



**“Predicción del tipo de cambio nominal diario en Chile: el rol
de los indicadores técnicos”**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN FINANZAS**

Alumno: Cynthia Andrea Urrutia Chacón

Profesor Guía: Dr. Erwin Hansen

Santiago, septiembre 2022

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mi marido Jaime, por su apoyo incondicional y su paciencia en este proceso. Gracias por escucharme y por siempre estar a mi lado. También agradecer a mi profesor guía Dr. Erwin Hansen, por el apoyo y guía brindada en este proceso, a Gabriel Cabrera por su tremendo aporte en este trabajo.

Asimismo, agradezco a mi familia, mi Padre, mis padres y tíos. Por celebrar mis triunfos y acompañarme en mis fracasos.

“Our lives aren’t measured in years, they’re measured in the lives of the people we touch around us.”

Suzanne Collins

Tabla de Contenido

1. Introducción.....	6
2. Literatura	8
2.1 Literatura indicadores técnicos.....	8
2.2 Literatura variables económicas	10
3. Data	13
Gráfico 1. CLP (Panel superior) y Rentabilidad CLP (Panel inferior).....	14
3.1 Indicadores técnicos	15
3.1.1. Osciladores técnicos	15
3.1.2 Indicadores tendenciales	16
3.1.3. Tabla descriptiva Indicadores técnicos	19
Tabla 1. Tabla Descriptiva Indicadores Técnicos	19
3.2.1 Tabla descriptiva variables económicas	22
Tabla 2. Tabla Descriptiva Variables Económicas	22
4. Resultados dentro de la muestra.....	22
Tabla 3. Resultados Dentro De La Muestra.....	24
5. Resultados fuera de la muestra	26
Tabla 4. Resultados Indicadores Técnicos – Media Histórica.....	29
Tabla 5. Resultados variables Económicas – Media Histórica.....	30
Tabla 6. Mixed – Media Histórica	32
5.3. Resultados versus el último dato disponible (RW)	33
Tabla 7. Resultados Indicadores Técnicos – Último Dato Disponible	33
Tabla 8. Resultados Variables Económicas – Último Dato Disponible.....	34
Tabla 9. Mixed – Random walk	35

6. Precisión en la dirección de estimación	36
Tabla 10. Indicadores Técnicos – Directional Accuracy.....	38
Tabla 11. Variables Internacionales – Directional Accuracy	38
Tabla 12. Mixed – Direction Accuracy.....	39
7. Conclusión	41
Apéndice.....	43
1. Indicadores técnicos.....	43
<i>Gráfico 3. RSI 3 días^a</i>	<i>43</i>
<i>Gráfico 4. RSI 14 días^a</i>	<i>43</i>
<i>Gráfico 5. RSI 30 días^a</i>	<i>44</i>
<i>Gráfico 6. Medias Móviles.....</i>	<i>44</i>
<i>Gráfico 7. MACD</i>	<i>45</i>
2. Variables económicas.....	45
<i>Gráfico 8. CLP/Cobre</i>	<i>45</i>
<i>Gráfico 9. CLP/Petróleo</i>	<i>46</i>
<i>Gráfico 10. Ratio IPSA/S&P</i>	<i>46</i>
<i>Gráfico 11. Spread EE.UU./Brasil vs EE.UU./Chile</i>	<i>47</i>
<i>Gráfico 12. VIX y CDS Chile</i>	<i>47</i>
<i>Gráfico 13. Volatilidad anual 1 semana, 1 mes y 3 meses.</i>	<i>48</i>
3. Construcción de un portafolio (asset allocation).....	48
3.1. Resultados versus media histórica (HA).....	48
Tabla 13. Asset Allocation	50
Tabla 14. Mixed – Asset Allocation.....	52
3.2. Resultados versus Random walk (RW)	52

Tabla 15. Asset Allocation – Random walk53

Tabla 16. Mixed – Asset Allocation.....54

Bibliografía.....55

1. Introducción

Las monedas en cada país representan una tasa de cambio que responde a una medida relativa entre el valor de dos divisas, mostrando su nivel de competitividad relativa. Lo anterior es un elemento de bastante interés para el mercado, debido a que un país que resulta ser más competitivo también es más eficiente, por lo que aumentos de productividad se traspasan a precios y salarios, y esto se traduce en apreciaciones cambiarias. De todas formas, cabe destacar que lo anterior es una simplificación de la realidad y no considera elementos internos a cada economía, así como también factores globales que pueden distorsionar la aseveración expuesta.

En general, causa especial interés entender qué variables se pueden observar para lograr identificar cómo se explica el valor actual de una moneda y una posible trayectoria de ésta. Ante esto, la literatura ha trabajado con elementos más fundamentales de la economía chilena, definiendo variables económicas y, por otra parte, también se ha embarcado en el estudio de indicadores técnicos propios de este activo.

Para este trabajo, utilizaremos ambas aproximaciones de data, por medio de dos sets de variables. La primera corresponde a indicadores técnicos y la segunda a una serie de variables macroeconómicas. Se hace la regresión considerando cada variable por separado y después se agregan dos métodos que integran cada set de variables, *Kitchen sink* y *Diffusion index*. Los resultados se contrastan frente a dos *benchmark* de referencia, la media histórica (HA) y último dato disponible (RW).

Es interesante destacar que una de las características que muestran las monedas, es una tendencia de corto plazo, que tiende a revertir en el mediano y largo plazo. Por lo mismo, los indicadores técnicos de corto plazo deberían ser mucho más efectivos que las variables económicas (o fundamentales). Asimismo, la literatura menciona que la aproximación fundamental tiende a ser poco efectivos en modelos de tipo de cambio nominal (Lyons & Evans, 2002). Este trabajo busca corroborar lo anterior y agregar una aproximación diferente por medio la utilización de varios indicadores técnicos. La idea es comparar la efectividad de ambas aproximaciones de información utilizadas en la literatura, identificando la efectividad en la predicción del tipo de cambio y así también, la tendencia de éste.

En resumen, las conclusiones muestran que cuando se consideran todas las variables juntas (para cada set de variables), *Kitchen sink*, la predicción es menos efectiva que cuando se consideran por separado, aunque cuando se quiere ver la dirección del tipo de cambio, es bastante efectiva.

En cuanto a los indicadores técnicos, la variable que mejor predice el tipo de cambio y su dirección es el índice de fuerza relativa, en su tramo más corto de 3 días. Sin embargo, cuando se compara con el último dato disponible, pierde completamente su efectividad de predicción.

En cuanto a las variables económicas, el cobre es la variable fundamental que mejor predice al tipo de cambio chileno, aunque pierde efectividad frente al último dato disponible, mientras que pierde asertividad en cuando a la dirección del activo.

Finalmente, los métodos que incluyen a los dos sets de variables muestran que el *Kitchen sink* no es un buen predictor frente a ningún benchmark, pero en cuanto a la estimación de la dirección, sí logra tener una buena asertividad.

El siguiente trabajo se ordena de la siguiente manera: primero se hace una revisión bibliográfica, luego se definen los datos utilizados para cada caso. Seguimos con un análisis dentro y fuera de muestra para cada variable y el conjunto de éstas, versus ambos benchmark de referencia. Luego, se analiza la precisión en la dirección de la estimación.

2. Literatura

La literatura que busca proyectar la trayectoria del tipo de cambio ha mostrado interés en dos tipos de variables: el primero considera la información de precios históricos, volúmenes de trading y reglas técnicas, mientras que el segundo utiliza la información macroeconómico fundamental.

2.1 Literatura indicadores técnicos.

Hay estudios que trabajan con variables de tipo de cambio. Por ejemplo, el trabajo de Abarca et al 2007 considera la predictibilidad del tipo de cambio chileno frente al RSI, para el periodo de 2000-2006. Ellos utilizan sólo este indicador debido a sus atractivas propiedades estadísticas, donde además de ser sencillo muestra un comportamiento estacionario con reversión a la media. Tal análisis se hace utilizando tres transformaciones del RSI, y se observa la capacidad predictiva para todos los horizontes construidos con los precios de cierre de los últimos 14 y 30 días. Las conclusiones tanto dentro como fuera de la muestra, son coincidentes en sugerir capacidad predictiva del índice por sobre un camino aleatorio para plazos inferiores a siete semanas, siendo la más efectiva el horizonte entre 4 y 7 días.

En de Zwart et al 2007, se utiliza el tipo de cambio de seis monedas emergentes versus el US dólar, correspondientes a México (MXN), Perú (PEN), Taiwán (TWD), Sudáfrica (ZAR) e Israel (ILS), por ser las monedas emergentes flotantes con mayor histórica. Se hace una aproximación de fundamentales y de indicadores técnicos. En el primer caso, la información disponible para los fundamentales es calculada como una desviación de PPP del tipo de cambio y el diferencial de tasa de interés, donde el PPP es aproximado como la relación entre los niveles de inflación de las economías y EE.UU. mientras que la diferencia entre tasas de interés genera las señales de compra y venta. En el segundo caso los indicadores técnicos corresponden a un media móvil simple. En este estudio, sus conclusiones indican que ambos tipos de información son relevantes para predecir los retornos cambiarios. Además, las estrategias fundamentales sirven para generar portafolios con ratios de Sharpe muy por sobre 1, y las estrategias de variables técnicas generan ratios cercanos a 1, aun considerando los costos de transacción. Por su parte, una mezcla de ambas estrategias supera los rendimientos de cada uno por separado.

Por otro lado, otros estudios utilizan al índice MACD para emplear un sistema que permita dar señales de compra y venta en cuatro monedas (Euro, Libra, Yen y CHF). Tal metodología iguala una serie de aspectos, para hacer comparables los resultados de las cuatro monedas. Sus resultados concluyen que esta

metodología resulta ser más exitosa en el Euro que en las otras monedas y que hay mayor rentabilidad con las señales de compra que de venta. (Yasdi & Lashkari, 2013)

Otra arista utilizada en la literatura es la aproximación microeconómica de order flow, como una medida de presión de compra/venta¹. La data muestra que order flow explica gran parte de la variación de tipos de cambio nominal por periodos de hasta cuatro meses, identificándose una relación positiva entre ambos. En contraste, los modelos macroeconómicos no muestran una correlación en el mismo periodo de tiempo. Sus resultados muestran que logra identificar más del 50% de los cambios diarios en DM (moneda alemana) y del 30% en Yen (moneda japonesa) (Lyons & Evans, 2002). Otros estudios mencionan cómo los modelos económicos de tipo de cambio nominal suelen ignorar los elementos de trading y cómo los detalles de éste revelan información importante con respecto al movimiento de monedas, especialmente en el corto plazo (Evans, 2010).

Hay varios estudios que analizan la aproximación de indicadores técnicos, para encontrar la predictibilidad en commodities. Tal es el caso de Yin & Yang, 2016, ellos utilizan como variable de interés al petróleo y encuentran que los indicadores técnicos exhiben significancia estadística y económica dentro de la muestra y fuera de ésta, superando el poder predictivo de las variables macroeconómicas. Por otro lado, es robusto durante las recesiones y expansiones, especialmente en periodos recesivos, lo cual se traduce en una mayor predictibilidad en las caídas del ciclo económico. Además, elevan información sustancial y robusta en términos de utilidades y mejoran significativamente el ratio de Sharpe. Por último, la predictibilidad parece estar relacionada con cambios en el sentimiento de los inversionistas. Los indicadores técnicos que se utilizan se basan en medias móviles, momentum y volumen transado.

El papel de los indicadores técnicos, también se ha utilizado para proyectar un premio por riesgo accionario de EE.UU., como en el caso de Neely et al 2017. En este estudio, los autores también agregan indicadores de variable económicas para hacer las estimaciones. Sus estimaciones concluyen que ambos sets de variables proveen información complementaria en cuanto al ciclo: mientras que los indicadores técnicos detectan de mejor manera caída atípicas propias de un peak en el ciclo económico, las variables económicas detectan de mejor manera la tendencia de un alza, típica luego del punto mínimo del ciclo.

¹ Es el neto entre órdenes de compra y venta.

Por su parte, hay estudios que analizan la predictibilidad del retorno de monedas, pero lo hacen por medio de un premio por tasa futuro. Para esto, usan la data histórica diaria de 16 monedas² y lo estiman en tramos cortos de tiempo. Se consideraron varios premios por tasa futuro, de 30, 90, 180 y 360 días, donde se observó una predictibilidad aplicando modelos GARCH. También se agregaron ejercicios de trading, generando una estrategia simple que toma posiciones largas cuando el retorno esperado es mayor que cero y posiciones cortas cuando es menor o igual a cero. Las conclusiones muestran que dentro y fuera de muestra hay evidencia de predictibilidad en 12 de las 16 monedas, solo dejando a el CAD, EUR, JPY y KRW fuera (Narayan et al, 2020).

Dada la revisión anterior, podemos concluir que el análisis de indicadores técnicos, se pueden diferenciar en dos tipos: aquellos que se enfocan en la fuerza y la velocidad con la que se mueve el precio del activo (**osciladores**) y aquellos que siguen o estudian la tendencia del precio del activo (**indicadores**). Lo interesante del análisis técnico es que se basan en patrones de precio y volumen y son capaces de anticipar movimientos de corto plazo. Particularmente, en este trabajo utilizaremos variables de índices fuerza relativa, medias móviles, momentum de precios y MACD (Abarca et al 2007).

2.2 Literatura variables económicas

Avanzando en el tema, en la literatura también se identifican una serie de variables económicas que son parte del análisis fundamental del tipo de cambio chileno. Por ejemplo, en cuanto a materias primas, se identifica en primera instancia al cobre. A lo largo del tiempo, Chile consistentemente ha sido el principal exportador de cobre y China el principal importador de cobre. A septiembre del año 2020, Chile representaba el 38,1% del concentrado exportado en el mundo; sin embargo, cabe destacar que Perú ha ganado terreno desde el 2000. Por otro lado, la minería es un elemento importante en cuanto al PIB de cada país y tiende a tener una relación directa con las mismas tendencias del precio del cobre. Comenzando desde niveles de 18,6% en el 2006, pasando por niveles mínimo en el 2016 (7,1%), para terminar en 13,5% a finales del 2020³.

Debido a que históricamente el peso chileno se ha movido junto a los precios del cobre, es que se considera como una de las *commodity currencies*. Sin embargo, hay episodios donde se ha desviado del cobre, un ejemplo de esto es en junio del 2012 y 2015, elevando los cuestionamientos de otros elementos que podrían

² AUD, CAD, EUR, INR, JPY, MXN, NZD, NOK, PEN, PHP, PLN, ZAR, KRW, SEK, THB y GBP.

³ Cochilco.cl

afectar la moneda. En el estudio de Wu, 2013, se agregan otros factores de importancia para explicar el comportamiento del peso chileno, tales como el diferencial de tasas, estrés financiero global, posiciones de derivados en fondos de pensiones, *quantitative easing* de la Reserva Federal. Se utiliza un modelo que representa dinámicas de corto y largo plazo del tipo de cambio chileno utilizando un modelo de corrección de errores. Sus resultados concluyen que, en el largo plazo, el cobre explica la mayor parte del movimiento del tipo de cambio, pero en el corto plazo, otras variables son más importantes, como el diferencial de tasas de interés, VIX, balance de un banco central y las *dummies* de intervención.

