

Indicadores históricos de volatilidad financiera. Un análisis de desempeño comparado utilizando tipos de cambio nominales

Omar Rilver Velasco Portillo*

RESUMEN

En contextos de elevada volatilidad cambiaria e incertidumbre económica se requiere mejorar el monitoreo al tipo de cambio de mercado. Este trabajo analiza y propone catorce indicadores para medir la volatilidad financiera, aplicados al tipo de cambio nominal en países de América del Sur. En el caso particular de Bolivia, estos indicadores financieros serían de gran utilidad para que la autoridad monetaria pueda minimizar los ataques especulativos, reducir la volatilidad cambiaria, anclar las expectativas del público, en torno a sus anuncios y ser una guía para futuras intervenciones en el mercado de divisas.

Clasificación JEL: *D52, O24*

Palabras clave: *Finanzas, tipo de cambio, volatilidad*

* Es economista, docente de la Universidad Mayor de San Andrés e investigador. Correo electrónico: omarvelasco13@gmail.com

Historical indicators of financial volatility. A comparative performance analysis using nominal exchange rates

Omar Rilver Velasco Portillo*

ABSTRACT

In contexts of high exchange rate volatility and economic uncertainty, it is necessary to improve monitoring of the market exchange rate. This paper analyzes and proposes fourteen indicators to measure financial volatility, applied to the nominal exchange rate in South American countries. In the particular case of Bolivia, these financial indicators would be very useful for the monetary authority to minimize speculative attacks, reduce exchange rate volatility, anchor public expectations regarding its announcements and be a guide for future interventions in the foreign exchange market.

JEL Classification: D52, O24

Keywords: Finance, exchange rate, volatility

* He is an economist, professor at the Universidad Mayor de San Andrés and researcher. Email: omarvelasco13@gmail.com

I. Introducción

Los mercados financieros y de *commodities* se han caracterizado por su alta volatilidad en los últimos años. Esta es una característica de naturaleza compleja propia del mercado financiero, (Bollerslev et al., 2022), (Kwan y Zhang, 2021), (Cont y Mancini, 2020). Entre las causas fundamentales de este aumento en la fluctuación de los precios de activos y bienes reales está: 1) la liberalización y desregulación financiera, 2) las innovaciones tecnológicas, 3) el comportamiento psicológico de los inversionistas, 4) la política monetaria expansionista, 5) el surgimiento de las criptomonedas, entre otras.

Ahora bien, la volatilidad no es una variable observable, directamente, sino que se requiere de una medida para estimarla. En términos puramente estadísticos, la volatilidad puede ser entendida como una medida de dispersión de una cantidad de datos con respecto (o no) a una medida de posición central, que proviene de una determinada distribución frecuentista¹.

En macroeconomía y finanzas, su estimación por lo general, requiere de una colección de datos que reflejen el movimiento de las variables en el tiempo, lo que se alcanza al construir series de tiempo con intervalos fijos de, por ejemplo, días, semanas, meses, etc. Para Poon, (2005) *“el arte de modelar la volatilidad [en finanzas] consiste en explotar las propiedades de las series temporales y los hechos estilizados de la volatilidad de los mercados financieros”*.

Por simplicidad se suele utilizar la desviación estándar para medir la volatilidad de las variables económicas. Empero, esta elección deja de lado otras medidas de dispersión que también reflejan la variabilidad de los datos en el tiempo y que pueden ser más informativas en determinados contextos de inestabilidad. La limitación de utilizar un solo indicador estadístico se debe a que éste suele ser muy sensible a valores extremos. De esa manera, la volatilidad aumentará o disminuirá dependiendo de la magnitud relativa con la que los datos cambien respecto de su promedio.

¹ En tal sentido, está también condicionada a la forma funcional del proceso generador de datos que la origina.

En este documento, se construye una batería de indicadores financieros que miden la volatilidad histórica, tomando al tipo de cambio nominal de los países de la región con respecto al dólar, como variable de análisis. El objetivo es explotar las propiedades financieras del tipo de cambio para analizar su volatilidad en el tiempo y sus consecuencias de política económica.

En el siguiente acápite se comentan, muy brevemente, algunos hechos estilizados de las finanzas con relación a la volatilidad. En la tercera sección, se aborda, desde un punto de vista teórico y metodológico, un set de indicadores financieros para medir la volatilidad histórica, analizando sus ventajas y desventajas. En la cuarta parte se aplica, esos indicadores, a los tipos de cambio de los países de la región utilizando la información disponible en el portal financiero *Yahoo Finance*. En la cuarta parte, se presenta algunos criterios para evaluar las propiedades financieras de los indicadores construidos en base a los hechos estilizados. La quinta y última parte está reservada para las conclusiones y algunas recomendaciones de política.

II. Hechos estilizados de la volatilidad en finanzas

En términos financieros, un activo es más volátil que otro si su precio fluctúa de forma más agresiva, en cualquier dirección, durante un periodo muy corto de tiempo. Una mayor volatilidad tiene consecuencias financieras, porque implica mayor riesgo porque su valor se puede distribuir potencialmente entre un mayor rango de precios, Hull (2002).

El cálculo de la volatilidad en finanzas es fundamental para comparar el rendimiento de una inversión con su riesgo, para calcular la máxima pérdida posible de un activo (*Value at Risk*), sirve como un insumo para la fijación del precio de un activo, también ayuda a determinar los límites de exposición para realizar inversiones (*riskrange*) y porque es un factor determinante en la cantidad de activos líquidos requeridos para cubrir pasivos volátiles.

La volatilidad ha sido incluida en el modelaje financiero desde varios ángulos. Uno de los primeros trabajos en abordarla fue la tesis de Bachelier (1990) titulada "*Théorie de la spéculation*" en la cual desarrolló una teoría matemática del movimiento aleatorio de los precios de los activos y, en la cual, la volatilidad fue aproximada a través de un "coeficiente de nerviosismo e inestabilidad".

Medio siglo más tarde, Markowitz (1952) presentó a la comunidad académica un modelo de selección de cartera que relacionaba el rendimiento de un activo con su riesgo, este último medido a través de la desviación estándar. A este interesante trabajo se sucedieron otros como el modelo de valoración de activos de capital y análisis de cartera (CAPM) de Sharpe (1964), Lintner (1965) y Mossin (1966) y el modelo de valoración de opciones de Black y Scholes (1973), por citar algunos ejemplos. Para Fama (1970) los mercados actuaban de forma eficiente, razón por la cual los periodos de volatilidad estaban caracterizados por la llegada de nueva información al mercado.

A estos desarrollos teóricos, también se acompañó una amplia gama de trabajos empíricos que han buscado identificar, con el correr de los años, algunos rasgos particulares de los mercados financieros vinculados a la volatilidad (Sherkar y Sen, 2023) que son importantes de ser ilustrados.

II.1. La volatilidad no es constante

Una primera evidencia empírica es que la volatilidad de las series financieras no es constante en el tiempo. Debido a que la volatilidad varía en el tiempo, los modelos clásicos de series de tiempo no son adecuados para modelarla. Incluso a pesar que las series sean estacionarias y tengan, por tanto, varianza constante, pueden presentar oscilaciones a corto plazo que es lo que recoge la varianza condicional.

La media condicional de los rendimientos de las variables financieras presenta un “escaso componente predecible” que, normalmente, puede modelizarse mediante procesos autorregresivos y de medias móviles como un AR(1) o MA(1). En finanzas, resulta interesante analizar las medias y las varianzas condicionadas a la información pasada (pronósticos a corto plazo), sin que por ello dejen de ser importantes las estimaciones de medias y varianzas no condicionadas (pronósticos a largo plazo).

