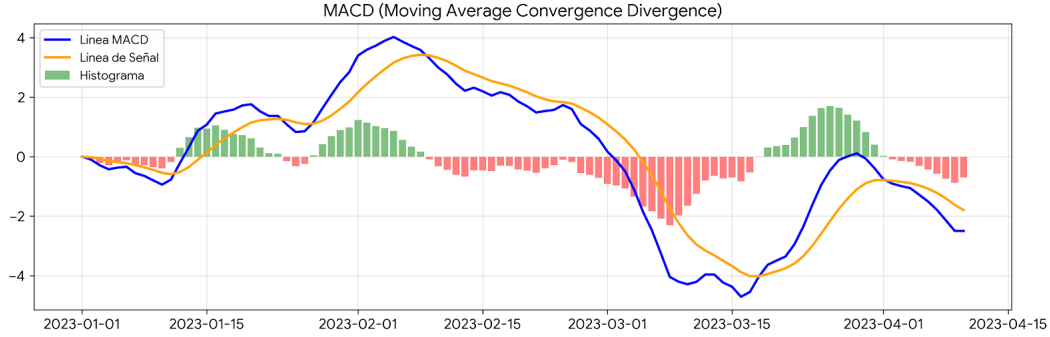


Figura 3: Cruces de señal e histograma del MACD.

La señal final de mercado S se ejecuta solo si existe consenso mayoritario: si $\sum v \geq 2$, se activa un *Long*; si $\sum v \leq -2$, se activa un *Short*.

3. Metodología de Optimización: Walk-Forward Analysis

Para optimizar los parámetros de la estrategia (ventanas de los indicadores, niveles de RSI, *Take Profit*, *Stop Loss* y dimensionamiento de la posición), se utilizó optimización bayesiana mediante la librería **Optuna**.

Para evitar el *overfitting*, se aplicó un anclaje móvil (Walk-Forward):

1. **Periodo de Entrenamiento:** Ventana de 1 mes (30 días) donde el algoritmo busca los parámetros que maximizan el retorno.
2. **Periodo de Prueba (Avance):** Se valida la robustez de los parámetros avanzando la ventana iterativa en saltos de 1 semana (7 días).

Espacio de búsqueda: Ventana RSI [14, 50], RSI *Lower/Upper* [20-40, 60-80], Ventana MA [50, 200], Tamaño de posición [0.5, 2.0], TP [2 %, 15 %] y SL [2 %, 10 %].

4. Resultados de la Simulación

4.1. Gráfica de Ejecución Final

A continuación, se presenta la evolución de la estrategia utilizando los últimos parámetros óptimos descubiertos en la validación *Out-of-Sample*.

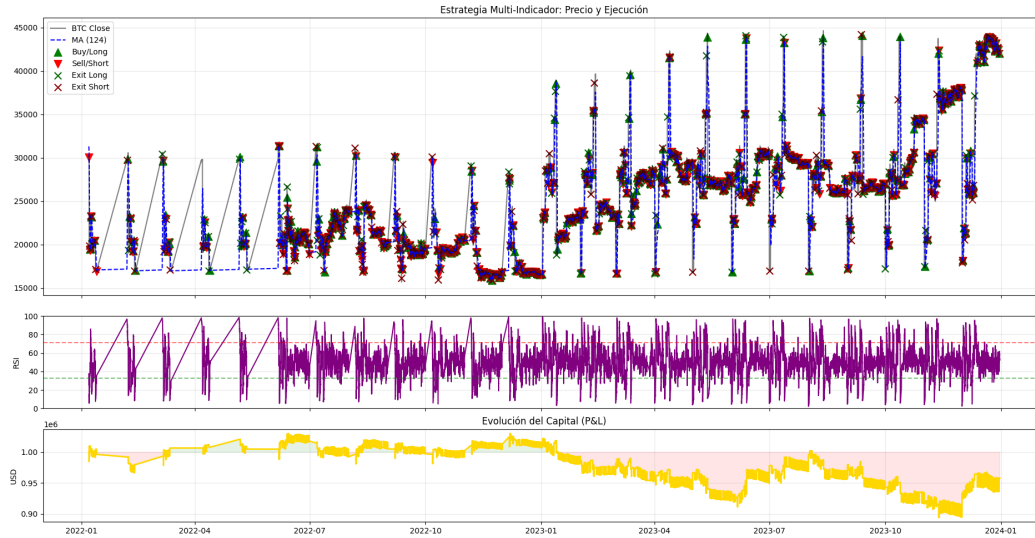


Figura 4: Gráfico de Precio, ejecución de operaciones, RSI y Curva de Capital (PnL).