Por otro lado, hay otros estudios que también estiman el tipo de cambio nominal de Chile utilizando un modelo de corrección de errores. El modelo funciona muy bien explicando el corto y largo plazo para los años estudiados, 2001 – 2006. En la ecuación de largo plazo, se utilizan variables de commodities como el cobre y petróleo, un promedio ponderado de spreads soberanos de varios países emergentes, intentando capturar el cambio de riesgo país. Además, agregan un promedio ponderado de inflación externa relevante para Chile y finalmente, una variable que captura la evolución de los precios del consumidor, usando variaciones de unidades de fomento (UF) (Cowan, Rappoport, & Selaive, 2006).

La actividad mundial y el tipo de cambio se presentan como uno de los principales determinantes del precio del cobre (De Gregorio, González, & Jaque, 2005). Bajo este supuesto, Kristjanpoller & Morales, 2011, realizan la prueba de causalidad de *Granger*, concluyendo que se puede ver que el cobre tiene causalidad sobre el tipo de cambio peso dólar, pero en el sentido inverso no se encuentra evidencia de causalidad. Algunos autores sostienen que la prueba de causalidad de Granger es ineficaz en el descubrimiento de relaciones causales, por lo que se recomiendan pruebas no lineales. Por otra parte, utilizando la metodología de *wavelet* descompuestas en diferentes escalas de tiempo, se puede observar que en el corto plazo no existe causalidad del cobre hacia el dólar, pero en el mediano y largo plazo sí existe; es decir, las fluctuaciones del precio del cobre no tienen una influencia inmediata, pero sí en el mediano y largo plazo (Kristjanpoller & Morales, 2011).

El estudio anterior, además de considerar al cobre como variable fundamental en el tipo de cambio, también analiza la implicancia del IPSA, y lo hace a través de distintas escalas de tiempo. En cuanto al IPSA, se concluye que el cobre tiene mayor causalidad, mientras mayor sea el horizonte de análisis. De esta forma, la interpretación es que el IPSA tiene la capacidad de contener información de las proyecciones del precio del cobre. Esto se traduce en que los precios de las acciones del mercado chileno incorporan en las

expectativas el precio del cobre. En cuanto al tipo de cambio, hay influencia, pero en mayor proporción para los plazos más largos (Kristjanpoller & Morales, 2011).

Junto a lo anterior, mencionaremos el trabajo de Palavecino en el 2014 que muestra la relación entre el precio del cobre y el mercado accionario chileno. Debido a la importancia relativa que tiene el cobre sobre el PIB, existe una clara influencia del precio del cobre en las acciones de la economía chilena (medidos como índice IPSA e IGPA). Si aumenta el precio del mineral, también lo hacen los precios de los índices mencionados. A raíz de lo anterior utilizaremos un ratio entre la bolsa local y el S&P 500 de EE.UU. a modo de identificar no solo las dinámicas locales, sino también internacionales.

Siguiendo con el análisis de la bolsa local y el cobre, Kristjanpoller & Morales, 2011, mencionan que el retorno esperado de un portafolio de activos se puede caracterizar a través de factores macroeconómicos. Para esto incluyen 21 acciones de la bolsa de comercio de Santiago⁴ que se regresionan frente al IPSA, IMACEC (agrega información acerca de la variación del PIB), IPC (canasta referencial del consumo), tasa de interés de corto plazo, tasa de interés de largo plazo, precio del cobre y precio del petróleo. Los resultados muestran que todos los coeficientes son positivos y altamente significativos. El coeficiente asociado al precio del cobre en la mayoría de las acciones es positivo, corroborando lo expuesto anteriormente en otras investigaciones.

Dada la revisión anterior, en este estudio consideramos los precios de dos materias primas, tales como el cobre y también agregamos al precio del petróleo. Además, a modo de capturar el riesgo, se incluyeron variables de riesgo internacionales, como el VIX, y también variables de riesgo relativas, tales como el cambio de spread entre tasas soberanas de corto plazo de Chile versus EE.UU. y un país importante en la región Latinoamericana, como Brasil. Además, se agregaron índices de riesgo local, como el CDS, y ratio entre la bolsa local y norteamericana (IPSA/S&P), como una aproximación del rendimiento local versus internacional.

⁴Aldemdral, CAP, CCT, Cementos, Cerveza, CGE, Colbún, Copec, CTC A, CTI, Edelnor, Endesa, Enersis, Entel, Gener, Ianza, Inforza, Madeco, Pasur, SM Chile, Vapores.

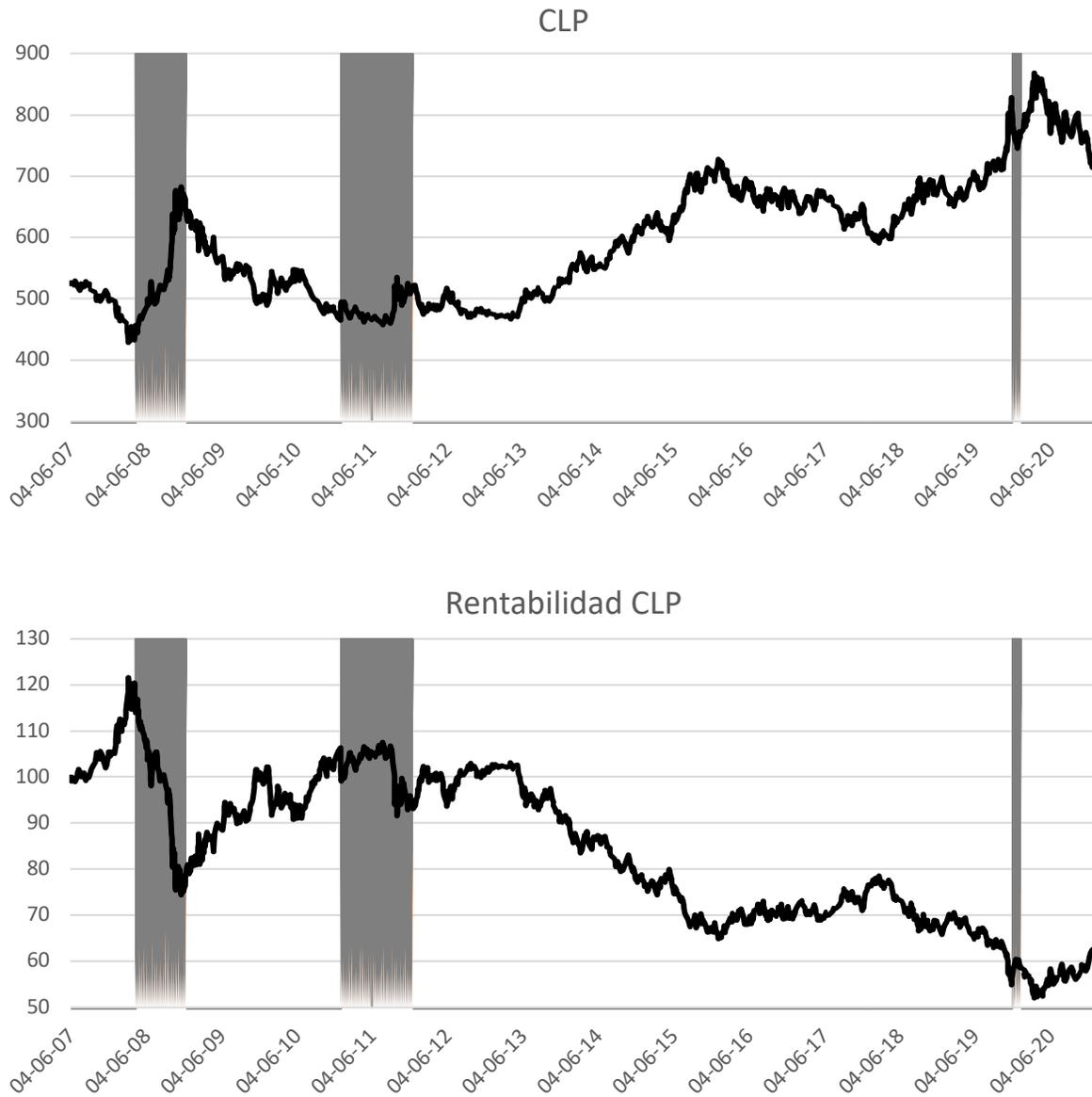
3. Data

Este trabajo analiza el comportamiento del tipo de cambio chileno, Gráfico 1, con relación a dos sets de variables. El primero incluye indicadores técnicos que pueden ser considerados como osciladores técnicos, índices de fuerza relativa, o también como tendenciales, tales como medias móviles y momentum de precios. El segundo identifica un set de variables fundamentales, correspondientes a variables macroeconómicas locales o internacionales. Ante esto podemos identificar variables de precios de commodities, que responden a volatilidades de mercado internacional o propias internas, además de movimientos relativos de índices accionarios y spread de tasas soberanas de corto plazo. Por otra parte, el Gráfico 1 (panel inferior) muestra el retorno de la moneda, en el mismo periodo de tiempo (Wilder, 1978).

Cabe destacar que se utilizan los retornos diarios del tipo de cambio nominal chileno.

$$Retorno_{t+1} = \frac{tcn_{t+1}}{cutcn_t} - 1 \quad (1)$$

Gráfico 1. CLP (Panel superior) y Rentabilidad CLP (Panel inferior)



Panel superior, muestra el tipo de cambio entre el 2007 y el 2020 y las intervenciones del Banco Central en el mismo periodo de tiempo de manera sombreada (Hansen & Morales, 2019).

Panel inferior, muestra el retorno de la moneda entre el 2007 y el 2020. Se considera el periodo inicial de la muestra, en base a 100.

3.1 Indicadores técnicos

3.1.1. Osciladores técnicos

El **RSI** o **Índice de Fuerza Relativas**, el cual obtiene su nombre de las siglas en inglés *Relative Strength Index*. Fue desarrollado en el año 1978 por Wilder, y es uno de los osciladores más populares en el ámbito internacional que ha permanecido en el tiempo. Este indicador busca identificar no solo el **momentum** de un activo, sino que también la fuerza con que se sigue o inicia su tendencia. Su lectura mide el porcentaje de veces que el precio activo en cuestión ha sido positivo.

El cálculo es el siguiente:

$$RSI(n) = \begin{cases} 100 - \left[\frac{100}{(1 + rs)} \right] \text{ con } rs = \frac{A_n}{B_n}; \text{ si } B_n > 0 \\ 100 & B_n = 0 \end{cases} \quad (2)$$

A_n = Media de las variaciones del precio que resultaron positivas de los últimos n periodos.

B_n = Media de las variaciones del precio que resultaron negativas de los últimos n periodos.

Se pueden utilizar diversos periodos en el cálculo de este indicador. Si el número de periodos es mayor, a su vez mayor es la certeza, pero también más lenta la generación. Por el contrario, si el número de periodos es menor, se generan señales de forma más rápida, pero sujeto a mayor volatilidad. Para el caso de este trabajo, se utilizan tres tramos de periodos distintos, correspondientes a 3, 14 y 30 días.

Este indicador puede tomar valores entre 0 y 100, dando señales de una tendencia alcista cuando se ubica sobre 50 y es inferior a 70. En contrapartida, entrega señales de una tendencia bajista cuando se encuentra bajo el nivel de 50 y sobre 30.

Otra de las características que tiene este indicador, y que se puede observar gráficamente es que presenta un comportamiento estacionario, con reversión a la media. Esto se puede corroborar en ver con mayor detención en el gráfico de tramos más largos, Gráfico 4 y 5.

3.1.2 Indicadores tendenciales

En primera instancia se utilizan las **medias móviles**, el cual es uno de los indicadores más utilizados y ayuda a suavizar cualquier ruido dentro de muestra. Se define como un promedio de un cierto número de periodos. En la muestra utilizamos medias móviles correspondientes a 30, 60 y 200 días, a precio de cierre del tipo de cambio.

Hay tres maneras de calcular las medias móviles:

Media móvil simple:

$$MM_simple_{3\text{ dias}} = \frac{(Cotización_t + Cotización_{t-1} + Cotización_{t-2})}{3} \quad (3)$$

Media móvil ponderado:

$$MM_ponderado_{3\text{ dias}} = \frac{(3 \times Cotización_t + 2 \times Cotización_{t-1} + Cotización_{t-2})}{(3 + 2 + 1)} \quad (4)$$

Media móvil exponencial:

$$MM_{exp\ t} = [Cotización_t \times \alpha] + [MM_{exp\ t-1} \times (1 - \alpha)] \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{2}{(n + 1)} \quad (6)$$

Para este trabajo se utilizó el cálculo de media móvil simple. Se puede observar en el Gráfico 6. cómo ha evolucionado esta variable para los distintos periodos. Como es de esperar, el indicador con menor número de periodos reacciona antes a cambios abruptos versus los otros restantes.

Por otro lado, se agregaron dos indicadores que buscan identificar una tendencia apreciativa para plazos mayores, utilizando las medias móviles de plazos mencionados anteriormente.

$$MMn_dias_{tech} = \begin{cases} 1, si\ MM_{ndias} > MM_{tdias} \\ 0, si\ MM_{ndias} \leq MM_{tdias} \end{cases} \quad (7)$$

En este caso, se consideran las medias móviles técnicas de 60 días (observando la tendencia versus el de 30 días), y las medias móviles de 120 días (observando la tendencia versus el de 60 días). Si las medias móviles

técnicas toman valor de 1, entonces se observa una tendencia alcista, mientras que en el caso contrario, tomando el valor de 0, se observa una tendencia a la baja.

Siguiendo con los indicadores técnicos, utilizamos el **momentum** del activo, un indicador que analiza la tendencia del precio del activo, ya sea al alza o a la baja y puede calcularse para distintos periodos. Genera una señal de compra o venta, señalado por $S_{i,t} = 1$ o $S_{i,t} = 0$. Se calcula a partir del precio de cierre y considera el precio del periodo t frente al precio de cierre, de n periodos anteriores. En este trabajo consideramos plazos de 3, 14, 30 y 60 días, definido por m .

$$S_{i,t} = \begin{cases} 1 & \text{si } P_t \geq P_{t-m} \\ 0 & \text{si } P_t < P_{t-m} \end{cases} \quad (8)$$

De ser el precio más alto que n periodos atrás, se considera como momentum positivo, con relativamente exceso de retorno, en caso contrario, se genera como momentum negativo.

En general, los tramos de periodos más cortos responden mucho antes, ante un cambio de tendencia. Mientras que, en contrapartida, los tramos más largos demoran más su respuesta en la tendencia.

Para finalizar, se utiliza el indicador de **Media Móvil Convergencia Divergencia (MACD)**. Creado por Gerald Appel en 1970, fue diseñado para revelar cambios en la dirección, fuerza, momentum y duración de la tendencia del precio del activo. Se calcula utilizando la media móvil exponencial de 12 y 26 días, restando ambos periodos, y se obtiene un indicador que se mueve en torno a cero. Cuando el indicador es mayor a cero, significa que la media de 12 días es mayor a la de 26 días, indicando una tendencia alcista. En caso contrario, si el indicador es menor a cero, la media móvil de 12 días es menor a la de 26 días. Para generar una señal de compra o venta e indicar cuando la tendencia se encuentra en niveles sobrecomprados o sobrevendidos, el MACD se complementa con la línea *signal*, que corresponde a la media móvil exponencial de las últimas 9 sesiones del MACD.

$$MACD = med(Cotización_{12}) - med(Cotización_{26}) \quad (9)$$

$$Signal = med(MACD_9) \quad (10)$$

La señal de compra surge cuando la línea *signal* corta la línea MACD de arriba hacia abajo. Mientras que, la señal de venta se da cuando la línea *signal* corta a la línea MACD de abajo hacia arriba, Gráfico 7.