II.2. La volatilidad se manifiesta por agrupamientos (clusters)

La volatilidad no se distribuye de manera uniforme a lo largo del tiempo, sino que muestra persistencia. Esta persistencia puede ser fácilmente identificable porque se advierte periodos de alta volatilidad seguidos de

otros de baja volatilidad y nuevamente otro de alta y así sucesivamente, lo que indica la presencia de heterocedasticidad, (Mandelbrot, 1963). Los clusters de volatilidad se deben al hecho que las series financieras no son constantes en el tiempo.

II.3. Asimetría en la volatilidad

La amplia literatura que estudia la volatilidad financiera sugiere que existe una respuesta asimétrica de la volatilidad frente a *shocks* positivos y negativos. La volatilidad tiende a incrementarse menos en respuesta a “buenas noticias” (rendimientos más altos de lo esperado, $u_t > 0$) que a “malas noticias” (rendimientos menores de lo esperado, $u_t < 0$).

Existen varias razones para que la volatilidad pueda ser desigual debido a: 1) el impacto de eventos extremos como conflictos políticos, económicos o sociales inesperados o movimientos bruscos del sistema financiero, 2) comportamiento de los inversores vinculado a su actitud para tomar riesgo, 3) la estructura del mercado que puede limitar las caídas extremas, llevando a rescates anticipados por las autoridades monetarias, 4) expectativas y sentimiento del mercado que pueden ser propensos a cambios repentinos, 5) efectos contagio y de liquidez entre diferentes agentes financieros o diferentes instrumentos.

II.4. Memoria larga

Las series financieras presentan, por lo general, una memoria larga, es decir, las observaciones pasadas tienen un impacto prolongado en las observaciones futuras. Por ello, existe una alta correlación de la volatilidad para periodos muy separados de tiempo.

Gráficamente, un proceso de memoria larga presenta rendimientos que persiguen una distribución que no es normal, sino que presenta colas más anchas y un mayor pico en la media respecto a las que posee una distribución normal, es decir, tienen una distribución leptocúrtica o exceso de curtosis. Esta forma funcional es conocida en el mundo de las finanzas como distribuciones de colas pesadas².

2 Un ejemplo de esta es la cola tipo Pareto que presenta un índice de cola que es finito.

II.5. Efecto de apalancamiento (leverage effect)

El efecto apalancamiento se refiere a la tendencia observada de la volatilidad de un activo a correlacionarse negativamente con los rendimientos del activo. Normalmente, el aumento de los precios de los activos viene acompañado de una disminución de la volatilidad, y viceversa.

III. Indicadores de volatilidad financiera

Cuando se habla de volatilidad, no siempre nos estamos refiriendo a la misma cosa. Si bien la volatilidad puede estar expresada como porcentaje e interpretada como desviación estándar de los rendimientos de un activo financiero (cuánto se mueve un valor durante un período determinado), existen varias nociones de volatilidad que pueden llevar a interpretaciones distintas. Desde un punto de vista puramente financiero la volatilidad puede clasificarse de diversas formas. Entre los tipos de volatilidad, se encuentran la volatilidad realizada, histórica, implícita, relativa, estocástica, estacional. Hay otros tipos de términos, incluida la volatilidad prevista, la volatilidad futura y la volatilidad estadística. En este documento se aborda, muy en particular, la noción de volatilidad histórica, cuya explicación y desagregación es el propósito de esta sección.

La volatilidad histórica es aquella volatilidad observada o realizada, es decir, es aquella que realmente aconteció en un periodo previo al momento de su estimación. Puede calcularse a partir de los movimientos de precios subyacentes, pero la forma más común de calcularla es a través de la desviación estándar de los rendimientos logarítmicos diarios. La Comisión Europea como el *Chicago Mercantile Exchange* (CME) definen la volatilidad histórica como el desvío estándar anualizado de las primeras diferencias en el logaritmo de los precios mensuales. Esta es la razón por la que la volatilidad realizada se denomina, también, como volatilidad estadística.

Para calcular la volatilidad histórica existen varios métodos posibles, pero la gran mayoría dependen de la elección de dos parámetros básicos: 1) el periodo histórico durante el cual se calcula la volatilidad, y 2) el intervalo de tiempo en el que se miden los cambios del activo. Una característica de la volatilidad es que es una proporción de la raíz cuadrada del tiempo. La elección de periodos más amplios tiende a generar mucha más volatilidad, en relación a los periodos reducidos.

Empero, a pesar de ser un concepto intuitivo, bien conocido y de simple aplicación, presenta problemas y en muchos casos podría no ser suficiente. Si un contrato es volátil de un día a otro, es muy probable que sea volátil de una semana a otra, o de un mes a otro. Por otra parte, es importante mencionar el hecho de que dicha estimación no indica la dirección del precio del activo al que se refiere sino cuanto se ha desviado (el precio) de su media histórica. Además, existen diferentes criterios sobre cómo debería ser calculada exactamente. A continuación, un resumen de estos indicadores.

III.1. Volatilidad anualizada

Cuando hablamos de volatilidad de un activo financiero (como acciones, *commodities* o divisas) se las suele expresar en términos de su rendimiento (θ_i) y no de su precio (p_i)³, (Hull, 2002). De esa manera, su cálculo se refiere a la desviación típica de sus retornos medidos como el logaritmo entre dos precios (Cvitanic y Zapatero, 2004).

$$R_i = \ln\left(\frac{p_i}{p_{i-1}}\right)$$

Adicionalmente, se debe establecer un período determinado para el cálculo de la desviación estándar que, a menudo, suele ser de 20 o 21 días (ej. $n = 21$). Una vez realizado dicho cálculo, se debe proceder a su anualización para fines comparativos, lo que se logra multiplicando por la raíz cuadrada del número de días (de negociación) en un año. En este caso, 252 da una raíz cuadrada aproximada de 16. El resultado es una volatilidad histórica anualizada. La fórmula completa de volatilidad histórica anualizada es:

$$\sigma = \sqrt{T} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(R_i - \bar{R})^2}{n-1}}$$

El valor de sigma (σ) es la volatilidad histórica de 1 día, que, para el caso del tipo de cambio, representa una minidepreciación o miniapreciación de la moneda nacional frente al dólar norteamericano.

3 También conocida como volatilidad cercana al cierre (*close to close volatility*).

III.2. Volatilidad de Parkinson

Otro indicador de volatilidad histórica es el propuesto por Parkinson (1980). La volatilidad de Parkinson es una modificación de la volatilidad histórica anualizada, teniendo en cuenta los precios máximos y mínimos de las cotizaciones diarias del tipo de cambio. El cálculo exacto viene explicado por la siguiente fórmula:

$$\hat{\sigma}_P = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N \left[\ln\left(\frac{H}{L}\right) \right]^2}{4 \ln(2)}}$$

Este indicador nace de la crítica a la volatilidad histórica tradicional que sólo toma en cuenta los precios de cierre. La ventaja es que toma en cuenta el rango de precios (máximo, mínimo) del activo financiero que es mucho más informativo de la volatilidad diaria que tomar un solo valor.

III.3. Volatilidad de Garman Klass

El indicador de Garman y Klass (1980) es un estimador de volatilidad que incorpora los precios de apertura (A), mínimo (L), máximo (M) y cierre (P) de un valor. Es una extensión de la volatilidad de Parkinson ya que tiene en cuenta no sólo el precio al principio y al final del intervalo de tiempo sino también los precios extremos intradía.

$$\hat{\sigma}_{GK} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N \frac{1}{2} \left[\ln\left(\frac{H}{L}\right) \right]^2 - (2 \ln(2) - 1) \times \ln\left(\frac{P}{A}\right)^2}{N}}$$

Su ventaja es que hace un mejor uso de la información de precios comúnmente disponibles (incluyendo cierre y apertura), proporcionando una estimación más precisa de la volatilidad. Al igual que el estimador de Parkinson, reduce el sesgo que podría existir al considerar un solo valor para estimar la volatilidad. Su uso está limitado a los activos que tiene la información desagregada de apertura, cierre, máximo y mínimo. Su principal desventaja es que no captura adecuadamente eventos de cola o movimientos extremos en el mercado.