4.2. Tabla de Parámetros Dinámicos (WFA)

La siguiente tabla evidencia cómo la estrategia mutó sus hiperparámetros semanalmente para adaptarse a la microestructura cambiante del activo:

Cuadro 1: Resultados Óptimos por Ventana temporal (WFA)

Mes Inicio	RSI Win	RSI Low/Up	MA Win	TP (%)	SL (%)	Shares
2022-01-06	44	34/75	59	7.61	5.01	1.8841
2022-01-13	25	37/74	153	10.97	8.53	1.1934
2022-01-20	47	29/63	150	5.61	3.89	0.7062
2022-01-27	31	24/72	132	7.59	9.42	1.1052
2022-02-03	40	32/68	152	10.47	5.34	1.0703
2022-02-10	50	33/60	62	14.85	7.35	1.9954
2022-02-17	33	37/60	94	2.92	7.05	1.9182
2022-02-24	34	38/67	110	2.08	2.70	1.9961
2022-03-03	38	31/60	100	6.78	4.11	1.5892
2022-03-10	35	36/71	61	7.64	7.38	1.9986
2022-03-17	47	39/71	102	5.63	8.99	1.8221
2022-03-24	44	39/64	88	5.66	4.11	1.7411
2022-03-31	41	40/62	109	4.66	7.54	1.9756
2022-04-07	47	22/62	80	5.06	9.03	1.9863
2022-04-14	32	40/75	177	14.34	5.50	0.5037
2022-04-21	38	38/79	175	9.36	6.13	0.6054
2022-04-28	44	39/66	189	12.55	2.53	0.5118
2022-05-05	46	37/80	184	2.60	7.25	0.5681
2022-05-12	42	38/66	170	7.06	3.48	1.8944
2022-05-19	35	40/71	87	3.25	2.14	1.9322
2022-05-26	46	22/67	125	7.42	6.27	1.9923
2022-06-02	36	39/66	123	6.43	4.38	1.8409
2022-06-09	31	38/77	81	7.31	8.94	0.5515
2022-06-16	34	39/77	100	5.43	2.62	0.5009
2022-06-23	39	39/74	185	13.23	9.94	0.5043
2022-06-30	27	20/68	61	6.77	4.27	0.5043
2022-07-07	16	22/67	131	13.63	9.45	0.5017
2022-07-14	14	21/70	126	10.86	8.78	1.9052
2022-07-21	27	26/66	139	12.27	5.95	1.9419
2022-07-28	32	26/70	114	5.86	6.49	1.8682
2022-08-04	30	24/77	125	5.14	7.14	1.9213
2022-08-11	32	25/71	118	10.17	2.63	1.8635
2022-08-18	18	27/77	128	14.48	9.93	0.5118
2022-08-25	20	21/68	99	3.70	7.08	0.6159
2022-09-01	41	38/74	89	10.48	9.50	0.6049
2022-09-08	14	37/79	80	14.14	5.99	0.6776
2022-09-15	15	38/72	184	11.59	9.53	1.0537
2022-09-22	42	37/63	180	7.47	5.08	0.5707
2022-09-29	14	40/75	148	10.53	9.96	1.9952
2022-10-06	49	35/78	119	6.60	2.39	1.5880
2022-10-13	34	39/73	80	8.60	8.85	1.9518
2022-10-20	46	25/79	78	10.77	5.61	1.7184
2022-10-27	40	36/64	89	5.38	8.19	1.9916
2022-11-03	50	34/60	190	13.86	9.05	1.9973
2022-11-10	33	29/68	171	10.95	3.11	1.8827
2022-11-17	35	26/61	169	13.76	5.92	1.9926

Continúa...