En este trabajo, se utiliza el MACD, su promedio de 30 días, la señal, que corresponde al promedio de 9 sesiones del activo y la variable TRADE que toma el valor de 1 cuando la línea *signal* corta la línea MACD de arriba hacia abajo.

3.1.3. Tabla descriptiva Indicadores técnicos

Se agrega una tabla descriptiva de todos los indicadores técnicos mencionados, Tabla 1. Los índices de fuerza relativa muestran menores medias en periodos más cortos y mayor desviación estándar, la asimetría es positiva y sobre todo los periodos más largos son más parecidos a una distribución normal. Por su parte, la auto correlación es bastante elevada para los tramos de 14 y 30 días. Las medias móviles muestran mayores promedios en los promedios más cortos y mayor dispersión también, con asimetrías positivas y concentraciones bastante similares de datos en la zona media, a su vez la auto correlación también es elevada. Desde las medias móviles técnicas hasta el momentum, tenemos variables dummies, que son bastante simétricas con respecto a la media, con excepción del técnico de 60 días. Finalmente, el MACD que obtiene un indicador que se mueve en torno a cero que, en promedio toma valores positivos, con alta concentración en la media y de auto correlación elevada, junto a la variable Trade que toma mayormente valores 0.

Tabla 1. Tabla Descriptiva Indicadores Técnicos

Variable	Mean	Std.	Skew.	Kurt.	AC(1)
RSI 3D	49.6096	27.5332	0.0215	1.8111	0.7568
RSI 14D	50.1748	12.9399	0.0433	2.5889	0.9385
RSI 30D	50.4328	8.8483	0.0859	2.8062	0.9694
MOV AVG 30D	591.6286	98.1278	0.4928	2.3110	0.9996
MOV AVG 60D	590.6508	97.1070	0.5065	2.3159	0.9995
MOV AVG 200D	585.7241	90.8682	0.5540	2.3302	0.9992
MOV AVG 60D TECH	0.4725	0.4993	0.1103	1.0122	0.9621
MOV AVG 200D TECH	0.5080	0.5000	-0.0318	1.0010	0.9906
MOM 3D	0.5003	0.5001	-0.0011	1.0000	0.4551
MOM 14D	0.5006	0.5001	-0.0023	1.0000	0.7584
MOM 30D	0.5048	0.5000	-0.0193	1.0004	0.8469
MOM 60D	0.5162	0.4998	-0.0648	1.0042	0.8730
MACD	0.4337	5.0300	0.9530	6.7493	0.9925
PROM MSC D	0.4608	4.1496	1.0078	6.2449	0.9982
MACD 9D	0.4450	4.7126	0.9896	6.6726	0.9958
TRADE	0.0392	0.1941	4.7500	23.5625	-0.0408

La Tabla 1. Indica la media (Mean), desviación estándar (Std), nivel de asimetría⁵ (Skew), curtosis de la muestra⁶ (Kurt) y la autocorrelación de primer orden (AC(1)) de cada indicador técnico.

⁵ Niveles positivos consideran una muestra asimétrica, donde existe mayor concentración de datos hacia la derecha.

⁶ Es una medida estadística que determina el grado de concentración de una serie de datos en la zona central de la distribución. Una concentración de datos normal considera un nivel de curtosis de 3, sobre este nivel hay una alta concentración y, bajo este nivel, la concentración de valores en torno a su media es baja.

3.2. Variables económicas

Partiendo por los precios de materias primas, gráficamente se puede ver como se relacionan los movimientos de precios del tipo de cambio chileno (CLP), frente al cobre (Gráfico 8.) y el petróleo (Gráfico 9.).

Cabe destacar que el cobre está invertido en la gráfica 8; es decir, cuando el cobre sube (en el gráfico cae), el CLP tiende a apreciarse y cuando el cobre baja (en el gráfico sube), el CLP se deprecia. Esto se explica por la diferencia entre exportaciones e importaciones, de ser el primero mayor que el segundo, llegan más dólares a la economía de los que salen y esta alza en exportaciones puede ser explicada, en parte, por el alza en el precio del cobre. De haber más dólares en la economía, el CLP presenta atractivo y se aprecia, en caso contrario, donde las importaciones son mayores y el nivel de dólares es menor, el CLP pierde atractivo y se deprecia. Sin embargo, se puede ver un desacople de esta tendencia en el 2008, 2011 y más notoriamente a final del rango de datos. Tanto en el 2008 como en el 2011 y el 2019, el Banco Central de Chile tuvo que salir a intervenir la moneda local (Hansen & Morales, 2019).

En el caso del petróleo, Chile resulta ser un país importador neto, por lo que es esperable que un incremento en el precio disminuya la actividad y aumente la inflación. La correlación no es tan directa como en el caso del cobre. Gráficamente se pueden observar ciertos periodos de mayor acople.

El referente de precios del cobre se rige por los valores que se tranzan en las Bolsas Internacionales, como es el caso de la L.M.E (London Metal Exchange) para el caso del cobre. Para el caso del petróleo WTI (West Texas Intermediate), corresponde a un promedio de calidades de bajo contenido en azufre y se cotiza en la Bolsa mercantil de Nueva York.

En este trabajo, se utilizan los retornos diarios de cada una de las variables, es decir, si cu_t es el precio del cobre o petróleo en el periodo t y cu_{t+1} el precio del periodo $t+1$, el retorno del periodo $t+1$ se identifica de la siguiente manera:

$$Retorno_{t+1} = \frac{cu_{t+1}}{cu_t} - 1 \quad (11)$$

El índice de volatilidad o **VIX**, es un indicador que mide la volatilidad de las opciones de Chicago (Chicago Board Options Exchange) en el S&P 500, y el mínimo valor que puede entregar es 0, siendo el máximo infinito. Genera una proyecciones de 30 días forward, identificando cuál es la volatilidad esperada en los precios del índice S&P. Dentro del periodo de la muestra, el valor de este indicador varía entre un mínimo de 9,14 puntos y un máximo de 82,69 puntos. Se grafica junto al CDS de Chile, y se puede ver el contagio internacional y local, Gráfico 12.

Luego, se identifica una bolsa accionaria de Chile, IPSA y se hace una comparativa con una bolsa internacional relevante, en este caso se escoge el S&P 500 de EE.UU, Gráfico 10. Dentro de la muestra, este ratio varía entre un mínimo de 1,022 y un máximo de 4,312.

Siguiendo con las variables, se agregan índices de riesgo, tales como el spread relativo entre tasas soberanas de corto plazo (3 meses) entre EE.UU., y Brasil vs Chile. Dependiendo del atractivo que tenga la tasa de un país en relación con otro, los inversionistas pueden invertir en un país o en otro. Mientras mayor es el spread, más es el devengo, y a su vez, mayor es riesgo soberano que se considera en cada país, tal como se muestra en el Gráfico 11. Comparativamente Chile es un país que se considera relativamente seguro dentro de la región Latinoamericana y, por ende, sus spreads son menores y más acotados en volatilidad, no así su par regional, Brasil, que tiende a mostrar spread mucho más elevados. La dispersión de datos es mucho más acotada entre EE.UU./Chile, donde el valor mínimo alcanza -0,5 y el máximo 10,8, mientras que Brasil/Chile entrega un valor mínimo de 6,7 y máximo de 450.

Otro indicador de riesgo, es el CDS de Chile, el cual es un derivado financiero que se define como un contrato de cobertura ante el incumplimiento crediticio, finalmente es un seguro que resguarda al inversionista del riesgo de impago. El dólar internacional es un medidor de aversión al riesgo, actuando como refugio ante eventos de incertidumbre, por lo que es importante monitorear el riesgo asociado a cada país.

Finalmente, tenemos la volatilidad del tipo de cambio en el Gráfico 13., en este caso se ha utilizado en periodos de 1 semana, 1 mes y 3 meses. El cálculo se define como una desviación estándar anualizada del retorno del mismo periodo en logaritmo y mide la frecuencia o intensidad de los cambios del precio de un activo.

La volatilidad alcanza el mayor rango de valores mientras menor es el plazo, mientras se amplía el periodo de datos, este rango se minimiza. Con lo cual, tenemos rangos de 1,4 – 46,6 en 1 semana, 2,1 – 40,8 en 1 mes y 3,6 – 29,3 en 3 meses.

3.2.1 Tabla descriptiva variables económicas

A continuación se agrega una tabla descriptiva de todas las variables económicas, Tabla 2. Sólo las rentabilidades del cobre y el petróleo pueden tomar cifras negativas y es el petróleo la variable que muestra mayor desviación estándar y su promedio es negativo. Ninguna de estas dos variables muestra altos niveles de auto correlación, mientras que el resto sí. El VIX tiene en promedio 20 puntos, ubicándose en la parte base de su rango de valores posibles (de 0 a 100). El ratio IPSA/S&P muestra una leve asimetría positiva. Los spreads comparativos consideran niveles mucho más acotado en su comparativo de EE.UU. y Chile, mientras que, versus Brasil, la volatilidad es mucho mayor, explicada por Brasil. El CDS de Chile, en promedio, es bastante acotado, pero la desviación estándar es elevada. Finalmente, la volatilidad muestra medias y desviaciones estándar bastante similares en sus tres periodos.

Tabla 2. Tabla Descriptiva Variables Económicas

Variable	Mean	Std.	Skew.	Kurt.	AC(1)
COBRE	0.0002	0.0168	0.0231	7.4749	-0.0772
PETROLEO	-0.0008	0.0624	-35.6976	1689.6268	0.2653
VIX	20.1583	9.7784	2.3405	10.4435	0.9782
RATIO IPSA/S&P	2.3844	0.7440	0.6017	2.3969	0.9988
SPREAD US/CHL 3M	2.1657	2.8647	1.2795	3.2698	0.9957
SPREAD BR/CHL 3M	33.2033	23.1942	3.5094	37.2254	0.8729
CDS CHILE	81.9030	40.6935	2.0240	9.3654	0.9942
VOL CLP 1 Week	10.1864	5.2618	2.6527	13.8977	0.9400
VOL CLP 1 Month	10.4932	4.6103	2.3097	11.3627	0.9921
VOL CLP 3 Month	10.6783	4.0479	1.7214	7.2265	0.9983

La Tabla 2. indica la media (Mean), desviación estándar (Std), nivel de asimetría (Skew), curtosis de la muestra (Kurt) y la autocorrelación de primer orden (AC(1)) de cada variable económica.

4. Resultados dentro de la muestra

En este caso se considera una regresión donde el tipo de cambio chileno se predice como función de cada una de las variables mencionadas anteriormente por separado. Tales variables corresponden a un set de

indicadores y otro de variables macroeconómicas; cada una de estas variables se mide de manera diaria, entre un periodo de tiempo desde junio del 2007 hasta diciembre del 2020, y se representa de la siguiente manera:

$$tc_{t+1} = \alpha_i + \beta_i x_{i,t}^{TECH} + \varepsilon_{i,t+1} \quad (12)$$

$$tc_{t+1} = \alpha_i + \beta_i x_{i,t}^{ECON} + \varepsilon_{i,t+1} \quad (13)$$

Donde tc_{t+1} representa el tipo de cambio de Chile (CLP), predicho para el momento $t + 1$; $x_{i,t}$ es la variable predictora disponible en el periodo t , el cual se divide en dos grandes categorías: $x_{i,t}^{TECH}$ correspondiente a indicadores técnicos que consideran los índices RSI de fuerza relativa en tramos de 2, 14 y 30 días, medias móviles a 30, 60 y 200, medias técnicas a 60 y 200 días, variables de momentum de 3, 14, 30 y 60 días y el MACD.

Por otro lado, tenemos a las variables económicas, $x_{i,t}^{ECON}$ el cual considera los precios de materias primas, cobre y petróleo, índices de volatilidad internacional VIX, ratio comparativo entre la bolsa local y el índice norteamericano S&P 500, ratio comparativo de spread de tasas soberanas a 3 meses que considera a EE.UU. y Brasil versus Chile, media de riesgo de incumplimiento crediticio local CDS y tres variables que miden la volatilidad del peso chileno en periodos de 1 semana, 1 mes y 3 meses. Finalmente, se $\varepsilon_{i,t+1}$ representa el error de la muestra. Cabe considerar que todas las variables están expresadas en periodicidad diaria.

Tabla 3. Resultados Dentro De La Muestra

Predictor	Coeff.	T. Stat	P. Value	R. Squared
RSI 3D	0.002	4.726	***	0.631
RSI 14D	0.002	2.385	**	0.161
RSI 30D	0.003	2.007	**	0.114
MOV AVG 30D	0.000	-1.062	-	0.032
MOV AVG 60D	0.000	-1.194	-	0.040
MOV AVG 200D	0.000	-1.303	-	0.048
MOV AVG 60D TECH	-0.022	-0.958	-	0.026
MOV AVG 200D TECH	-0.026	-1.159	-	0.038
MOM 3D	0.007	0.320	-	0.003
MOM 14D	-0.040	-1.744	*	0.086
MOM 30D	-0.036	-1.577	-	0.071
MOM 60D	-0.014	-0.593	-	0.010
MACD	0.000	0.086	-	0.000
PROM MSC D	0.003	0.913	-	0.024
MACD 9D	0.000	-0.160	-	0.001
TRADE	-0.008	-0.135	-	0.001
COBRE	-1.570	-2.314	**	0.152
PETROLEO	-0.126	-0.686	-	0.013
VIX	-0.001	-0.633	-	0.011
RATIO IPSA/S&P	-0.019	-1.249	-	0.044
SPREAD US/CHL 3M	0.001	0.292	-	0.002
SPREAD BR/CHL 3M	-0.001	-1.327	-	0.050
CDS CHILE	0.000	-1.425	-	0.058
VOL CLP 1 Week	0.003	1.518	-	0.065
VOL CLP 1 Month	-0.001	-0.448	-	0.006
VOL CLP 3 Month	-0.002	-0.600	-	0.010

Donde *, ** y *** indican un nivel de significancia del 1%, 5% y 10%.

Con respecto a la Tabla 3. los resultados indican que sólo las variables de RSI para todos sus tramos reportados (3, 14 y 30 días) y de momentum a 14 días son significativas, el resto de las variables pareciera no ser estadísticamente significativos para explicar el movimiento del tipo de cambio. En el caso de los índices de fuerza relativas (RSI), los coeficientes son positivos para todos los plazos, y se registran un rango similar entre ellos. Por otro lado, en cuanto a la predictibilidad, la variable RSI a 3 días muestra un mayor R^2 0,63, siendo superior a los otros dos plazos de 14 y 30 días, con R^2 de 0,16 y 0,11 respectivamente, lo cual es consistente con los resultados de Abarca et al 2007. En cuanto al momentum, solo el tramo de 14

días resulta ser significativo. En este caso, el coeficiente es negativo y el R^2 es menor si se compara con los resultados de los RSI, de 0,08.