III.4. Volatilidad de David Landry

La volatilidad de Landry (1998) es otro indicador de volatilidad histórica desarrollado por David Landry. La desviación estándar se expresa como un índice dividiendo el valor promedio de la desviación estándar del cambio durante varios períodos cortos sobre la desviación estándar a largo plazo. Posteriormente a ello, se calcula un promedio móvil exponencial. El cálculo es como sigue:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sqrt{\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} (\theta_i - \bar{\theta})^2} & \sigma_2 &= \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} (\theta_i - \bar{\theta})^2} & \sigma_3 &= \sqrt{\frac{1}{n_3} \sum_{i=1}^{n_3} (\theta_i - \bar{\theta})^2} & \sigma_4 &= \sqrt{\frac{1}{n_4} \sum_{i=1}^{n_4} (\theta_i - \bar{\theta})^2} \\ \bar{\sigma}_t &= (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3 \sigma_4 \\ \bar{\sigma}_{EMA_t} &= \bar{\sigma}_{EMA_{t-1}} + (\sigma_t - \bar{\sigma}_{EMA_{t-1}})a \end{aligned}$$

donde:

$\theta_i = \frac{p_i}{p_{i-1}}$ es el cociente entre el precio del día respecto del día anterior

n_1 es el rango de duración de la primera volatilidad

n_2 es el rango de duración de la segunda volatilidad

n_3 es el rango de duración de la tercera volatilidad

n_4 es el rango de duración la volatilidad de más largo plazo

σ_{EMA_t} es la media móvil exponencial del coeficiente de volatilidad

La principal ventaja de este indicador es que suaviza el comportamiento volátil de los datos. Sin embargo, se debe contraponer el tiempo de demora en su cálculo, que es mucho más complejo que el cálculo de una volatilidad histórica simple. Landry sugiere que este es un indicador que de ser tomado como complementario a otros indicadores directos y no como sustituto.

III.5. Rango Promedio Verdadero (ATR)

El *Average True Range* (ATR) mide la volatilidad de cualquier activo financiero. Este indicador fue desarrollado originalmente por Welles

Wilder un famoso trader, desarrollador y analista de materias primas e introducido en 1978. El ATR explota otras propiedades estadísticas además de la desviación estándar a partir de los estadísticos de dispersión tomando el rango y de la posición central a través de la media móvil.

En su cálculo incorpora una brecha llamada *True Range* (TR) que es una medida ajustada de los valores del rango real de un activo que es suavizada a través de un promedio móvil.

El rango de un activo, en un periodo de tiempo determinado, es, simplemente, la diferencia de precios intradía, por ejemplo, precio más alto (H) menos precio más bajo (L). Wilder afirmó que el 'rango real' de un activo debe tener en cuenta los precios de cierre anteriores, de modo que se tengan debidamente en cuenta las diferencias de precios que puedan haberse producido entre periodos.

Existen tres tipos identificados de diferencias en precios: 1) la diferencia entre el máximo (H) y el mínimo actual (L); 2) la diferencia entre el máximo actual (H) y el cierre anterior (C1); y 3) la diferencia entre el mínimo actual (L) y el cierre anterior (C1). El rango verdadero queda definido como la distancia máxima entre estos tres rangos de precios:

$$TR = \text{MAX}\{H - L, H - C1, C1 - L\}$$

El siguiente paso es calcular la media de TR, para lo cual existen tres métodos alternativos: a) la media móvil simple, b) la media móvil exponencial: $a = 2/(n+1)$, y c) el método de suavizado de Wilder con $a = 1/n$.

Método de media móvil simple (SMA)

El método de media móvil simple es el más simple de los tres. El ATR se calcula simplemente como el promedio aritmético del rango real sobre un cierto número de barras japonesas más recientes. La media móvil simple es matemáticamente la media aritmética, es decir, la suma de las últimas n barras dividida por n:

$$ATR = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} TR_i$$

La media móvil exponencial (ATR EMA)

Una media móvil exponencial es un tipo de media móvil ponderada. También se conoce como media móvil exponencial. Su característica principal es que, mientras que la media móvil ponderado lineal tiene una disminución lineal en los coeficientes del día más reciente, la media móvil exponencial ajusta el decaimiento de los coeficientes para que sea exponencial.

El grado de atenuación se denomina factor de suavizado (a), que toma un valor mayor que 0 y menor que 1. En general, se lo calcula como: $a = 2/(n + 1)$. Este factor, otorga mayor peso a las barras más recientes y menor peso a las barras más antiguas⁴.

$$ATR_t = aTR_t + (1 - a)ATR_{t-1}$$

$$ATR_t = ATR_{t-1} + (TR_t - ATR_{t-1})a$$

Método de suavizado de Wilder

Este es el método utilizado originalmente para el cálculo del ATR inventado por Wilder (1978). Tiene la misma lógica que la media móvil exponencial (da mayor peso a las barras más recientes), de la que sólo se diferencia en el cálculo exacto del factor de suavizado: $a = 1/n$

$$ATR_t = aTR_t + (1 - a)ATR_{t-1}$$

$$ATR_{actual} = [(ATR_{anterior} \times (n - 1)) + TR_{actual}] / n$$

No existe un método de cálculo "correcto" o "incorrecto" y ninguno de los métodos es universalmente más rentable que los demás cuando se utiliza ATR como parte del proceso de toma de decisiones de inversión. Cada método conduce a un comportamiento ligeramente diferente del ATR y pueden tener fortalezas y debilidades, dependiendo del propósito particular, el estilo de negociación y las condiciones del mercado.

Debido a que el ATR mide la volatilidad, puede ser muy útil para localizar movimientos de ruptura (*breakouts*) que son algunas de las mejores situaciones para hacer *trading* con activos financieros. Cuando el precio se consolida, el ATR imprimirá valores bajos para denotar un mercado de

4 Cabe hacer notar que para calcular el primer ATR (cuando no se tiene el ATR de la barra anterior), se usa el método de promedio móvil simple.

baja volatilidad. Los periodos de consolidación de precios siempre van seguidos de *breakouts*, que se producen con una alta volatilidad. Después de un período de valores bajos o planos, un aumento del ATR indicará una mayor volatilidad en el mercado y los *traders* pueden planificar cómo operar los *breakouts* resultante.

Las aplicaciones típicas de ATR incluyen la gestión de riesgos, oportunidades de puntos de ruptura, la determinación del tamaño de la posición o el establecimiento de la distancia a un límite de pérdida como un múltiplo de ATR.

A pesar que el ATR es solo una medida de la volatilidad, podría actuar como línea de señal. Por ejemplo, los *traders* pueden colocar una media móvil simple de 20 periodos sobre el ATR y estar atentos a los cruces. Cuando los precios tienen una tendencia alcista, un cruce del ATR por encima de la línea de señal confirmará una tendencia alcista y los *traders* podrían colocarse en posición larga. Del mismo modo, si los precios están a la baja, un cruce de ATR por debajo de la línea de señal confirmará una tendencia bajista y los *traders* podrían colocarse en posición corta.

El ATR es útil para identificar potenciales movimientos explosivos de ruptura de las series. Al seguir el grado de volatilidad de un activo, los indicadores de volatilidad ayudan a los *traders* a determinar cuándo el precio de un activo subyacente está a punto de volverse más esporádico o menos esporádico. Su versatilidad para utilizarse en cualquier periodo de tiempo, desde 1 minuto hasta 1 mes, lo que lo hace útil para cualquier tipo de transacción lo ha popularizado en el mundo de las finanzas.