Cuadro 1 – *Continuación*

Mes Inicio	RSI Win	RSI Low/Up	MA Win	TP (%)	SL (%)	Shares
2022-11-24	42	34/70	167	9.00	6.38	1.9007
2022-12-01	37	28/69	93	6.60	4.54	1.1007
2022-12-08	19	39/77	177	10.48	6.22	1.7906
2022-12-15	44	35/76	67	2.07	2.94	1.9824
2022-12-22	40	32/63	85	7.78	4.56	1.8289
2022-12-29	48	39/68	117	8.63	3.48	1.9962
2023-01-05	41	40/73	50	10.16	9.80	1.5661
2023-01-12	46	39/63	112	8.00	6.23	1.7410
2023-01-19	48	37/60	78	6.15	4.48	1.9128
2023-01-26	48	39/68	58	6.82	6.42	0.9377
2023-02-02	45	39/75	51	7.40	3.91	1.8104
2023-02-09	47	21/69	50	10.89	3.51	0.8049
2023-02-16	50	38/69	131	13.59	9.39	1.9888
2023-02-23	33	20/64	51	7.10	8.29	0.5011
2023-03-02	19	38/63	58	10.73	7.98	0.5109
2023-03-09	23	38/66	134	9.72	3.47	0.6461
2023-03-16	23	28/62	51	3.26	7.17	1.0717
2023-03-23	29	33/69	118	7.68	6.66	0.5032
2023-03-30	21	35/66	120	9.55	9.95	0.5093
2023-04-06	14	35/80	50	2.39	4.62	1.9646
2023-04-13	50	21/61	171	2.12	6.65	1.9999
2023-04-20	45	24/63	68	5.18	6.70	1.7921
2023-04-27	47	20/60	79	14.64	9.15	1.5924
2023-05-04	46	25/66	200	10.03	8.97	0.8905
2023-05-11	17	39/60	151	14.51	2.81	1.0691
2023-05-18	21	26/76	157	6.50	7.00	1.8835
2023-05-25	48	36/80	151	13.47	9.87	1.8082
2023-06-01	39	28/80	151	12.50	7.42	1.6626
2023-06-08	19	21/65	147	5.26	4.19	1.9543
2023-06-15	41	34/68	113	2.83	5.29	1.5707
2023-06-22	41	20/76	117	8.40	2.14	1.9758
2023-06-29	50	33/73	112	8.33	4.35	1.9835
2023-07-06	14	31/68	78	9.77	9.97	1.5858
2023-07-13	45	40/73	163	4.30	6.52	1.9215
2023-07-20	50	24/64	191	4.05	7.99	1.9728
2023-07-27	50	33/64	80	6.50	5.26	1.5129
2023-08-03	28	25/60	180	6.90	9.31	1.8424
2023-08-10	44	39/62	184	5.73	7.72	0.5077
2023-08-17	42	27/70	69	11.81	2.58	1.9869
2023-08-24	14	37/75	68	7.95	8.82	1.9653
2023-08-31	37	34/68	62	4.97	6.31	1.9490
2023-09-07	47	32/63	57	9.08	7.03	1.8253
2023-09-14	42	38/71	88	12.70	6.46	1.9008
2023-09-21	38	40/75	107	12.88	7.80	1.9962
2023-09-28	19	27/80	102	9.25	6.98	1.9968
2023-10-05	32	20/79	108	8.33	8.69	1.9897
2023-10-12	41	36/71	59	7.44	9.95	1.9944
2023-10-19	40	27/66	122	8.41	3.20	1.9046
2023-10-26	40	34/74	115	2.76	5.04	0.5105
2023-11-02	16	29/77	121	10.04	8.79	1.9951
2023-11-09	44	35/60	119	12.80	5.07	1.9666
2023-11-16	40	29/73	121	10.10	7.53	1.9871
2023-11-23	43	37/80	118	4.96	7.29	1.9840

Continúa...

Cuadro 1 – *Continuación*

Mes Inicio	RSI Win	RSI Low/Up	MA Win	TP (%)	SL (%)	Shares
2023-11-30	41	33/71	124	5.48	7.36	1.8934

5. Análisis de Rendimiento y Conclusión

El desempeño financiero final se detalla en el Cuadro 2. La interrogante central de este proyecto radicaba en analizar cómo un reequilibrio frecuente afecta la rentabilidad ante la existencia de fricciones operativas.

Cuadro 2: Tearsheet: Desempeño Neto del Portafolio

Métrica	Valor
Capital Inicial	\$1,000,000.00
Capital Final	\$957,706.06
Ganancia Neta (USD)	-\$42,293.94
Rendimiento Neto (%)	-4.23 %
Operaciones Abiertas	1,776
Total en Comisiones	\$131,778.91

5.1. Conclusión Matemática sobre el Impacto de las Comisiones

Los resultados nos muestran un fenómeno crítico conocido en finanzas cuantitativas como *Over-trading* (sobre-operación). A pesar de que la estrategia de consenso es lógicamente robusta para identificar direcciones de precio, el *backtest* arrojó una pérdida neta de -4.23 %.

Sin embargo, al observar los datos, se constata que la estrategia generó beneficios brutos sustanciales. El déficit se debe únicamente a las fricciones del *broker*: se pagaron **\$131,778.91 USD** en tarifas transaccionales producto de las 1,776 operaciones realizadas. Esto demuestra matemáticamente que la alta frecuencia de señales generada por el ruido de una temporalidad corta (velas de 5 minutos) es incompatible con un costo transaccional fijo del 0.125 % (más IVA).

Para volver viable esta estrategia, el rendimiento esperado por operación (*TakeProfit*) debe ser significativamente mayor al spread y la comisión combinada. Se concluye que el modelo algorítmico es estructuralmente funcional, pero requiere una migración hacia temporalidades más amplias (ej. gráficos de 1 hora o 4 horas) para reducir la cantidad de reequilibrios y diluir el peso de los costos transaccionales sobre la ganancia bruta.