En el caso de variables económicas, de 10 variables solamente el cobre se considera como significativo, además registra un coeficiente negativo y un R^2 de 0,15, siendo el registro más grande en este set de variables.

Como un todo, la variable que mejor predice el tipo de cambio en $t+1$ es el RSI de 3 y 14 días, mientras que el cobre se asimila bastante a la predicción del índice de fuerza relativa en el tramo de 14 días, considerando el R^2 .

5. Resultados fuera de la muestra

En este caso, se hace un ejercicio que busca comparar la predicción de cada variable, pero fuera de la muestra. Para esto utilizamos el siguiente modelo:

$$\hat{t}c_{t+1} = \hat{\alpha}_t + \hat{\beta}_{t,i} x_{i,t}^j \quad (14)$$
$$j = TECH, ECON$$

Donde $\hat{\alpha}_t$ y $\hat{\beta}_{t,i}$ son los resultados de una regresión de MCO en el periodo desde el junio del 2007 hasta diciembre del 2015 en la muestra, como estimación inicial, para luego estimar la proyección del tipo de cambio en la muestra restante, desde comienzos del 2016 hasta finales del 2020, versus el dato real en el mismo periodo.

Al final de cada tabla se registran dos métodos, el primero identifica la significancia del agregado de variables, considerando ambos sets, indicadores técnicos y macroeconómicos, a esto se le llama *Kitchen sink*, y el segundo método llamado *Diffusion index*, es una regresión que se estima basada en un componente principal, extraído del mismo set de variables.

En cuanto al primer método, *Kitchen sink*, se estima de la siguiente manera:

$$\hat{t}c_{t+1}^j = \alpha_t + \sum_{n=1}^N \beta_{t,n} x_{1:t,n,t}^j \quad (15)$$
$$j = TECH, ECON$$

El cual corresponde a la suma de todas las variables en la muestra, tanto indicadores técnicos como variables económicas, para estimar el tipo de cambio y considera el beta de cada una.

En cuanto al segundo método de componentes principales, es importante entender que es un método estadístico que permite simplificar la complejidad de los espacios muestrales⁷. Así, supongamos al vector

⁷ La data considera T observaciones descritas por N variables y se representa por T x N en la matriz X. El rango de la matriz X, se define como L donde $L \leq \min\{T, N\}$ La columna X debe centrarse en el plano de datos, de tal manera que la media de cada columna sea igual a cero. Debido a que las variables se miden en diferentes unidades, se debe escalar cada variable a un vector unitario, para esto, las variables se dividen por la raíz cuadrada de la suma de todos los elementos al cuadrado.

La matriz X se define como $X = P\Delta Q^T$, donde P es una matriz T x L, Q es una matriz N x L y Δ es una matriz diagonal de valores singulares. (Santiago de la fuerte, 2011)(Abdi y Williams, 2010)

$x_t^j = (x_{1,t}^j, \dots, x_{N,t}^j)'$, con $j = TECH, ECON$ y con el vector N como $N=15$, que es el número de variables en el caso de indicadores técnicos (TECH) y $N=10$, en el caso de variables económicas (ECON). Tal metodología permite encontrar un número de factores subyacentes K , donde cada uno de estos K factores, se llaman componentes principales y son extraídos de x_t , con $K^{TECH} \ll N^{TECH}$ y $K^{ECON} \ll N^{ECON}$. Con esto, el vector se denota como $\hat{F}_t^{TECH} = (\hat{F}_{1,t}^{TECH}, \dots, \hat{F}_{K,t}^{TECH})'$ y $\hat{F}_t^{ECON} = (\hat{F}_{1,t}^{ECON}, \dots, \hat{F}_{K,t}^{ECON})'$. Así, se estima la siguiente regresión:

$$\hat{t}c_{t+1}^j = \hat{\alpha}_t + \sum_{k=1}^K \hat{\beta}_k \hat{F}_{k,t}^j \quad (16)$$

$j = TECH, ECON$

Los K componentes principales incorporan una serie de información de un número grande de predictores potenciales, pero los primeros componentes logran identificar los elementos clave del set de variables predictivas. Para este estudio se utilizó solamente el primer componente principal⁸.

Luego, tales proyecciones se evalúan frente a un punto de comparación y, en este caso, se eligieron dos alternativas. En primer lugar, la efectividad del resultado se compara frente a la media histórica (HA) y, en segundo lugar, se compara frente a último precio disponible o también llamado *Random walk* (RW). Lo anterior se ejemplifica de la siguiente manera:

$$\hat{t}c_{t+1}^{HA} = \left(\frac{1}{t}\right) \sum_{s=1}^t tc_s \quad (17)$$

$$\hat{t}c_{t+1}^{RW} = tc_t \quad (18)$$

⁸ El primer componente se define como la combinación lineal de las variables originales que tiene varianza máxima. Los valores de ese primer componente se pueden definir en el vector k , siendo $k_1 = Xa_1$, y a_1 se define como la dirección. Dado que las variables originales se ordenan de tal manera que poseen una media cero, así también el vector k_1 . Por otro lado, su varianza viene dada por: $\frac{1}{n} k_1' k_1 = \frac{1}{n} a_1' X' X a_1 = a_1' S a_1$ (22.1)

Donde S es la matriz de varianza y covarianza de las observaciones. Para maximizar la ecuación 22.1, se impone la siguiente restricción en el vector a_1 , $a_1' a_1 = 1$ (22.2). Luego se introduce la restricción mediante el multiplicador de Lagrange: $M = a_1' S a_1 - \lambda(a_1' a_1 - 1)$ (22.3). Derivando respecto a a_1 : $\frac{\partial M}{\partial a_1} = 2S a_1 - 2\lambda a_1 = 0$ (22.4), cuya solución es $S a_1 = \lambda a_1$ (22.5). Para determinar qué valor propio de S es la solución de la ecuación (22.5) multiplicamos por a_1' , con lo cual tenemos $a_1' S a_1 = \lambda a_1' a_1 = \lambda$. Por lo que se concluye que λ es la varianza de k_1 . Como esta es la cantidad que queremos maximizar, λ será el mayor valor propio de la matriz S . Su vector asociado, a_1 , define los coeficientes de cada variable en el primer componente principal. (Santiago de la fuerte, 2011)(Abdi y Williams, 2010)

Todos los métodos se analizan por medio de tres metodologías. La primera, denominada por R^2_{OS} ⁹, el cual mide la reducción proporcional del error cuadrático medio (MSFE¹⁰) para la regresión predicha versus el benchmark (HA, RW). Entregando un R^2_{OS} positivo si la proyección del tipo de cambio a través de las distintas variables supera a la media móvil o al último dato disponible, en términos de MSFE. En caso contrario, entrega un valor negativo o cero, siendo el punto de comparación un mejor predictor o indiferente entre ambas. Además, se agregaron dos pruebas, el primero es MSFE-Adjusted, modificado por los autores Clark y West 2007, también utilizado por Neely, Rapach, Tu, & Zhou, 2014, el cual testea la hipótesis nula de que el MSFE del benchmark es menor o igual al MSFE predicho, es decir, $H_0: R^2_{OS} \leq 0$, $H_A: R^2_{OS} > 0$.

La segunda prueba, ENC-NEW (Clarck & McCracken, 2001), considera la siguiente ecuación:

$$ENC - NEW = P \frac{\bar{c}}{MSFE_2} \quad (19)$$

$$ENC - NEW = P \frac{P^{-1} \sum_t (\hat{u}_{1,t+1}^2 - \hat{u}_{1,t+1} \hat{u}_{2,t+1})}{P^{-1} \sum_t \hat{u}_{2,t+1}^2} \quad (20)$$

con $\hat{u}_{1,t+1} = y_{t+1} - x'_{1,t+1} \hat{\beta}_{1,t}$ y $\hat{u}_{2,t+1} = y_{t+1} - x'_{2,t+1} \hat{\beta}_{2,t}$ el error respectivo de cada estimación y siendo $P = (T - T_0)$ y donde T_0 denota el periodo dentro de muestra, para luego proyectar el periodo $T + 1$.

Ambas pruebas se utilizaron en la literatura para ver la predictibilidad de modelos anidados y ambos son test relativos. La diferencia radica en que el primer test, MSFE-Adjusted, se utiliza cuando se quiere evaluar modelos dentro de la población y tiene una distribución aproximada a una normal, y el segundo, ENC-NEW, se utiliza para evaluar la efectividad de la predicción y no tiene una distribución normal.

⁹ $R^2_{OS} = 1 - \left(\frac{MSFE}{MSFB}\right)$, siendo $MSFB$ el error cuadrático medio del benchmark

¹⁰ $MSFE = \left(\frac{1}{P}\right) \sum_{s=1}^P (tc_{T_0+s} - \hat{tc}_{i,T_0+s})^2$ y $MSFB = \left(\frac{1}{P}\right) \sum_{s=1}^P (tc_{T_0+s} - \bar{tc}_{T_0+s})^2$

5.2. Resultados versus la media histórica (HA)

Considerando ambos sets de variables de indicadores técnicos y variables económicas, versus un benchmark de media histórica (HA), los resultados son los siguientes:

Tabla 4. Resultados Indicadores Técnicos – Media Histórica

HA	MSFE	R2OS	MSFE-ADJ	p-value	ENC-NEW	p-value
RSI 3D	0.4451	0.185	1.9178	**	5.5332	***
RSI 14D	0.4465	-0.135	0.1548	-	0.2546	-
RSI 30D	0.4466	-0.161	-0.2225	-	-0.3161	-
MOV AVG 30D	0.4462	-0.067	0.1272	-	0.1284	-
MOV AVG 60D	0.4463	-0.086	0.2640	-	0.3433	-
MOV AVG 200D	0.4464	-0.109	0.4116	-	0.6509	-
MOV AVG 60D TECH	0.4463	-0.095	-0.6397	-	-0.4106	-
MOV AVG 200D TECH	0.4460	-0.028	0.0493	-	0.0337	-
MOM 3D	0.4460	-0.028	-0.7019	-	-0.1551	-
MOM 14D	0.4456	0.064	0.9183	-	0.7426	-
MOM 30D	0.4455	0.098	1.2570	*	0.8501	-
MOM 60D	0.4459	-0.007	-0.2933	-	-0.0397	-
MACD	0.4466	-0.157	-1.8552	-	-0.9354	-
PROM MSC D	0.4467	-0.188	-1.0973	-	-0.9261	-
MACD 9D	0.4466	-0.152	-2.0719	-	-0.9152	-
TRADE	0.4460	-0.019	-1.5976	-	-0.1174	-
Kitchen Sink	0.4467	-0.171	2.0432	**	9.3796	***
Diffusion Index	0.4473	-0.303	-0.8925	-	-1.2990	-

Donde *, ** y *** indican un nivel de significancia del 1%, 5% y 10%.

Tabla 5. Resultados variables Económicas – Media Histórica

HA	MSFE	R2OS	MSFE- ADJ	p-value	ENC-NEW	p-value
COBRE	0.4453	0.1395	1.2726	*	1.3742	*
PETROLEO	0.4467	-0.1689	0.4878	-	0.7501	-
VIX	0.4461	-0.0354	-0.5562	-	-0.2072	-
RATIO IPSA/S&P	0.4471	-0.2780	-0.5575	-	-0.8565	-
SPREAD US/CHL 3M	0.4467	-0.1896	-0.7890	-	-0.6929	-
SPREAD BR/CHL 3M	0.4461	-0.0352	0.0249	-	0.0201	-
CDS CHILE	0.4455	0.0896	1.2622	*	0.7321	-
VOL CLP 1 Week	0.4462	-0.0731	-0.1542	-	-0.1671	-
VOL CLP 1 Month	0.4460	-0.0150	-0.4616	-	-0.0871	-
VOL CLP 3 Month	0.4459	-0.0058	-0.1036	-	-0.0216	-
Kitchen Sink	0.4506	-1.0452	0.1164	-	0.6195	-
Diffusion Index	0.4459	0.0025	0.1134	-	0.0296	-

Donde *, ** y ** indican un nivel de significancia del 1%, 5% y 10%.

Solo tomando en cuenta las primeras dos columnas de la tabla 4, donde un R^2_{OS} positivo ejemplifica una variable que supera al benchmark propuesto (HA). Tenemos buenos predictores en el RSI de 3 días, 0,18 de R^2_{OS} , y el momentum de 14 y 30 días, con valores de 0,06 y 0,09 respectivamente. Siendo el índice de fuerza relativa de cortísimo plazo el que mejor lo hace. Las variables que son indiferente frente al benchmark, es decir, con R^2_{OS} igual o cercanos cero, son la media móvil técnica de 200 días, momentum de 60 días y el Trade. Considerando todas las variables, correspondiente al método *Kitchen Sink*, el R^2_{OS} es uno de los más negativo, es decir, uno de los que peor predice al tipo de cambio chileno. Por otro lado, el Diffusion Index es el más negativo de la muestra.

En ambas pruebas, MSFE ajustado y ENC-NEW, se muestra significancia estadística en el RSI de 3 días y el parámetro *Kitchen Sink*. Mientras que el momentum de 30 días, sólo es significativo en el primer test. Con respecto a la Tabla 4, podemos concluir que de manera transversal el indicador RSI de 3 días, no sólo logra ganarle al benchmark de la media histórica, sino que muestra una significancia robusta. Por su parte el momentum a 30 días, es la variable que le sigue en asertividad al índice de fuerza relativa, pero sólo muestra significancia en el primer test propuesto. Por otro lado, *Kitchen sink* es significativo en el segundo test, pero no logra superar el benchmark en su estimación, es decir, es mejor considerar las variables por separado que, en contraste, en conjunto. Por su parte, que el resto de las variables no son significativas.

Con respecto a la Tabla 5, las variables que muestran un positivo R^2_{OS} son el cobre y CDS de Chile. Indiferentes frente a benchmark, se encuentra a la volatilidad de 3 meses y el método que considera el componente principal, *Diffusion Index*. Todo el resto de las variables tienen un poder de predicción menor que la media histórica.

Con respecto al primer test MSFE ajustado, el cobre y el CDS de Chile resultan ser significativos, el resto de las variables fallan en este indicador. Mientras que el segundo test arroja significancia sólo para el cobre. Ante esto, las conclusiones son bastante robustas para el cobre, donde además de ser la variable que supera la predictibilidad del resto, muestra significancia en ambas pruebas. Lo anterior es consistente con los resultados encontrados por varios autores, tales como Cowan, Rappoport, & Selaive, 2006, y Kristjanpoller & Morales, 2011.

Avanzando en el tema, se evalúan los sets de variables, de manera agregada y se hace un análisis de componentes principales para el agregado de la muestra:

Kitchen sink:

$$\hat{t}c_{t+1}^{ALL} = \alpha_t + \sum_{n=1}^N \beta_{t,n} x_{1:t,n,t}^{ALL} \quad (21)$$

Diffusion index:

$$\hat{t}c_{t+1}^j = \hat{\alpha}_t + \sum_{k=1}^K \hat{\beta}_k \hat{F}_{k,t}^j \quad (22)$$

Tabla 6. Mixed – Media Histórica

HA	MSFE	R2OS	MSFE- ADJ	p-value	ENC-NEW	p-value
Kitchen Sink	0.4490	-0.7880	1.6330	*	10.2980	***
Diffusion Index	0.4470	-0.2850	-1.3160	-	-1.4810	-

Si bien, ninguno de los sets de variables agregadas logra superar el resultado de la media histórica, el parámetro *Diffusion index* logra una mejor aproximación, aunque este no es significativo. Mientras que si vemos significancia en el *Kitchen sink*. Esto quiere decir, que las variables por separado logran predecir de mejor manera la variable de interés, donde particularmente el RSI de cortísimo plazo y el cobre superan al resto de las variables consideradas.