El tamaño de la posición es un factor esencial en la gestión del riesgo cuando se hace *trading* con activos financieros. La aplicación de tamaños de lote apropiados, en diferentes activos financieros, puede ayudar a los *traders* a minimizar la exposición al riesgo y optimizar su participación en el mercado. Como regla general, los mercados de alta volatilidad deben negociarse con tamaños de lote más pequeños, mientras que los mercados de baja volatilidad pueden negociarse con tamaños de lote más altos. Así, por ejemplo, los activos como el oro y el bitcoin, que tienen valores de ATR más altos, pueden negociarse con tamaños de lote más pequeños, mientras que los activos, como el USDT que imprime valores de ATR más bajos, pueden negociarse con tamaños de lote más grandes.

Una de sus principales ventajas es que la interpretación de los valores del Indicador ATR es sencilla y directa. Cuando la línea del ATR se inclina hacia arriba, implica que la volatilidad del activo subyacente está aumentando; del mismo modo, cuando la línea del ATR se inclina hacia abajo, implica que la volatilidad del activo subyacente está disminuyendo. Los mercados oscilan entre períodos de alta y baja volatilidad y el ATR ayuda a los *traders* a seguir estos cambios. El ATR se utiliza para establecer hasta dónde puede llegar el precio de un activo en un periodo de tiempo determinado.

La principal desventaja de este método es que es altamente sensible al periodo de inicio que se considere, ya que el indicador podría mostrar valores diferentes para un mismo conjunto de datos, dependiendo del periodo de tiempo que se tome. Otro inconveniente es que el ATR puede cambiar debido a un cambio brusco en el *True Range*. Otra desventaja se encuentra en el hecho que ha sido diseñado para medir exclusivamente la volatilidad, pero no es un indicador que dé noción sobre la dirección de la tendencia o el impulso. Al no ser un indicador de tendencia, es posible que la volatilidad sea baja o alta durante cualquier tendencia.

III.6. Bandas de Bollinger

Las bandas de Bollinger (2002) es una herramienta que consiste en hallar una media móvil simple de los precios de una acción o índice de los últimos n -periodos (por ejemplo, $n = 20$) a la que se le suma y resta dos o tres veces (según el nivel de confianza deseado) la desviación típica del mismo periodo para obtener unos límites superior e inferior que, suponiendo el comportamiento de los precios como una distribución normal, marcan el límite que podría alcanzar la cotización.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\theta_i - \bar{\theta})^2}$$

A partir de esta desviación típica, se calcula las bandas de Bollinger que actúan como límites de la siguiente forma:

$$LI = \bar{\theta} - 2 \sigma$$

$$LS = \bar{\theta} + 2 \sigma$$

Las bandas de Bollinger son un buen oscilador para movimientos laterales y para observar la volatilidad de un valor a partir de la proximidad de las bandas. Empero, no son capaces de indicar el momento de rebote cuando hay una tendencia continua a mediano y largo plazo.

III.7. Canales de Donchian

Los canales de Donchian (1974), o *Donchian Channels*, es un indicador de volatilidad que, sencillamente, establece un canal alrededor de los precios basándose en el valor máximo y el valor mínimo de un periodo predeterminado (normalmente de 20 días). Fue diseñado por Richard Donchian, pionero en desarrollar sistemas automáticos de seguimiento de tendencias.

Es un indicador que delimita el impacto del precio respecto a la variación generada dentro de un periodo determinado. Su aspecto es similar a las bandas de Bollinger y, como éstas, acota los precios dentro del margen de amplitud del periodo, lo que permite observar la volatilidad actual, así como establecer niveles de soporte y resistencia dinámicos.

Este indicador puede proporcionar información sobre los periodos de alta y baja volatilidad, así como ayudar a determinar los puntos de entrada y salida óptimos. También puede utilizarse como parte de un sistema de *trading* mucho más complejo.

El cálculo del indicador consta de tres líneas: 1) un canal superior (CS), que traza el precio más alto observado, durante un periodo de tiempo determinado, y se mantiene en el mismo nivel hasta que se alcanza un nuevo máximo, 2) un canal inferior (CI), que funciona de forma similar. Alcanza el valor mínimo a medida que el precio desciende y se mantiene en el mismo nivel hasta que se alcanza un nuevo mínimo, y 3) un canal medio (CM), que se sitúa entre las dos anteriores. Las fórmulas de valores son como sigue:

Canal inferior	Canal superior	Canal medio
$CI = \sum_{i=1}^{i=n} \min p_i$	$CS = \sum_{i=1}^{i=n} \max p_i$	$CM = (CI + CS)/2$

La utilidad de este indicador es que se lo utiliza para localizar momentos de ruptura de precios. El sistema *Donchian Channel* utiliza esta estrategia de entrada, cuando opera a favor de la dirección de ruptura. Un *trader* opera con una posición larga con la ruptura de la banda superior del canal. En cambio, entra en posición corta con la ruptura de la banda inferior del canal. Las cadenas de Donchian también son útiles para establecer el momento de salida cuando los precios alcanzan el *stop loss*⁵ fijado, o se produce una señal contraria y por tanto se cambia la posición.

Al igual que todos los anteriores, los canales de Donchian no están libres de desventajas y limitaciones ya que puede generar numerosas señales falsas, con cierto retraso. La efectividad de este indicador depende del periodo de tiempo elegido para su cálculo ya que periodos muy cortos pueden ser más propensos a reportar señales falsas mientras que periodos muy largos pueden retrasar las señales de entrada o salida.

III.8. El Índice de Volatilidad de Gopalakrishnan (GAPO)

Es un indicador oscilador de la volatilidad que estima, de forma cuantitativa, el cambio del instrumento basándose en el logaritmo del rango comercial para un período de N días. Este índice fue desarrollado por Jayanthi Gopalakrishnan en la edición de enero de 2001 de la revista *STOCKS & COMMODITIES*, en base a los trabajos de Mandelbrot para medir el carácter dinámico de los mercados financieros de acciones y materias primas.

El indicador calcula su valor durante un período de tiempo determinado (por defecto, 14 períodos) utilizando únicamente el precio de la acción o activo, (Gopalakrishnan, 2001). El GAPO se calcula de la siguiente manera:

$$GAPO = \left(\frac{\log(H_n - L_n)}{\log(n)} \right)$$

donde: H es el valor máximo durante el tiempo establecido (n), L es el nivel mínimo durante el tiempo establecido (n) y n es el tiempo establecido.

Muestra si un mercado es de naturaleza fluida o errática. Esto facilita que los inversores tomen decisiones informadas sobre sus inversiones. Si la

5 El *stop loss* establece un parámetro de pérdida máxima soportada antes de cancelar la operación

diferencia de precios entre los máximos más altos y los mínimos más bajos de un período específico aumenta, entonces este indicador aumentará, porque al aumentar la diferencia, el valor también aumentará. El valor calculado también aumenta, es por eso que esta línea indicadora se elevará para coincidir con el valor calculado.

Si esta línea indicadora es estable, entonces puede encontrar el punto más alto y el más bajo, por lo que en esta situación puede usar el punto más alto como zona de resistencia y el punto más bajo como zona de soporte. Para las operaciones intra diarias, puede comprar cerca del punto más bajo del precio de la acción y vender cerca del punto más alto del precio de la acción.

El GAPO es útil para medir el rango de precios de un período específico con facilidad. Por ejemplo, cuando los indicadores suben, significa que el rango de precios está aumentando. Al contrario, este indicador será mínimo cuando el rango de precios sea bajo en un período de tiempo específico.

El valor del indicador GAPO cambiará cuando el mercado registre un nuevo máximo o mínimo en el período específico. Por lo tanto, cuando el mercado no supera un máximo o mínimo de un período específico, el valor del indicador se mantendrá estable y el cambio del precio de las acciones en el mercado no reflejará este indicador.

Sin embargo, este indicador es sensible a los datos históricos, presenta una interpretación relativamente compleja. A diferencia de otros indicadores de volatilidad, el GAPO no proporciona señales de compra o venta. Tampoco resulta útil este instrumento en mercados que se mueven lateralmente, es decir que no tienen una tendencia clara.

III.9. Canal de Keltner

Es un indicador sustituto a las Bandas de Bollinger. Mide los movimientos de precios en relación a los mínimos y máximos en bandas de medias móviles. Su nombre se debe a Chester W. Keltner quien lo inventó. Se utiliza un promedio móvil del precio típico (\bar{p}), y dos líneas adjuntas que se derivan del promedio máximo-mínimo de los últimos N días y el promedio móvil básico. Una versión más sofisticada incluye una media móvil exponencial y donde las líneas adjuntas son calculadas a partir de

un ATR. Se calcula a partir de las siguientes fórmulas:

$$\bar{p} = (\text{Máximo} + \text{Mínimo} + \text{Cierre}) / 3$$

$$ATR_t = aTR_t + (1 - a)ATR_{t-1}$$

Límite inferior	Límite superior	Valor central
$LI = \bar{p} - 1.5 ATR$	$LS = \bar{p} + 1.5 ATR$	$VC = \bar{p}$

En cuanto a su interpretación, si el precio cierra por encima de la banda superior y se mantiene, estaremos en presencia de una tendencia al alza, en caso contrario, si los precios cierran y se mantienen por debajo de la banda inferior, entonces tendremos una formación de la tendencia a la baja. Su efectividad depende del periodo utilizado ya que, como ocurre con otros indicadores basados en medias móviles, las señales pueden venir con cierto retraso. También influye el multiplicador del ATR utilizado.

Alguna de sus desventajas es que, en mercados sin una tendencia clara, los canales de Keltner pueden generar falsas señales de ruptura, llevando a los *traders* a entradas o salidas prematuras.

III.10. Índice de Volatilidad Relativa (RVI)

El Índice de Volatilidad Relativa (*Relative Volatility Index*) fue desarrollado por Donald Dorsey en 1993. Es un indicador de volatilidad de mercado, el cual compara la magnitud de los cierres positivos y negativos del mismo activo en cierto periodo.

Se calcula como el promedio simple de dos medias móviles exponenciales. Cada media móvil refleja la volatilidad del activo financiero, ya sea en un patrón de tendencia positiva (σ_1) o en otro de tendencia negativa (σ_2). Las fórmulas son las siguientes:

$\sigma_1 = \begin{cases} 1 & p_i > p_{i-1} \\ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2} & p_i > p_{i-1} \\ 0 & p_i < p_{i-1} \end{cases}$	$\sigma_2 = \begin{cases} 0 & p_i > p_{i-1} \\ 1 & p_i < p_{i-1} \\ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2} & p_i < p_{i-1} \end{cases}$
$EMA_{1t} = (\sigma_{1t-1} + EMA_{1t-1}(n-1))/n$	$EMA_{2t} = (\sigma_{2t-1} + EMA_{2t-1}(n-1))/n$

$$RVI = \left(\frac{EMA_{1t}}{EMA_{1t} + EMA_{2t}} \right)$$

La ventaja principal de este indicador del análisis técnico consiste en que esta herramienta fue desarrollada en base al Indicador de Fuerza Relativa (RSI). En efecto, el indicador RVI es un indicador de volatilidad y no así un oscilador clásico. Empero, para un uso óptimo de este indicador puede combinar sus señales con las de otros osciladores como es el RSI⁶.

III.11. Índice de amortiguación

El índice de amortiguación o *Damping Index* popularizado por McKallip (1992) es un indicador que analiza las fluctuaciones del rango de precios intradía. Si el rango de precios aumenta, el valor aumentará; si se reduce, el valor caerá.

Para su cálculo se utiliza la media móvil de la diferencia entre el precio máximo y mínimo tomando un número de periodos determinado (5 periodos). El indicador es el resultado de este cociente para un periodo de tiempo hacia atrás, dividido por el valor de este mismo indicador de hace 5 periodos atrás para producir el índice de amortiguación. Las fórmulas son:

$$\bar{R}_i = \frac{1}{n_1} \sum_{i=0}^{n_1} (H - L)_i$$

$$DI_i = \frac{R_{i-1}}{\sum_{i=-1}^{-n_2} \bar{R}_i}$$

El *Damping Index* es útil para medir la estabilidad del mercado (volatilidad y consistencia) porque permite identificar cambios en la volatilidad sujeto a movimientos bruscos de precios y ajustar las estrategias de *trading*.

Una de sus desventajas es la complejidad de su cálculo y su interpretación en estrategias de mercado que pueden resultar más complejas. Al igual que otros indicadores, en mercados sin tendencia clara, este indicador

6 Así, por ejemplo, si el indicador RSI supera el nivel del 70% (zona de sobrecompra), y el indicador RVI también supera el mismo valor (70%), esto será una fuerte señal de que el crecimiento del precio finalizará pronto y comenzará el proceso de caída. Asimismo, si los valores de los indicadores RSI y RVI descienden debajo del 30%, es decir se ubican a la zona de sobreventa, hay que estar preparados a una pronta subida del precio. Partiendo de ello, la combinación de estos indicadores será una herramienta más efectiva que por separados.

puede generar señales falsas y a diferencia de otros, no genera señales claras de compra o venta.

III.12. Índice de Volatilidad de Chaikin

La volatilidad de Chaikin (1983) mide, principalmente, la volatilidad de los precios. Este índice se obtiene comparando la diferencia entre una serie de precios altos y bajos de los valores del activo que se esté analizando. Se llama volatilidad de Chaikin porque fue desarrollada por Marc Chaikin.

La volatilidad de Chaikin es la tasa de cambio entre el promedio móvil exponencial de la diferencia entre los precios máximo y mínimo de N días y el de hace M días. Este indicador mide la diferencia entre dos medias móviles. Se diferencia del ATR porque no tiene en cuenta los *gaps* de precios.

Para su cálculo, se computa, primero, un promedio móvil exponencial *EMA* (R_t) de la diferencia entre los precios máximos (H) y mínimos (L) diarios⁷. Después, se calcula el porcentaje que este promedio móvil ha cambiado durante un período de tiempo específico. Se lo calcula de la siguiente manera:

$$R_N = H - L$$

$$\bar{R}_N = \bar{R}_{N-1} + (R_N - \bar{R}_{N-1})a$$

$$\overline{CV}_t = \frac{(\bar{R}_N - \bar{R}_{N-M})}{\bar{R}_{N-M}}$$

El indicador suele fluctuar en torno a cero, y los valores altos indican que los precios están cambiando bruscamente en comparación con el pasado reciente. Los valores bajos de este indicador denotan que los precios son estables y están más o menos estancados. Una desventaja de este indicador es que no indica la dirección del mercado, por lo que se recomienda utilizarlo en combinación con otros indicadores

III.13. Indicador de volatilidad Tman

La fluctuabilidad del mercado también se puede visualizar calculando la relación entre la desviación estándar del precio alto sobre el precio

⁷ Chaikin recomienda una media móvil de 10 días.

bajo de un activo respecto de la desviación estándar del precio de cierre del día actual sobre el precio de cierre del día anterior (Tman, 2009). El valor aumenta a medida que aumenta el rango de precios intradía lo que implica mayor volatilidad. La fórmula de este indicador es la siguiente:

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{H}{L} \right)_i - \overline{\left(\frac{H}{L} \right)} \right)^2} \qquad \sigma_2 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\theta_i - \bar{\theta})^2}$$

$$tMAN = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$$

III.14. Filtro Horizontal Vertical

El Oscilador VHF (*Vertical Horizontal Filter*) es un indicador financiero utilizado en el análisis bursátil para medir la tendencia y la volatilidad de un mercado financiero. Fue desarrollado por Adam White en la década de 1990. El Oscilador VHF se basa en la relación entre la amplitud vertical y horizontal de los precios. Su objetivo principal es determinar si el mercado está en una fase de tendencia o en una fase de consolidación.