Ahora, resulta interesante volver a estimar este resultado, pero considerando el segundo benchmark, *Random walk* o último precio disponible, y ver si son similares.

5.3. Resultados versus el último dato disponible (RW)

En esta oportunidad, se utiliza otro benchmark para evaluar la predictibilidad de cada set de variables, el *Random walk* (RW), el cual considera el último dato disponible para hacer la evaluación.

Tabla 7. Resultados Indicadores Técnicos – Último Dato Disponible

RW	MSFE	R2OS	MSFE- ADJ	p-value	ENC- NEW	p-value
RSI 3D	0.581	-30.293	2.038	**	33.680	***
RSI 14D	0.493	-10.698	0.370	-	4.511	***
RSI 30D	0.469	-5.311	0.025	-	0.234	-
MOV AVG 30D	0.446	-0.127	-0.479	-	-0.404	-
MOV AVG 60D	0.446	-0.144	-0.148	-	-0.172	-
MOV AVG 200D	0.446	-0.170	0.098	-	0.146	-
MOV AVG 60D TECH	0.447	-0.198	-0.778	-	-0.783	-
MOV AVG 200D TECH	0.446	-0.088	-0.288	-	-0.247	-
MOM 3D	0.446	-0.110	-1.224	-	-0.595	-
MOM 14D	0.446	0.026	0.630	-	0.549	-
MOM 30D	0.446	0.043	0.752	-	0.566	-
MOM 60D	0.446	-0.028	-0.275	-	-0.109	-
MACD	0.452	-1.378	-0.955	-	-4.086	-
PROM MSC D	0.447	-0.264	-1.310	-	-1.313	-
MACD 9D	0.447	-0.396	-1.817	-	-2.148	-
TRADE	0.463	-3.786	-0.247	-	-1.310	-
Kitchen Sink	0.447	-0.214	1.974	**	9.005	***
Diffusion Index	0.447	-0.345	-0.958	-	-1.492	-

Donde *, ** y *** indican un nivel de significancia del 1%, 5% y 10%.

Tabla 8. Resultados Variables Económicas – Último Dato Disponible

RW	MSFE	R2OS	MSFE- ADJ	p-value	ENC- NEW	p-value
COBRE	0.445	0.097	1.005	-	1.106	-
PETROLEO	0.447	-0.212	0.324	-	0.510	-
VIX	0.446	-0.078	-1.437	-	-0.482	-
RATIO IPSA/S&P	0.447	-0.321	-0.587	-	-0.988	-
SPREAD US/CHL 3M	0.447	-0.232	-0.992	-	-0.917	-
SPREAD BR/CHL 3M	0.446	-0.078	-0.229	-	-0.210	-
CDS CHILE	0.446	0.047	0.779	-	0.460	-
VOL CLP 1 Week	0.446	-0.116	-0.320	-	-0.383	-
VOL CLP 1 Month	0.446	-0.057	-1.960	-	-0.361	-
VOL CLP 3 Month	0.446	-0.048	-1.696	-	-0.301	-
Kitchen Sink	0.451	-1.088	0.131	-	0.716	-
Diffusion Index	0.446	-0.040	-1.133	-	-0.244	-

Donde *, ** y *** indican un nivel de significancia del 1%, 5% y 10%.

Respecto a la Tabla 7, solamente las variables de momentum de 14 y 30 días logran superar al último dato disponible, y lo hacen con un R^2_{OS} de 0,026 y 0,043. Esto hace sentido si se considera que los momentum incluyen la tendencia de últimos precios disponibles, pero en distintos periodos de tiempo. Cabe destacar que el cortísimo plazo, 3 días, es el que muestra una peor asertividad en la muestra de momentum, mientras que la variable que mejor predice es el de 30 días. Por su parte, los índices de fuerza relativa muestran un comportamiento bastante negativo, no así en el caso anterior (HA). En cuanto a los test utilizados, hay significancia en el RSI de 3 días, en ambos, pero el R^2_{OS} es negativo y esto se cumple en todos los tramos. Considerando el trabajo de Abarca, 2007, sería más efectivo si se considerara un horizonte predictivo más amplio, entre 4 y 7 días. Por otro lado, el RSI de 14 días y el *Kitchen Sink* logran ser significativos en el segundo test. Entonces, Se puede concluir, al igual que en el caso anterior, el agregado de indicadores técnicos no tiene una buena aproximación en su estimación, de hecho, es más efectivo utilizar las variables de momentum, en este caso.

Con respecto a las tablas 4 y 7, podemos concluir que el único indicador técnico que supera ambos benchmark, es el momentum de 30 días. Pero, este no logra ser significativo para el segundo caso.

En la Tabla 8, las variables que le ganan al Random walk son el cobre y el CDS, similar a lo observado con el benchmark anterior, además, el cobre vuelve a realizar la mejor estimación, con un R^2_{OS} de 0,097 y 0,047. Sin embargo, no se encuentra significancia en ninguno de los test utilizados. Cabe destacar que el método

agregado que considera el componente principal tiende a tener una predictibilidad similar al benchmark, pero no es significativo en ningún caso.

En este sentido, considerando las Tablas 5 y 8, se puede concluir que tanto el cobre como el CDS de Chile, logran superar ambos puntos de comparación, media histórica y último dato disponible. Sin embargo, sólo la variable CDS es significativa para el primer benchmark.

Nuevamente se considera el agregado de ambos sets de variables, indicadores técnicos y variables macroeconómicas, para analizar su efectividad en la estimación del tipo de cambio:

Tabla 9. Mixed – Random walk

RW	MSFE	R2OS	MSFE- ADJ	p-value	ENC- NEW	p-value
Kitchen Sink	0.449	-0.831	1.605	*	10.254	***
Diffusion Index	0.447	-0.328	-1.325	-	-1.667	-

En la Tabla 9, en ambos métodos agregados se observa una menor estimación en comparación con el benchmark, pero sólo el Kitchen sink es significativo en ambos test. Tales conclusiones son bastante similares al caso del benchmark anterior. Esto quiere decir que las variables por separado logran predecir de mejor manera el tipo de cambio chileno, donde particularmente el cobre superar al resto de las variables consideradas, aunque este resultado no es significativo con respecto al benchmark *Random walk*.

6. Precisión en la dirección de estimación

En este ejercicio, se evalúa el porcentaje de veces que la variable logra predecir de manera correcta la dirección (*directional accuracy*) de la variable de interés, la cual se define de la siguiente manera:

$$DA: \hat{\pi} = \frac{1}{P} \sum_{t=0}^{P-1} I(tc_{t+1} \hat{c}_{M,t+1} > 0) \quad (23)$$

La función $I(\cdot)$ genera un valor 1 cuando se cumple la condición de $tc_{t+1} \hat{c}_{M,t+1} > 0$, mientras que es cero en caso contrario. Además, P es el número de meses fuera de la muestra. Por otro lado, $\hat{\pi}_{ind}$ es el ratio de efectividad bajo el supuesto de independencia del tipo de cambio, y se define como:

$$\hat{\pi}_{ind} = \hat{\pi}_{tc} \hat{\pi}_M + (1 - \hat{\pi}_{tc})(1 - \hat{\pi}_M) \quad (24)$$

Donde $\hat{\pi}_r = P^{-1} \sum_{t=0}^{P-1} I(tc_{t+1}^i > 0)$ y $\hat{\pi}_M = (1/n) \sum_{t=0}^{n-1} I(tc_{M,t+1}^i > 0)$ son el porcentaje de tiempo en que ambos predictores son positivos.

Para esto, se utilizan dos test, el primero corresponde a los autores Pesaran y Timmermann (1992) y el segundo a Anatolyev y Gerko (2005).

Pesaran y Timmermann (PT), proponen un test que busca una sincronización en los tiempos y hace una evaluación sobre una proyección repetitiva. La hipótesis nula del test es la ausencia de una sincronización en el mercado. Para esto se utiliza un ratio que define qué proporción del mes el signo predicho iguala al observado y se escribe de la siguiente manera:

$$PT_{DA} = \frac{\hat{\pi} - \hat{\pi}_{ind}}{\sqrt{Var[\hat{\pi}] - Var[\hat{\pi}_{ind}]}} \quad (25)$$

El segundo test, Anatolyev y Gerko (AG), se basa en la idea de utilizar una estrategia de trading.

$$AG_{DA} = \frac{Active_{ag} - BuyHold_{ag}}{\sqrt{\hat{V}_{ag}}} \quad (26)$$

Donde $Active_{ag}$ es el retorno esperado de una estrategia de trading activa que toma valores largos cuando se predice un retorno positivo y toma valores negativos, cuando se predice un retorno negativo en el modelo

para el periodo Fuera de muestra. Por su parte, $BuyHold_{ag}$ es el retorno de una estrategia pasiva de comprar y mantener que siempre toma valores largos en el tipo de cambio.

Siendo tc_{t+1} el retorno de la moneda y $\hat{tc}_{M,t+1}$ el valor predicho de tc_{t+1} . La regla activa de trading se da cuando:

$$\begin{cases} \text{Comprar si } \hat{tc}_{M,t+1} \geq 0 \\ \text{vender en caso contrario} \end{cases} \quad (27)$$

Como resultado, se cambia la posición de trading en cada periodo, terminando con la muestra hacia finales del 2020. El retorno de un periodo es igual a $tc_{regla,t+1} = signo(\hat{tc}_{M,t+1})tc_{t+1}$, con $signo(\cdot)$ toma el valor de -1 cuando el retorno estimado es negativo y +1 cuando el retorno estimado es positivo.

El retorno esperado de un periodo se identifica de la siguiente manera:

$$\widehat{Active}_{ag} = \frac{1}{P} \sum_{t=0}^{P-1} tc_{regla,t+1} \quad (28)$$

$$BuyHold_{ag} = \left(\frac{1}{P} \sum_{t=0}^{P-1} signo(tc_{M,t+1}) \right) \left(\frac{1}{P} \sum_{t=0}^{P-1} signo(tc_{t+1}) \right) \quad (29)$$

Por otra parte, la varianza se escribe como sigue:

$$\hat{V}_{ag} = \frac{4}{P^2} \hat{q}_M (1 - \hat{q}_M) \sum_{t=0}^{P-1} (tc_{t+1} - \hat{tc}_{t+1})^2 \quad (30)$$

Donde $\hat{q}_M = 0,5(1 + P^{-1} \sum_{t=0}^{P-1} signo(\hat{tc}_{M,t+1}))$.

A continuación, se muestran los resultados para el primer set de variables, correspondientes a las variables técnicas y se identifica la precisión en la dirección de estimación (DA), número que sobre 50% resulta ser precisa y, en caso contrario, bajo 50, baja su nivel de precisión. Además, se muestran ambas pruebas descritas anteriormente.

Tabla 10. Indicadores Técnicos – Directional Accuracy

Variable	DA	PT		AG	
		Stat	p.value	Stat	p.value
RSI 3D	0.541	2.967	**	2.905	**
RSI 14D	0.529	2.084	**	1.227	-
RSI 30D	0.524	1.754	**	0.487	-
MOV AVG 30D	0.507	0.082	-	-1.040	-
MOV AVG 60D	0.508	0.464	-	-1.440	-
MOV AVG 200D	0.503	-0.954	-	-2.883	-
MOV AVG 60D TECH	0.493	-0.466	-	-0.075	-
MOV AVG 200D TECH	0.510	0.683	-	0.444	-
MOM 3D	0.500	0.079	-	-1.160	-
MOM 14D	0.504	0.281	-	1.113	-
MOM 30D	0.507	0.482	-	1.397	*
MOM 60D	0.495	-0.264	-	-0.328	-
MACD	0.493	-0.404	-	-1.607	-
PROM MSC D	0.490	-0.718	-	-0.769	-
MACD 9D	0.486	-0.958	-	-1.873	-
TRADE	0.480	-1.404	-	-2.028	-
Kitchen Sink	0.519	1.282	*	1.741	**
Diffusion Index	0.504	0.394	-	-0.819	-

Tabla 11. Variables Internacionales – Directional Accuracy

Variable	DA	PT		AG	
		Stat	p.value	Stat	p.value
COBRE	0.500	-0.015	-	0.690	-
PETROLEO	0.503	0.235	-	-0.130	-
VIX	0.474	-1.824	-	-1.912	-
RATIO IPSA/S&P	0.493	0.000	-	0.000	-
SPREAD US/CHL 3M	0.491	-0.778	-	-1.163	-
SPREAD BR/CHL 3M	0.504	0.623	-	0.693	-
CDS CHILE	0.497	0.247	-	0.862	-
VOL CLP 1 Week	0.493	-0.515	-	-0.518	-
VOL CLP 1 Month	0.478	-1.526	-	-1.903	-
VOL CLP 3 Month	0.488	-0.760	-	-1.150	-
Kitchen Sink	0.507	0.461	-	0.117	-
Diffusion Index	0.488	-0.752	-	-1.040	-

En la Tabla 10, se muestran los resultados de predictibilidad de los indicadores técnicos. La segunda columna (DA) registra la precisión de cada variable, donde una precisión de más de un 50% se considera efectiva. En ese sentido, las variables exitosas son los índices de fuerza relativa, las medias móviles, media técnica de 200 días, momentum de 14 y 30 días y ambos métodos finales, *Kitchen sink* y *diffusion index*. En cuanto a ambas pruebas, los resultados muestran tanto los RSI de 3 días, como el *Kitchen sink* son significativos, mientras que el RSI de 14 y 30 días son significativo en el primer caso y el momentum de 30 días en el segundo test. El resto de las variables tienen una predictibilidad del 50% o menor, pero no son significativos en ninguno de los test.

Nuevamente, el RSI de 3 días logra obtener buenos resultados. No sólo es el más efectivo estimando la dirección de la variable de interés, sino que es el que mejor lo hace en su predictibilidad.

En la Tabla 11 se muestran los resultados de las variables económicas, en este caso la predictibilidad es superior al 50% en el petróleo, spread Brasil/Chile y *Kitchen sink*; por su parte, el cobre muestra una efectividad del 50%. Las variables restantes muestran una predictibilidad inferior a 50%. Sin embargo, ninguna de las variables logra ser significativa en ninguno de los test.

A continuación, se muestra la predictibilidad de los parámetros de información conjunta, *Kitchen sink* y *diffusion index*.

Tabla 12. Mixed – Direction Accuracy

Variable	DA	PT		AG	
		Stat	p.value	Stat	p.value
Kitchen Sink	0.527	1.868	**	1.924	**
Diffusion Index	0.503	0.259	-	-1.350	-

En la Tabla 12, ambos parámetros muestran un buen nivel de predictibilidad en la dirección del tipo de cambio, sin embargo, solo el *Kitchen sink* logra ser significativo. Con respecto a los dos métodos de variables en conjunto, Por su parte, el *diffusion index* tiene una predictibilidad de dirección similar al resto de la muestra, de 50%, y no es significativo bajo ningún test.