El cálculo del indicador VHF abarca varios pasos: 1) se calcula la diferencia absoluta entre el precio más alto y el precio más bajo en un período determinado (generalmente se utiliza un período de 12 y 28 días); 2) se calcula la suma de las diferencias absolutas en los últimos n períodos; 3) se calcula la diferencia absoluta entre el precio de cierre actual y el precio de cierre n períodos atrás; 4) se divide la suma de las diferencias absolutas por la diferencia absoluta entre el precio de cierre actual y el precio de cierre n períodos atrás; finalmente, 5) se multiplica por 100 para obtener su resultado.

$$UU = \max_{i=1..n} H$$

$$LL = \min_{i=1..n} L$$

$$VHF = \frac{\sum_n Abs(UU - LL)}{\sum_{i=0}^{i=n} |p_i - p_{i-1}|} \times 100$$

El Oscilador VHF oscila entre 0 y 100. Un valor por encima de 50 indica que el mercado está en una fase de tendencia, mientras que un valor por

debajo de 50 indica que el mercado está en una fase de consolidación. La principal desventaja de este indicador es la complejidad de su cálculo.

IV. Datos y estimaciones

El análisis financiero requiere, por lo general, de una gran cantidad de información en unidades de tiempo reducido. A fin de testear las fórmulas antes expuestas, se utiliza la información financiera, provista por el portal financiero *Yahoo Finance*, sobre tipos de cambio nominal de las monedas domésticas de los países del cono sur: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Perú, Paraguay y Uruguay⁸, respecto del dólar estadounidense.

Los datos recogidos corresponden a las cotizaciones de apertura, cierre, máximo y mínimo proveniente de las transacciones efectuadas por internet y que son registradas por *Yahoo Finance*. A fin de validar la información financiera de este portal, también se construyó series históricas similares con los tipos de cambio de venta oficial provistos por las autoridades monetarias de cada país (Apéndice A). En todos los casos encuentra una elevada concordancia entre ambas series, casi perfecta, lo que valida el uso de la información utilizada en este estudio. Cabe señalar que este mismo análisis financiero no podría ser replicado con la información exclusiva otorgada por los bancos centrales de cada país que no proporcionan la misma desagregación requerida de precios intradía.

Las series comienzan en noviembre de 2010. La selección de esta fecha fue intencional ya que considera un año antes desde que la economía boliviana adoptara una paridad fija con el dólar estadounidense a partir del 2 de noviembre de 2011⁹. La elección de este periodo tiene como fin realizar un análisis del desempeño cambiario boliviano comparado con el resto de economías vecinas.

A partir de la información recolectada se construyeron las series de volatilidades cambiarias en base a los indicadores anteriormente anunciados. Las series de tiempo y sus gráficos permiten ilustrar los

8 Venezuela no forma parte de la lista por la información reducida y los diferentes tipos de cambio que ha tenido en los últimos años. También se excluye a Ecuador porque su economía está dolarizada.

9 La elección de un año previo al cambio de régimen *ad-hoc* se debe a que varios de los indicadores financieros requieren un periodo base.

periodos de mayor volatilidad cambiaria en los países de la región, incluyendo Bolivia.

Los periodos identificados tienen en común que están relacionados a situaciones de corrida de depósitos u otro tipo de inestabilidad en el sistema financiero, crisis políticas o sociales, inestabilidad macroeconómica, en general, proveniente de fuentes externas, e incluso a causa de la propia pandemia del COVID-19. En el Apéndice B se presenta los gráficos pertinentes.

Los países que presentan menor volatilidad histórica son Bolivia, seguida de Paraguay y Uruguay. Destacan estos dos últimos países a pesar de tener regímenes cambiarios flotantes. Los países con mayor volatilidad cambiaria son Perú, Colombia, Chile, Brasil y Argentina. Este indicador permite advertir periodos de excesiva volatilidad cambiaria en periodos específicos como en Colombia, en septiembre de 2014, Chile, en diciembre de 2016, Uruguay, en junio de 2020 y, más recientemente, en Argentina, en diciembre de 2023.

El indicador de Garman y Klass identifica otros periodos de volatilidad cambiaria excesiva en los mercados como los ocurridos en Colombia, en junio de 2012, Uruguay, desde diciembre de 2016, Argentina, en septiembre de 2018 y 2019, en Bolivia, en enero de 2018, Perú, en octubre de 2013.

Según el indicador de Parkinson, la volatilidad cambiaria se habría incrementado en la última década en Argentina, Chile, Colombia, Uruguay, aunque se advierte una leve reducción en los últimos años.

Según el Indicador de Laundry, todos los países han sufrido *clusters* de volatilidad cambiaria bastante marcados. El índice Gapo confirma aumentos en la volatilidad cambiaria en Argentina y Chile, y una reducción, en los últimos años, en Brasil y Paraguay. El resto de países, incluyendo Bolivia, muestran una relativa estabilidad cambiaria respecto a sus valores históricos.

El índice de ATR, por su parte, provee información sobre periodos de extrema volatilidad cambiaria en la región. Por ejemplo, diciembre 2023, en Argentina, noviembre 2017, en Bolivia, marzo 2020, en Brasil y Uruguay, diciembre 2019, en Chile, diciembre 2019, en Colombia, entre los más

relevantes. El índice de volatilidad relativa guarda gran similitud con los sucesos de inestabilidad cambiaria en Argentina, Brasil, Chile y Uruguay.

El índice de volatilidad de Chaikin advierte que los mercados cambiarios sujetos a eventos extremos puntuales fueron Perú y Paraguay. Les sigue Bolivia que, a pesar de mantener un tipo de cambio oficial estable durante la década anterior, no estuvo exenta de un periodo de estrés cambiario entre finales de 2012 y principios de 2013. Este indicador también revela que, en relación a la década anterior, varios países han logrado gestionar de mejor manera su volatilidad cambiaria.

Bajo el indicador de Tman también se identifica tensiones cambiarias en algunos periodos específicos como en mayo 2011, en Uruguay, diciembre 2010, en Perú, en noviembre 2021, en Paraguay, en enero 2008, en Colombia, en abril 2017, en Chile, en noviembre 2012, en Brasil, en febrero 2023, en Bolivia y en septiembre 2020, en Argentina. Empero, este indicador contrasta con los periodos de mayor estrés cambiario identificado con el indicador VHF cuyos periodos sólo coinciden con el de Tman para Brasil, en octubre de 2013, Perú, en diciembre de 2010 y Uruguay, en enero de 2019.

En cuanto a los indicadores que miden la volatilidad, a partir de bandas y canales, tenemos el indicador de bandas de Bollinger, canales de Donchian y canales de Keltner que también identifican sus propios periodos de mayor fluctuabilidad cambiaria. Estos tres indicadores resultan ser parecidos para el caso de Argentina, en diciembre 2023 y octubre 2013, en el Perú. Existen similitudes para Bolivia, para el periodo de junio 2022, en Brasil, y septiembre-noviembre 2022 en Colombia, marzo-abril 2020 en Uruguay utilizando las últimas dos metodologías.

El resumen de los indicadores y sus años de mayor volatilidad son presentados en el Cuadro 1.