En el apéndice 3 se agrega un ejercicio que busca construir un portafolio teórico aplicando ponderadores entre el activo de riesgo, en este caso el tipo de cambio, y un activo libre de riesgo, comparando el retorno de ese ejercicio versus un portafolio construido con ambos benchmark. En este sentido, en cuanto a los indicadores técnicos, los índices de fuerza relativa muestran un mejor comportamiento en el tramo corto de 3 días, tanto frente a la media histórica como el último dato disponible. En segunda instancia, el momentum de 30 días es el más efectivo, pero no logra superar a ningún benchmark. En cuanto a los parámetros de data agregada, *Kitchen sink*, es bastante efectivo, al menos frente a la media histórica.

En cuanto a las variables económicas, responden de buena manera el cobre, VIX, spread US/Chile y parámetro *Diffusion index*, sin embargo, ninguna variable supera el resultado de ambos benchmark.

7. Conclusión

En este trabajo estimamos la proyección del tipo de cambio nominal chileno a través de una serie de variables que responden tanto a elementos técnicos como fundamentales. El análisis consistió en evaluar su efectividad tanto dentro como fuera de la muestra, comparándola con dos benchmark de referencia, la media histórica (HA) y el último dato disponible o *Random walk* (RW).

Se utilizó la proyección de cada variable por separado y al final de cada tabla se agregaron dos métodos que consideran la mezcla de cada set de variables, *Kitchen sink* y *Diffusion Index*. Por otro lado, también se testeó la efectividad de la dirección predicha (DA).

En cuanto a los indicadores técnicos, los índices de fuerza relativa son los que muestran una mejor predicción del tipo de cambio diario, y esto se cumple tanto dentro como fuera de la muestra, con los tramos más cortos mostrando mayor precisión. Sin embargo, cuando se comparan con un benchmark que considera el último dato disponible, *Random walk*, se pierde la efectividad en la predicción. A su vez, solo considerando la dirección de la predicción, también muestran el mayor nivel de asertividad. La siguiente variable que muestra una buena predictibilidad es la de momentum; de hecho, en los tramos de 14 y 30 días logra superar el resultado del *Random walk*, aunque no es significativo. Además, también muestran una precisión en la dirección de la variable de interés.

En cuanto a las variables económicas, el cobre es el más efectivo en la predicción, teniendo una buena aproximación tanto dentro como fuera de la muestra. Cabe considerar que los resultados no son significativos cuando se compara con el benchmark del último dato disponible, *Random walk*. Por otro lado, considerando el ejercicio que mide la dirección de la predicción, la variable que mejor responde no es el cobre, sino el parámetro *Kitchen sink*, spread Brasil/Chile y petróleo.

En cuanto a los parámetros de data agregada, *Kitchen sink* y *Diffusion index*, si bien los resultados fuera de la muestra no son efectivos en la predicción del tipo de cambio, sí son efectivos para predecir la dirección, aunque solo *Kitchen sink* es significativo. Por su parte, frente al último dato disponible, se evidencia un elevado retorno equivalente cierto y ratio de Sharpe, aun superior a las variables económicas, pero no supera al benchmark. Con lo cual se puede concluir que el *Random walk* es bastante efectivo, no sólo considerando la predicción de la variable de interés, sino que también considerando la dirección de la variable.

Tomando en cuenta ambos sets de variables, el índice de fuerza relativa de menor tramo, RSI 3 días, es el que muestra mayor efectividad en la predicción y dirección de la variable de interés.

Apéndice

1. Indicadores técnicos

Gráfico 2. RSI 3 días^a

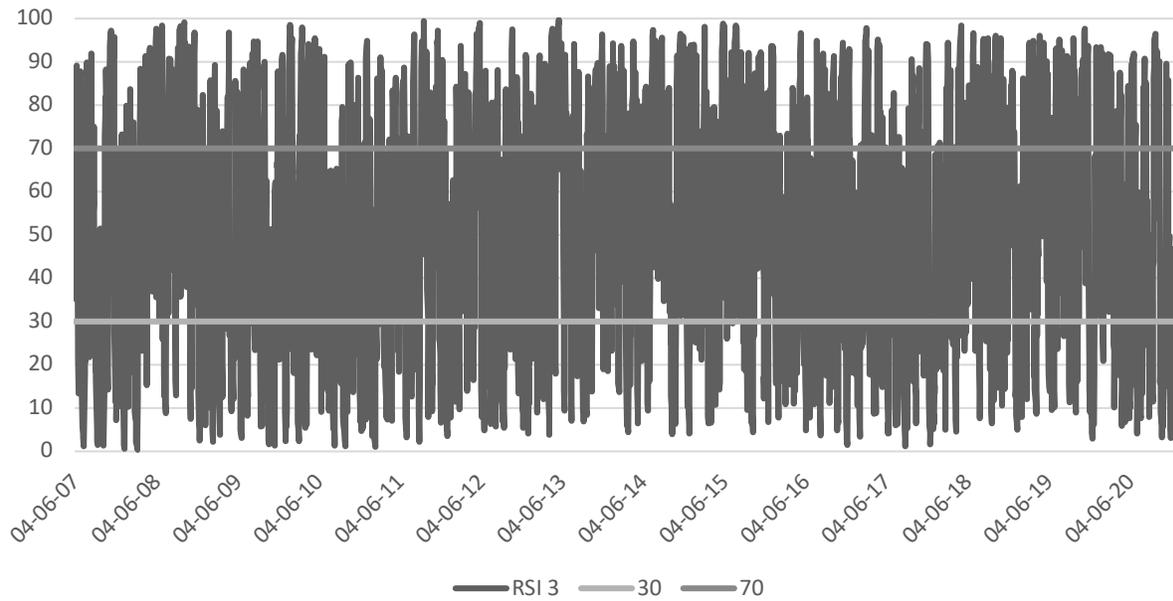


Gráfico 3. RSI 14 días^a

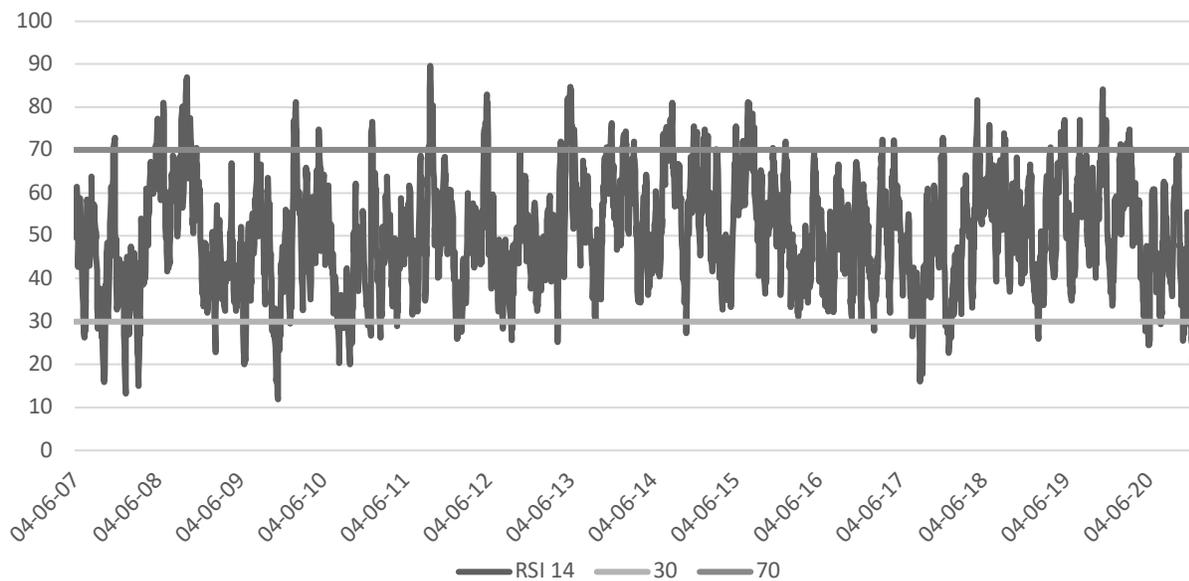
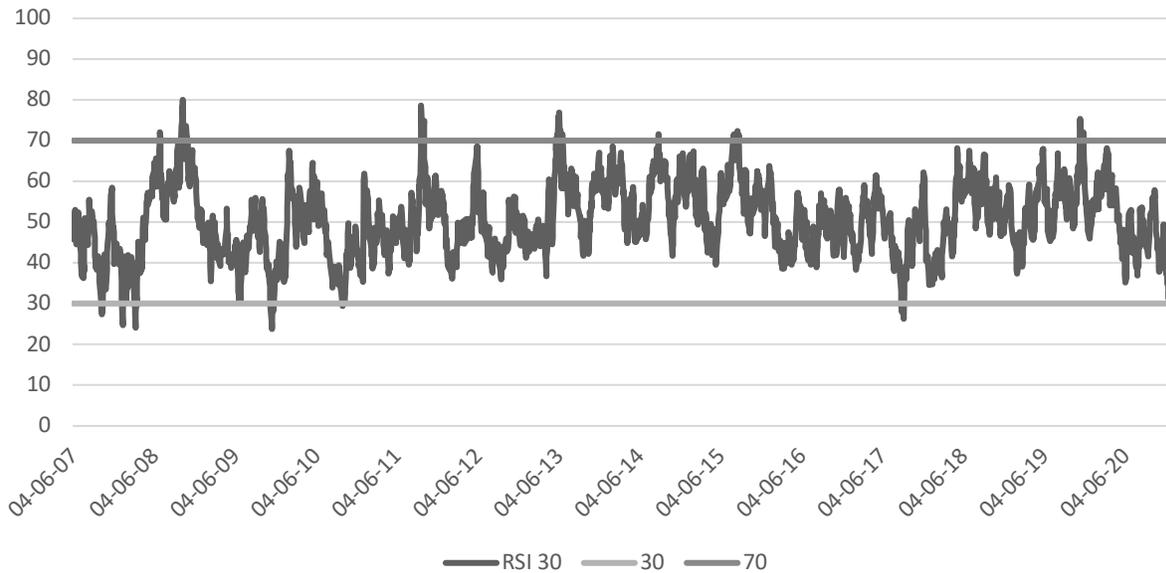


Gráfico 4. RSI 30 días^a



^aLos movimientos del RSI sobre 70, indicarían que el activo está sobrecomprado y que tal tendencia alcista podría revertirse, por lo que el precio podría bajar. Mientras que por el contrario, cuando el indicador RSI se ubica por debajo del 30, indicaría que el activo se encuentra sobrevendido, advirtiendo un posible término de esta tendencia, por lo que el precio podría subir.

Gráfico 5. Medias Móviles

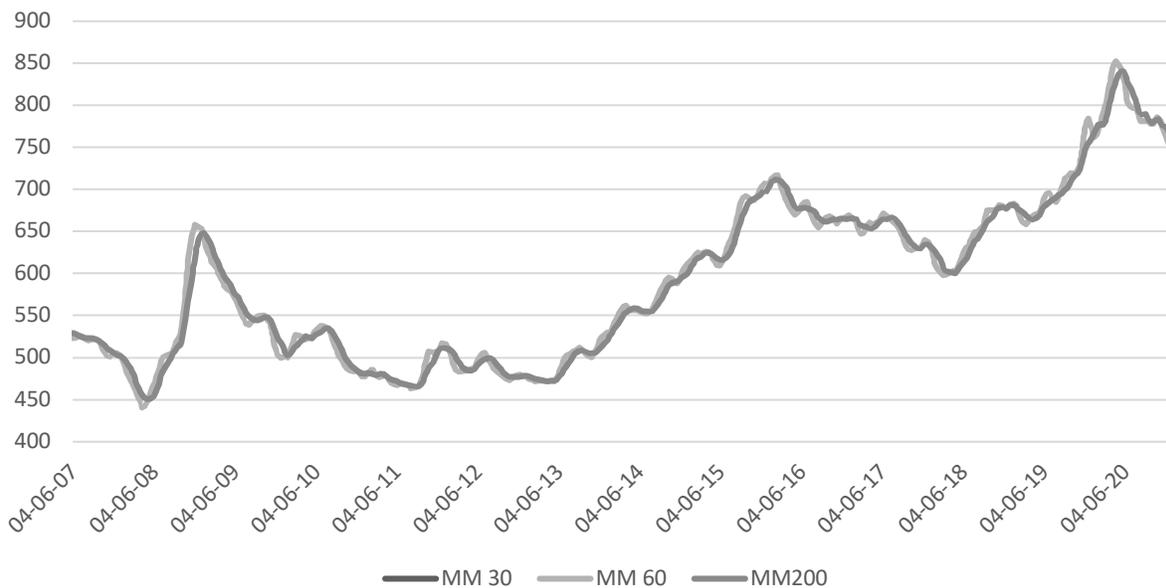


Gráfico 6. El cruce de las medias indicaría señales de compra o de venta. Una señal de compra se produce cuando la media móvil de tiempo más corto atraviesa de abajo hacia arriba las medias móviles de periodos más largos; en caso contrario, cuando la media móvil más corta atraviesa de arriba hacia abajo a las medias más largas, se produce una señal de venta.

Gráfico 7. MACD

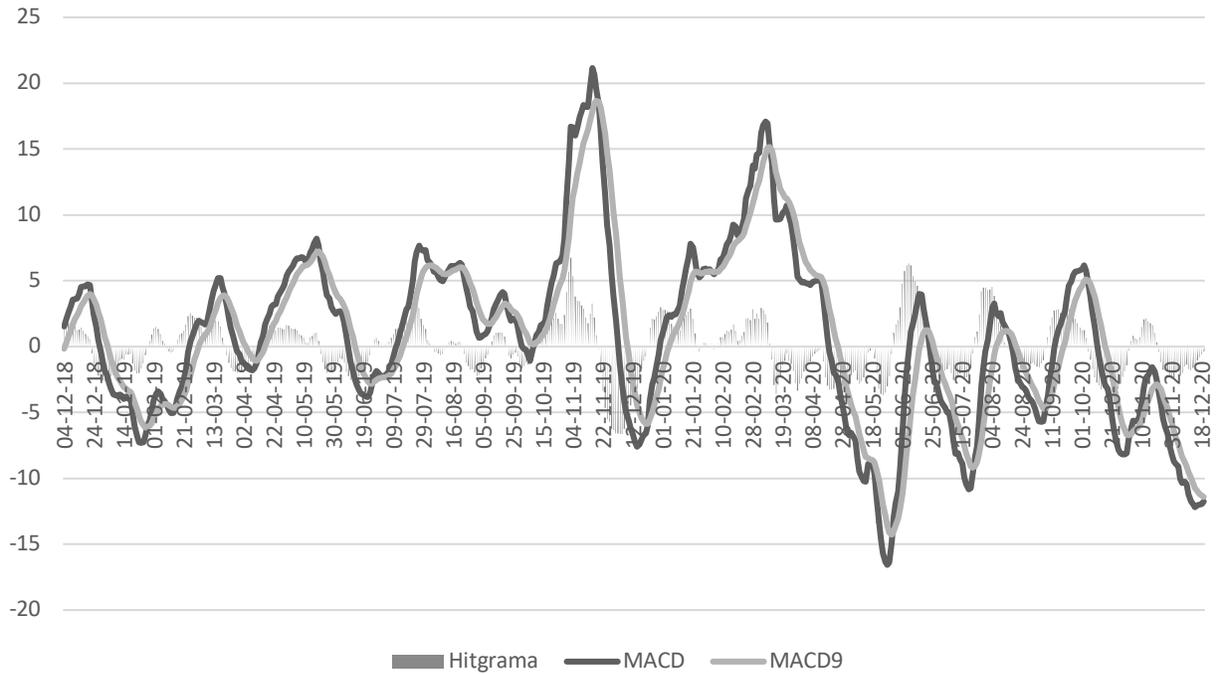


Gráfico 7. Cada vez que la línea *signal* (MACD9) corta de arriba hacia abajo al MACD, el Hitgrama pasa de negativo a positivo y es ahí cuando se emite la señal de “trade”.

2. Variables económicas

Gráfico 8. CLP/Cobre

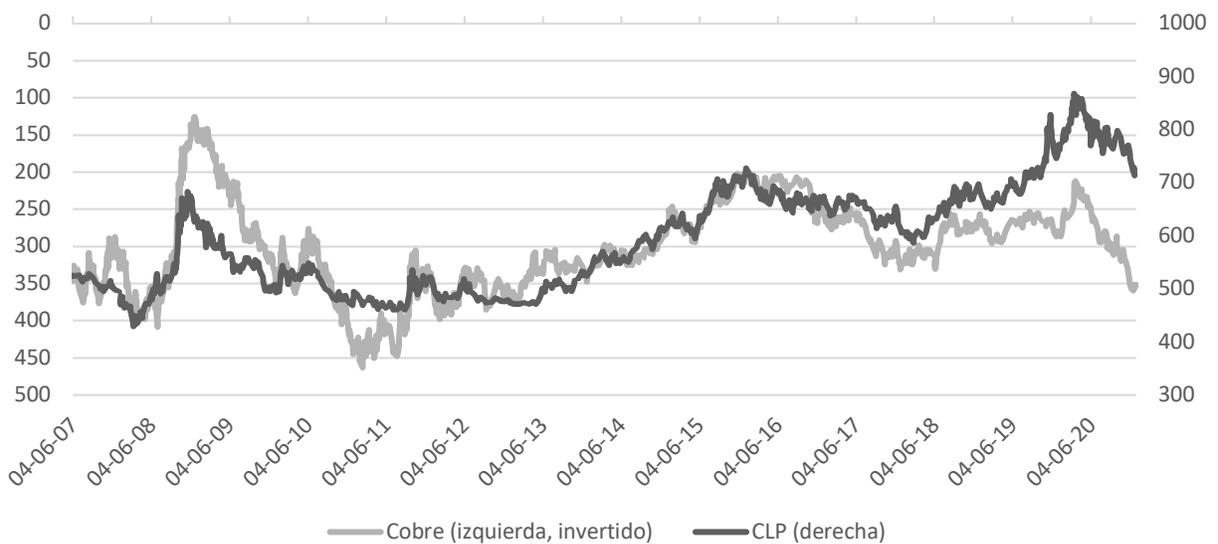


Gráfico 9. CLP/Petróleo

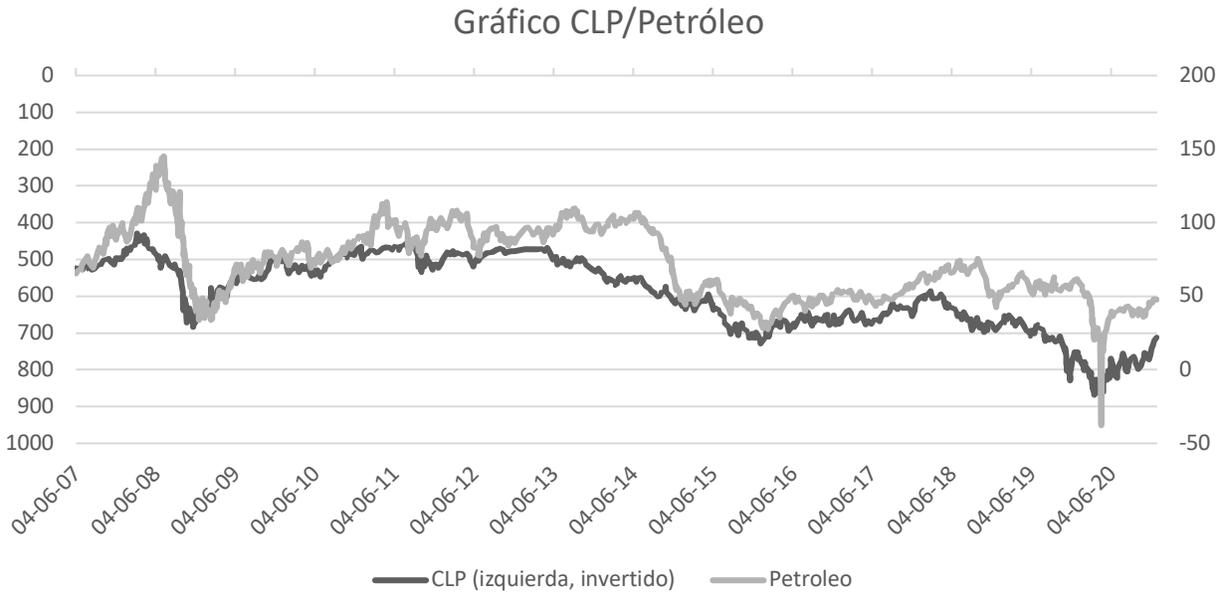


Gráfico 10. Ratio IPSA/S&P

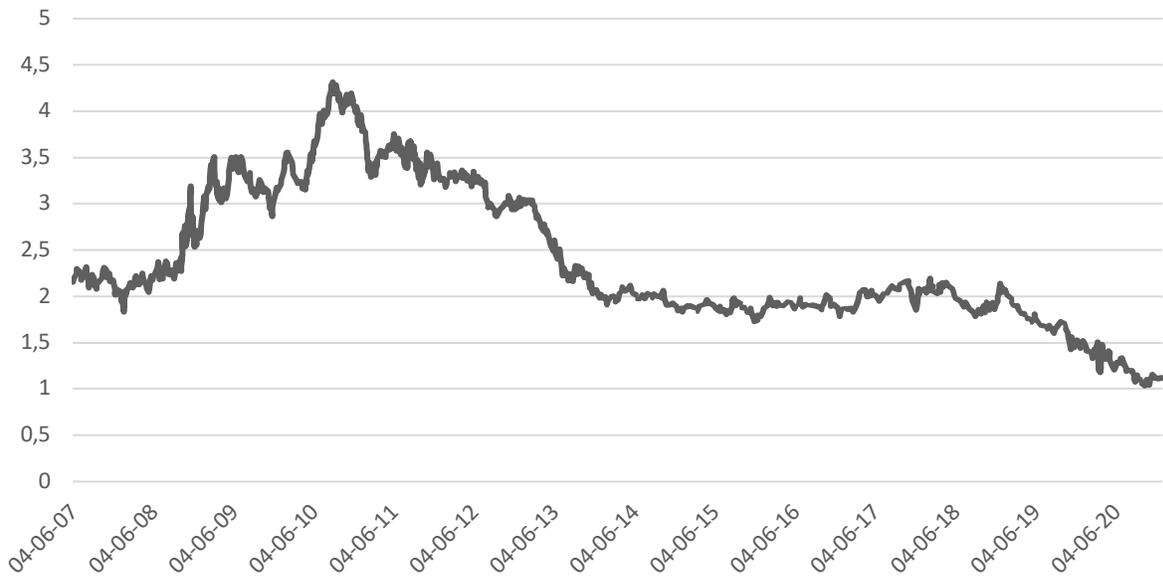


Gráfico 11. Spread EE.UU./Brasil vs EE.UU./Chile

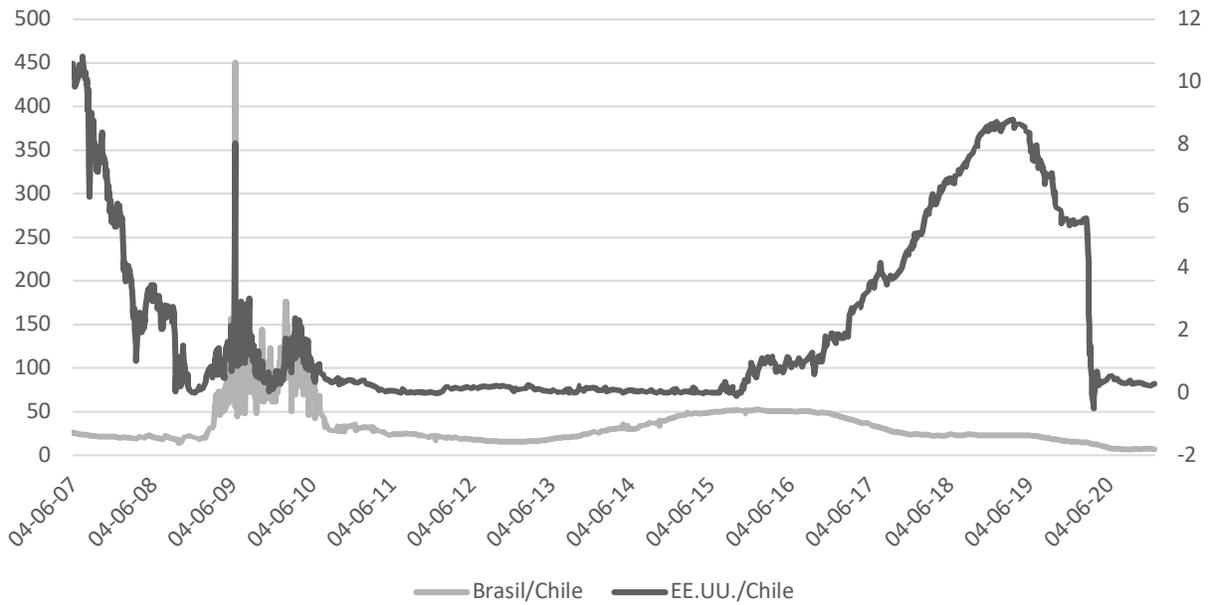


Gráfico 12. VIX y CDS Chile

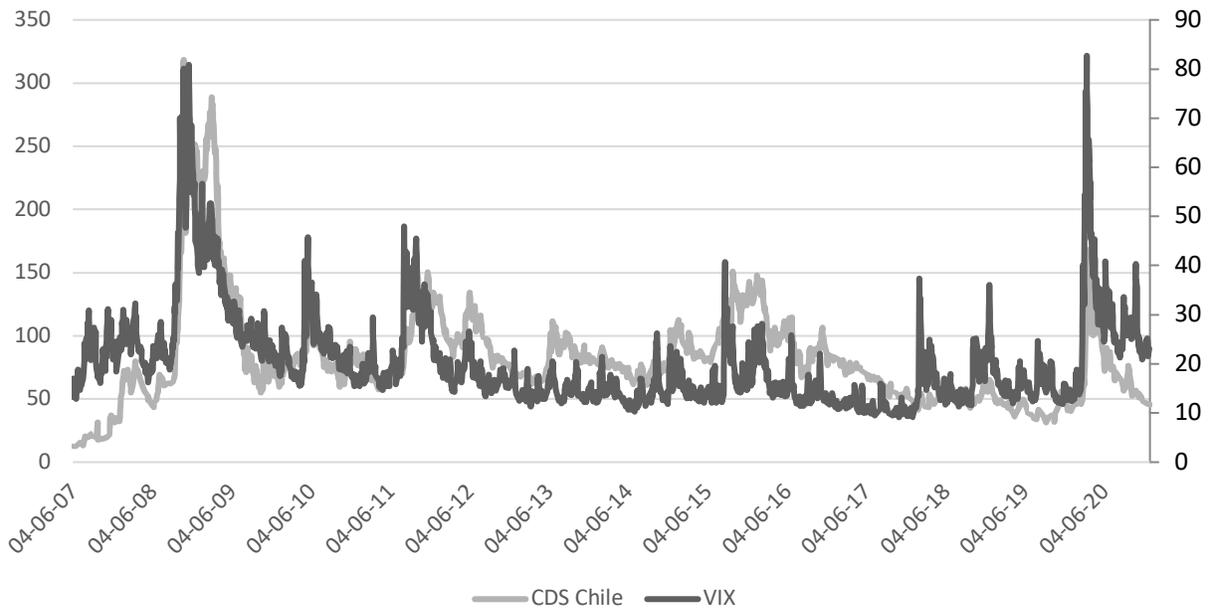
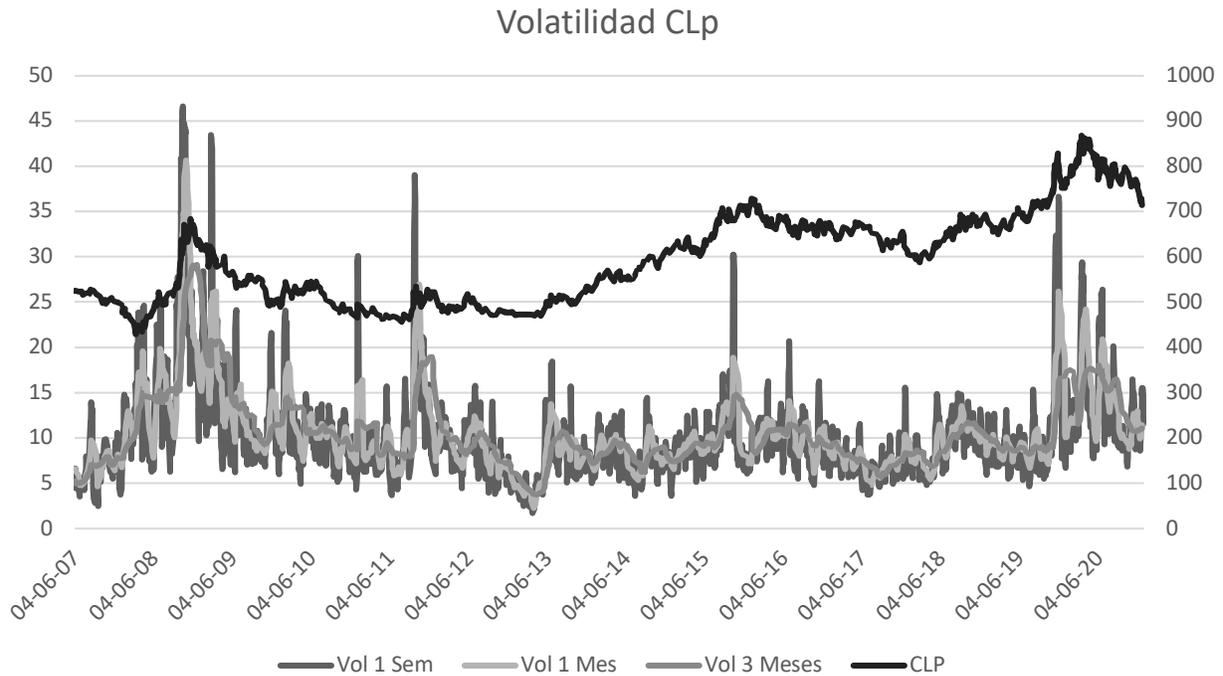


Gráfico 12. Se puede observar cómo ambos indicadores de riesgo tienden a mostrar tendencias similares en distintas escalas, lo cual se explica principalmente por un contagio de los elementos de incertidumbre internacionales y locales.