Cuadro 1: PERIODOS DE MAYOR TURBULENCIA CAMBIARIA SEGÚN LOS INDICADORES FINANCIEROS

	Indicadores	Argentina	Bolivia	Brasil	Chile	Colombia	Paraguay	Perú	Uruguay
1	Volatilidad anualizada	nov-2016 ago-2019 dic-2023	dic-2011 mar-2012 dic-2015	oct-2015 jun-2017 may-2020	dic-2016	mar-2014 jul-2014 ago-2015	feb-2012 jun-2012 mar-2013	feb-2014 jun-2018 abr-2020	jul-2012 jul-2013 abr-2020
2	Volatilidad de Parkinson	abr-2018 sep-2019	nov-2011 mar-2015 dic-2015	ene-2011	nov-2010	dic-2010 jul-2012	sep-2011 abr-2016	nov-2010	oct-2019
3	Volatilidad de Garman Klass	sep-2018 sep-2019	ene-2018	sep-2011 feb-2012 jun-2017	dic-2019 sep-2022	jun-2012 jul-2016	ago-2011 abr-2017	oct-2013	ene-2017 mar-2020
4	Volatilidad de David Landry	dic-2023	ago-2019	feb-2012 may-2017	dic-2016 jul-2022	jul-2014 ago-2024	ene-2011 dic-2020	feb-2014 mar-2020	jun-2012 ene-2023
5	Volatilidad de Gopalakrishnan (GAPO)	dic-2023	ago-2013 ene-2024	sep-2011 mar-2020	mar-2013 dic-2019	sep-2012 mar-2020	nov-2013 mar-2017 ene-2021	sep-2012 oct-2013	feb-2012 oct-2016 mar-2020
6	Rango Promedio Verdadero (ATR)	dic-2023	oct-2017 ene-2018	sep-2015 mar-2020	dic-2016 dic-2019 jul-2022	may-2019 mar-2020	may-2012 dic-2015 ene-2021	oct-2013	ene-2017 oct-2019 mar-2020
7	Bandas de Bollinger	dic-2023	oct-2013 sep-2017 may-2019	ago-2017 jun-2019	ago-2017 may-2019	sep-2013 sep-2014 may-2019	oct-2013 ago-2017 may-2019	oct-2013 nov-2017 may-2019	jun-2019
8	Canales de Donchian	dic-2023	dic-2015 nov-2022	may-2020	jun-2022	mar-2020 sep-2022	jul-2014 abr-2020 nov-2022	nov-2011 nov-2013	mar-2020
9	Canal de Keltner	dic-2023	feb-2018 nov-2022	jun-2020 oct-2022	dic-2019 jun-2022	abr-2020 nov-2022	feb-212 abr-2021	oct-2013 oct-2022	ene-2017 abr-2020
10	Índice de Volatilidad Relativa (RVI)	dic-2023	may-2012	jun-2019	ene-2017 dic-2019 jul-2022	mar-2020 jul-2022	abr-2017 may-2021 ene-2023	feb-2014 jul-2018 abr-2020	may-2018 mar-2020
11	Índice de amortiguación	ago-2019 dic-2023	oct-2011 dic-2011 nov-2013	sep-2011 may-2015 abr-2022	oct-2011	feb-2014 jul-2014	sep-2011	mar-2011	sep-2011 mar-2022
12	Índice de Volatilidad de Chaikin	may-2018 ago-2019	feb-2012 dic-2012 abr-2023	sep-2011 mar-2020	ene-2011 oct-2011	dic-2011 sep-2014	abr-2013 abr-2023	ene-2011 mar-2012	ene-2011 may-2012 abr-2023

13	Indicador de volatilidad Tman	ago-2015 sep-2020 nov-2021	mar-2015 mar-2019 feb-2023	mar-2011 nov-2012 oct-2013 may-2017	abr-2017 may-2019 nov-2013	ene-2018	jul-2015 jun-2018 nov-2021	dic-2010	may-2011 jul-2017 ene-2019 dic-2022
14	Filtro Horizontal Vertical	may-2014	mar-2015 ago-2018	nov-2012 oct-2013 oct-2023	mar-2014	mar-2012 ene-2022 jun-2024	ene-2011	nov-2010 nov-2013	ene-2019 ene-2022 feb-2024

Fuente: Elaboración propia

V. Criterios de evaluación

A fin de evaluar las propiedades financieras de los indicadores de volatilidad cambiaria antes señalados, se realizó un análisis individual para cada uno de los indicadores, tomando en cuenta cinco propiedades financieras: 1) captura del *cluster* de volatilidad, 2) respuesta asimétrica, 3) memoria larga, 4) tendencia determinística y 5) efecto de apalancamiento. El resultado de la evaluación se presenta en el cuadro N°2.

Cuadro 2: EVALUACIÓN DE LOS INDICADORES DE VOLATILIDAD FINANCIERA PARA EL TIPO DE CAMBIO

Indicadores	Captura Clúster de volatilidad	Respuesta asimétrica en la volatilidad	Memoria larga	Tendencias determinísticas	Leverage Effect
Volatilidad anualizada	si	si	no	no	no 3_/ 7_/
Volatilidad de Parkinson	no	no	si	si 2_/	no 3_/ 4_/ 5_/
Volatilidad de Garman Klass	si	si	si	no 4_/ 5_/ 8_/	no 4_/ 6_/
Volatilidad de David Landry	si	no	no	no	si 1_/ 6_/ 8_/
Volatilidad de Gopalakrishnan (GAPO)	si	si	si	si 2_/ 6_/ 7_/	no 7_/
Rango Promedio Verdadero (ATR)	si	si	no	no	no
Índice de amortiguación	si	si	no	no	no 2_/ 6_/
Bandas de Bollinger	no	no	si	si 2_/	si 1_/

Canales de Donchian	no	no	si	si 2_/	si 1_/
Canal de Keltner	no	no	si	si 2_/	si 1_/7_/
Índice de Volatilidad Relativa (RVI)	si	si	si	no	si
Índice de Volatilidad de Chaikin	si	si	si	no	no 2_/
Indicador de volatilidad Tman	si	si	si	no	si 1_/2_/5_/
Filtro Horizontal Vertical	si	si	si	no	no 2_/5_/7_/

Fuente: Elaboración propia
 1_/ Excepto Argentina
 2_/ Excepto Bolivia
 3_/ Excepto Brasil
 4_/ Excepto Chile
 5_/ Excepto Colombia
 6_/ Excepto Perú
 7_/ Excepto Paraguay
 8_/ Excepto Uruguay

La mayoría de estos indicadores son útiles para capturar periodos de agrupamiento de la volatilidad. También proveen información sobre respuesta asimétricas entre apreciaciones y depreciaciones. La mayoría de los indicadores poseen memoria larga de los datos. Por otro lado, casi ninguno de ellos presenta tendencia determinística. También se advierte que, en los contextos de inestabilidad cambiaria, el efecto apalancamiento puede ser contrario porque los retornos especulativos están directamente correlacionados con el tipo de cambio.

VI. Consideraciones de política económica

Bolivia está atravesando una escasez aguda de divisas que ha derivado en la conformación de un mercado paralelo donde la divisa norteamericana se cotiza por encima del tipo de cambio oficial. Este mercado está altamente influenciado por factores especulativos que han hecho que el precio del dólar fluctúe de manera elevada. Tal es así que, a finales del mes de julio y principios del mes de agosto de 2024, el tipo de cambio paralelo llegó a superar el cien por ciento de su valor en el mercado oficial. Posterior a ello,

sobrevino un retroceso del tipo de cambio especulativo presentándose un *overshooting* (Velasco, 2024).

Frente a este contexto de inestabilidad cambiaria que vive la economía boliviana, es necesario reforzar el monitoreo del tipo de cambio en los mercados paralelos identificando posibles ataques especulativos y cambios de tendencia en el mercado informal y financiero paralelo. Asimismo, es importante comenzar a repensar el régimen cambiario en Bolivia de manera que el Banco Central de Bolivia recupere ciertos grados de libertad en la definición del tipo de cambio, al menos parcialmente. Finalmente, es fundamental trabajar en instrumentos de cobertura de riesgo cambiario que amortigüen los impactos negativos de las oscilaciones del tipo de cambio sobre las carteras de inversión y ahorro de los ciudadanos bolivianos. A todos estos propósitos, el análisis financiero presentado en este documento podría ser altamente útil.

En el contexto reciente, la economía boliviana se ve afectada por ataques especulativos que se podrían ir intensificando a medida que nos acercamos más a las elecciones generales de octubre de 2025. La formación de un mercado paralelo para el dólar obliga a la autoridad monetaria hacer un seguimiento más estricto al comportamiento del tipo de cambio en el mercado financiero e informal. El análisis financiero se constituye en un buen complemento al análisis econométrico para tener una visión más completa de la volatilidad financiera sobre el tipo de cambio.