Gráfico 13. Volatilidad anual 1 semana, 1 mes y 3 meses.



3. Construcción de un portafolio (asset allocation)

3.1. Resultados versus media histórica (HA)

En este caso se hace un ejercicio teórico de elegir los porcentajes de un portafolio, decidiendo entre el tipo de cambio y una variable libre de riesgo. Se utiliza cada variable del set disponible para predecir el tipo de cambio y se compara con el Treasury de 10 años de EE.UU., como libre de riesgo.

Al final del periodo t , se hace la siguiente optimización de un individuo adverso al riesgo:

$$\text{Max}(w_t \hat{r}_{i,t+1} - \frac{\gamma}{2} \sigma^2_{t+1} w^2_t) / \frac{\Delta w}{w} \quad (31)$$

$$\hat{r}_{i,t+1} = \gamma \sigma^2_{t+1} w_t \quad (32)$$

$$w_t = \left(\frac{1}{\gamma}\right) \left(\frac{\hat{r}_{t+1}}{\hat{\sigma}_{t+1}^2}\right)^{11} \quad (33)$$

Donde \hat{r}_{t+1} y $\hat{\sigma}_{t+1}^2$ son las proyecciones del tipo de cambio y la varianza utilizando las variables de indicadores técnicos en primera instancia.

El retorno del portafolio teórico se escribe de la siguiente manera:

$$w_t R_{i,t+1} + (1 - w_t) R_{f,t+1} \quad (34)$$

$$w_t R_{i,t+1} + R_{f,t+1} + w_t R_{f,t+1} \quad (35)$$

$$w_t (R_{i,t+1} - R_{f,t+1}) + R_{f,t+1} \quad (36)$$

$$R_{p,t+1} = w_t r_{t+1} + R_{f,t+1}^{12} \quad (37)$$

Donde w_t es el porcentaje que se coloca en el tipo de cambio bajo esta métrica y se calcula en base a las variables predictoras.

Para entender cómo se comporta este portafolio, se compara la asertividad de un portafolio frente a los dos benchmark antes mencionado, medias históricas y último dato disponible. Para esto, se computa un indicador de retorno equivalente cierto CER¹³:

$$CER_\rho = \hat{\mu}_\rho - \frac{1}{2} \gamma \hat{\sigma}_\rho^2 \quad (38)$$

Donde $\hat{\mu}_\rho$ y $\hat{\sigma}_\rho^2$ son la media y la varianza del portafolio en el periodo de evaluación. En la siguiente tabla, se puede comparar cual es el mejor retorno equivalente cierto, es decir, si la media histórica tiene una mejor proyección en un portafolio versus cada una de las variables de indicadores técnicos.

¹¹ (Neely, Rapach, Tu, & Zhou, 2014)

¹² (Neely, Rapach, Tu, & Zhou, 2014; Neely, Rapach, Tu, & Zhou, 2014)

¹³ Certainty equivalent return

Tabla 13. Asset Allocation

Modelo	CER	SR	Modelo	CER	SR
HA	1.310	-0.560	HA	1.310	-0.560
RSI 3D	3.515	0.530	COBRE	0.153	0.048
RSI 14D	1.163	0.272	PETROLEO	-2.309	-0.546
RSI 30D	0.242	0.158	VIX	0.255	-0.215
MOV AVG 30D	0.410	-0.706	RATIO IPSA/S&P	-5.548	-0.173
MOV AVG 60D	0.562	-0.823	SPREAD US/CHL 3M	0.088	-0.474
MOV AVG 200D	0.650	-0.918	SPREAD BR/CHL 3M	-0.825	-0.049
MOV AVG 60D TECH	-1.532	-0.250	CDS CHILE	-0.136	-0.003
MOV AVG 200D TECH	-0.420	-0.057	VOL CLP 1 Week	-1.086	-0.136
MOM 3D	-0.713	-0.522	VOL CLP 1 Month	-0.198	-0.838
MOM 14D	-0.311	-0.029	VOL CLP 3 Month	-0.475	-0.774
MOM 30D	1.091	0.198	Kitchen Sink	-1.118	0.110
MOM 60D	-0.008	-0.452	Diffusion Index	0.349	-0.247
MACD	-2.853	-0.891			
PROM MSC D	-2.135	-0.383			
MACD 9D	-3.447	-1.277			
TRADE	-0.251	-0.707			
Kitchen Sink	2.083	0.372			
Diffusion Index	-2.633	-0.130			

Se reporta el Ratio de Sharpe¹⁴ (SR), el cual mide el retorno comparándolo con la desviación estándar de éste. Mientras más alto el CER, comparativo a su benchmark, y el ratio de Sharpe, mejor es la variable utilizada para estimar el retorno de un portafolio teórico.

En la primera parte de la Tabla 13 se muestran los resultados de los indicadores técnicos del ejercicio teórico y en la segunda parte, los correspondientes a variables económicas. El retorno equivalente cierto de la media histórica es de 1,31, un nivel superior al promedio de la muestra de indicadores técnicos (-0,252) y variables económicas (-1,008). De hecho, las variables técnicas que muestran un retorno equivalente cierto positivo son el RSI, medias móviles, momentum de 30 días y *Kitchen sink*.

El ratio de Sharpe, es un indicador de rentabilidad que, además, considera el nivel de riesgo, entonces, cuando mayor es el ratio, mejor. Los resultados de la Tabla 13 muestran que el ratio de Sharpe es -0,56 para la media histórica, en este sentido, las variables que muestran un mejor rendimiento son los índices de fuerza relativa, medias móviles técnicas, el momentum, promedio MACD 30 días y ambos parámetros finales,

¹⁴ $SR = \frac{Mean-Rf}{SD}$

Kitchen sink y *diffusion index*. Mientras que aquellas que registran un ratio de Sharpe positivo son los RSI, momentum de 30 días y el parámetro *Kitchen sink*.

Considerando ambas columnas, los índices de fuerza relativa tienen el mejor comportamiento y mientras más corto el tramo, mejor es la estimación, después le sigue el parámetro *Kitchen sink*. El resto de las variables muestran un retorno equivalente cierto menor al benchmark y un ratio de Sharpe negativo. Se puede concluir que los tramos más cortos funcionan mejor, pero sólo cuando consideran la tendencia y la fuerza con la cual se aferra esta tendencia, mientras que, si solo se considera la tendencia de la variable de riesgo, los tramos medios y largos generan una mejor construcción de un portafolio.

Considerando los resultados de la segunda parte de la Tabla 13, si bien hay retornos equivalentes ciertos (CER) positivos, éstos no logran superar a la media histórica como benchmark. Se destaca al cobre, VIX y *Diffusion index* con CER positivo¹⁵. En cuanto al ratio de Sharpe, las variables económicas muestran un nivel bastante superior al benchmark, donde solo las volatilidades de 1 y 3 meses son inferiores, los registros positivos son para el cobre y el *Kitchen sink*. En este sentido, en conjunto destaca la asertividad del cobre.

Considerando todas las variables de la Tabla 13, el RSI de 3 días obtiene los mejores resultados, seguido por el *Kitchen sink* de indicadores técnicos.

A continuación se muestra la Tabla 14 que considera el mismo ejercicio de asset allocation, correspondiente al agregado de ambos sets de variables.

¹⁵ El indicador SPREAD US/CHL 3M registra un CER positivo, pero muy cercano a cero.

Tabla 14. Mixed – Asset Allocation

Modelo	CER	SR
HA	1.310	-0.560
Kitchen Sink	2.142	0.399
Diffusion Index	-4.285	-0.510

Se reporta el Ratio de Sharpe¹⁶ (SR), el cual mide el retorno comparándolo con la desviación estándar de este. Mientras más alto el CER, comparativo a su benchmark, y el ratio de Sharpe, mejor en la variable utilizada para estimar el retorno de un portafolio teórico.

Finalmente, considerando la Tabla 14, el mix entre ambos sets de variables, el *Kitchen sink* logra tener una buena asertividad en retorno equivalente cierto y ratio de Sharpe, no así el método que usa componentes principales. Ante lo cual, se puede concluir que, en cuanto a la construcción de un portafolio, la variable *Kitchen sink* reporta una buena asertividad, principalmente por el elemento de variables técnicas.

3.2. Resultados versus Random walk (RW)

En esta sección se repite el ejercicio anterior, considerando ambos conjuntos de variables; técnicas y económicas, pero esta vez el benchmark utilizado es el último dato disponible (*Random walk*). Luego, en la Tabla 15 se reporta el retorno equivalente cierto y el ratio de Sharpe.

¹⁶ $SR = \frac{Mean-Rf}{SD}$

Tabla 15. Asset Allocation – Random walk

Modelo	CER	SR	Modelo	CER	SR
RW	2.018	0.610	RW	2.018	0.610
RSI 3D	5.884	0.795	COBRE	-0.556	0.048
RSI 14D	0.737	0.352	PETROLEO	-3.018	-0.546
RSI 30D	-2.664	0.049	VIX	-0.453	-0.215
MOV AVG 30D	-0.140	-0.196	RATIO IPSA/S&P	-6.256	-0.173
MOV AVG 60D	-0.061	-0.210	SPREAD US/CHL 3M	-0.620	-0.474
MOV AVG 200D	-0.026	-0.324	SPREAD BR/CHL 3M	-1.533	-0.049
MOV AVG 60D TECH	-3.078	-0.175	CDS CHILE	-0.844	-0.003
MOV AVG 200D TECH	-1.277	-0.057	VOL CLP 1 Week	-1.794	-0.136
MOM 3D	-2.139	-0.430	VOL CLP 1 Month	-0.906	-0.838
MOM 14D	-1.445	-0.077	VOL CLP 3 Month	-1.183	-0.774
MOM 30D	-0.255	0.092	Kitchen Sink	-1.826	0.110
MOM 60D	-0.077	0.044	Diffusion Index	-0.359	-0.247
MACD	-5.615	-0.267			
PROM MSC D	-3.110	-0.376			
MACD 9D	-6.317	-0.746			
TRADE	-0.406	-0.116			
Kitchen Sink	1.375	0.372			
Diffusion Index	-3.341	-0.130			

Se reporta el Ratio de Sharpe¹⁷ (SR), el cual mide el retorno comparándolo con la desviación estándar de este. Mientras más alto el CER, comparativo a su benchmark, y el ratio de Sharpe, mejor en la variable utilizada para estimar el retorno de un portafolio teórico.

En la Tabla 15. el Random walk tiene un nivel de retorno equivalente cierto de 2,018 (más elevado que en el caso del primer benchmark) y un ratio de Sharpe de 0,61. Con respecto a la primera parte de la data técnica, solo el RSI de 3 días registra un CER mayor (5,884), al igual que el ratio de Sharpe (0,795). Mientras que el resto de las variables no logran superar al benchmark en ninguno de los casos, con un promedio de -1,22. Cabe destacar, que el RSI de 3 días y el parámetro *Kitchen Sink* muestran un CER positivo, al igual que un positivo ratio de Sharpe.

¹⁷ $SR = \frac{Mean - R_f}{SD}$

En la Tabla 15, la segunda parte de la data, variables económicas, muestra que ninguna de las variables logra superar al benchmark, sin embargo, el cobre muestra uno de los retornos equivalentes ciertos más cercanos, aunque negativo, y el ratio de Sharpe es positivo, al igual que el parámetro *Kitchen Sink*.

Siguiendo con el tema de discusión, se presenta la tabla 16 que considera ambos sets de variables.

Tabla 16. Mixed – Asset Allocation

	CER	SR
RW	2.018	0.610
Kitchen Sink	1.434	0.399
Diffusion Index	-4.993	-0.510

Se reporta el Ratio de Sharpe¹⁸ (SR), el cual mide el retorno comparándolo con la desviación estándar de este. Mientras más alto el CER, comparativo a su benchmark, y el ratio de Sharpe, mejor en la variable utilizada para estimar el retorno de un portafolio teórico.

En el caso del ejercicio mix, ninguno de los parámetros logra tener un mejor resultado que el benchmark. Con lo cual, se puede concluir que el Random walk es bastante efectivo, no solo considerando la predicción de la variable de interés, sino que también considerando la construcción de un portafolio teórico.

¹⁸ $SR = \frac{Mean-Rf}{SD}$

Bibliografía

- Abarca, A. M., Alarcón, F., Pincheira, P., & Selaive, J. (2007). Tipo de cambio nominal chileno: predicción basada en análisis técnico. *Economía chilena*, 10(2), 57-80.
- Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Principal component analysis. *Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics*, 2(4), 433-459.
- Appel, G. (1985). *The moving average convergence-divergence trading method: advanced version*. Scientific Investment Systems.
- Cowan, K., Rappoport, D., & Selaive, J. (2007). High frequency dynamics of the exchange rate in Chile. Central Bank of Chile.
- De Gregorio Rebeco, J., González, H., & Jaque, F. (2005). Fluctuaciones del dólar, precio del cobre y términos de intercambio. *Documentos de Trabajo (Banco Central de Chile)*, (310), 1.
- De la Fuente, S. (2011). *Componentes principales*. Madrid: Facultad de Ciencias económicas y empresariales. UAM.
- De Zwart, G., Markwat, T., Swinkels, L., & van Dijk, D. (2007). Chartists and fundamentalists in emerging currency markets. Working Paper). Radboud Universiteit, 1–31.
- Evans, Martin DD, and Richard K. Lyons. "Order flow and exchange rate dynamics." *Journal of political economy* 110.1 (2002): 170-180.
- Evans, Martin DD. "The microstructure of currency markets." *ENCYCLOPEDIA OF FINANCIAL GLOBALIZATION*, Forthcoming (2010).
- Hansen, E., & Morales, M. (2019). When does the Central Bank intervene the foreign exchange market? Estimating a time-varying threshold intervention function. *International Review of Finance*.
- Kristjanpoller, W., & Morales, M. (2011). Teoría de la asignación del precio por arbitraje aplicada al mercado accionario chileno. *Lecturas de Economía*, (74), 37-59.
- Palavecino Rojas, F. (2014). Precio del cobre y mercado accionario chileno.
- Narayan, P. K., Sharma, S. S., Phan, D. H. B., & Liu, G. (2020). Predicting exchange rate returns. *Emerging Markets Review*, 42, 100668.
- Neely, C. J., Rapach, D. E., Tu, J., & Zhou, G. (2014). Forecasting the equity risk premium: the role of technical indicators. *Management science*, 60(7), 1772-1791.
- Yazdi, S. H. M., & Lashkari, Z. H. (2013). Technical analysis of Forex by MACD Indicator. *International Journal of Humanities and Management Sciences (IJHMS)*, 1(2), 159-165.

Yin, L., & Yang, Q. (2016). Predicting the oil prices: do technical indicators help?. *Energy Economics*, 56, 338-350.

Wilder, J. W., & Welles, J. (1978). *New Concepts in Technical Trading Systems* Greensboro. NC: Trend Research, ISBN, 89459027.

Wu, Y. (2013). What explains movements in the peso/dollar exchange rate?.