Cuando la volatilidad de un activo se está incrementando, o es más alta de lo normal, ello podría implicar que los precios están moviéndose al alza o a la baja más rápido de lo normal, lo cual podría ser un indicio de "cambio de expectativas" con respecto al activo, en este caso sobre la divisa. Esta información podría ser recogida por los hacedores de política para medir la temperatura del mercado cambiario y sus tendencias de muy corto plazo.

Asimismo, el hecho que en Bolivia se haya levantado la restricción en el uso de criptomonedas, obliga a las autoridades nacionales a reforzar su seguimiento al comportamiento del mercado de divisas y, muy particularmente, de aquellas criptomonedas que están relacionadas con divisas tradicionales. Tal es así que, una extensión natural de este trabajo, podría ser el cálculo de la volatilidad implícita de los bolivianos al dólar a

partir del dinero virtual estable como es el caso de los *stablecoins* como el dólar virtual de Tether (USDT) que podría ser un factor clave para capturar -de manera indirecta- las expectativas del mercado cambiario en Bolivia.

La menor proporción de liquidez en divisas en relación al total de reservas internacionales también hace necesario para que la autoridad monetaria tenga un manejo más eficiente de los saldos en efectivo, y es allí donde el análisis de volatilidad cambiaria cobra nuevamente importancia.

Los indicadores de volatilidad cambiaria son una herramienta práctica no sólo para *traders* que buscan gestionar el riesgo y proteger posiciones en mercados volátiles, sino que puede ser utilizado por el propio hacedor de política cambiaria para monitorear la volatilidad y decidir los momentos de intervención en el mercado cambiario.

Ante una eventual transición de régimen cambiario en Bolivia, el nuevo régimen permitiría mayor fluctuación del dólar que lleve a la autoridad monetaria a realizar intervenciones en el mercado cambiario, en aras de estabilizar la moneda nacional. Estos indicadores financieros propuestos podrían ser de mucha utilidad para determinar el momento oportuno de las intervenciones, establecer el tamaño de las ofertas de divisas, dimensionar la pérdida máxima de divisas en un día, dotarle de información valiosa a las autoridades económicas sobre las señales del mercado frente a cambios en las expectativas y anuncios de política económica.

Así, por ejemplo, si el Banco Central de Bolivia determinara optar por un régimen de flotación libre o sucia con intervenciones no anunciadas, el monitoreo a estos indicadores de volatilidad cambiaria le permitiría mejorar el momento oportuno de sus intervenciones en el mercado cambiario y establecer niveles máximos (mínimos) de pérdidas (ganancias) de reservas contribuyendo a la fijación de un tipo de cambio más estable.

Por ejemplo, las Bandas de Bollinger, los canales de Donchian o los canales de Keltner son indicadores útiles que podrían delimitar zonas de resistencia (punto más alto) y zona de soporte (punto más bajo) para determinar el rango de las intervenciones cambiarias y que no necesariamente estén asociadas a un régimen de bandas fluctuantes.

Los procesos de inestabilidad cambiaria también suelen estar asociados a *clusters* de volatilidad. El Filtro Horizontal Vertical, índice de Laundry y GAPO son útiles para identificar si un mercado cambiario está experimentando presiones alcistas o bajistas del tipo de cambio o se encuentra en un proceso de estabilidad cambiaria.

El ATR es ventajoso para identificar potenciales movimientos explosivos que pueden derivar en ataques especulativos. En sesiones de adjudicación de divisas, este indicador -así como otros que se derivan de éste como los índices de RVI y Volatilidad de Chaikin- podrían ser altamente informativos sobre el rango de dispersión de la cotización del tipo de cambio. Estas herramientas ayudarían a detectar estrategias de *trading* y especulación. Las posturas de oferta de divisas por parte de la autoridad monetaria podrían estar determinadas en función al valor del ATR para minimizar el drenaje de divisas por motivos especulativos.

Si bien, en el análisis tradicional de la política cambiaria, se tiende a monitorear los desalineamientos del tipo de cambio real respecto a sus fundamentos de largo plazo, se deja de lado la importancia de hacer seguimiento a la volatilidad cambiaria. La capacidad para pronosticar la volatilidad es esencial para el éxito de la estabilidad cambiaria. Es allí donde el análisis financiero de la volatilidad debe ser además complementado con otros indicadores financieros como la fuerza de tendencia, indicadores de oscilación, índice de fuerza relativa, entre otros.

La creación de un mercado de opciones de liquidación de dólares a futuro podría ser un paso para mejorar las coberturas de riesgo cambiario que actualmente existen en el país y un medio para reducir las exposiciones cortas y un mecanismo para proteger la bolivianización.

En un contexto de incertidumbre cambiaria, la estimación de estos indicadores de volatilidad financiera será de alta utilidad para determinar el precio de estos instrumentos de cobertura de riesgo cambiario en el mercado de las opciones.

VII. Conclusiones

Los indicadores de volatilidad financiera ayudan a medir con mayor propiedad la volatilidad cambiaria, al permitir capturar de mejor forma la

volatilidad intra diaria, en comparación con los tradicionales indicadores que se construyen a partir de los precios de cierre. En un contexto de volatilidad cambiaria reciente, el uso de herramientas financieras que capturan la volatilidad del tipo de cambio es necesario para entender el comportamiento del mercado.

El cálculo de estos indicadores está limitado a activos que tienen la información desagregada de apertura, cierre, máximo y mínimo para su cálculo. Empero, la existencia de un mercado paralelo y de dinero virtual hace posible su cálculo por la autoridad monetaria.

Este documento presenta 14 indicadores de volatilidad financiera para monitorear el tipo de cambio en la economía boliviana a fin de identificar. Este *paper* identifica aquellos momentos de mayor inestabilidad cambiaria en la región a partir de diferentes indicadores financieros.

Un aspecto relevante es que, con independencia del régimen cambiario *ad hoc* de los países de la región, todos han presentado situaciones de estrés cambiario asociadas a factores económicos, políticos y sociales claramente identificados. A excepción del inicio de la pandemia o la crisis financiera global de 2008, no se ha encontrado patrones homogéneos nítidos entre los procesos de volatilidad cambiaria en un país respecto de otro, lo que quiere decir que la fluctuabilidad cambiaria está determinada principalmente por factores intrínsecos a cada economía doméstica.

Cómo ya se mencionó, los episodios de pánico o crisis están acompañados de excesiva volatilidad macrofinanciera. Las variables económicas son altamente sensibles a eventos políticos, económicos, sociales que elevan la incertidumbre, afectando directamente a los niveles de volatilidad.

Sin embargo, el uso de los indicadores financieros no es una panacea ya que existen, en algunos casos, similitudes y, en otros, divergencia entre indicadores. A la luz de estos resultados, se concluye que el uso de indicadores financieros para el monitoreo del mercado de divisas es importante, pero estos indicadores deben ser tomados, no de forma excluyente, sino complementaria a otras estrategias de análisis monetario y cambiario.

Mientras algunos indicadores se concentraron en identificar los periodos de máxima volatilidad cambiaria, otros advierten periodos de extrema

volatilidad cambiaria, u otros donde la volatilidad se agrupa segmentando la serie entre periodos de estabilidad y otros de inestabilidad cambiaria.

Todos los indicadores mostraron tener propiedades estadísticas financieras deseables para un mejor monitoreo de la volatilidad del tipo de cambio que debe ser evaluada por la autoridad monetaria ante una eventual modificación de la política cambiaria en Bolivia.

Referencias Bibliográficas

BACHELIER, Louis, 1990. Theory of Speculation. En: COOTNER, Paul, ed. *The Random Character of Stock Market Prices*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, pp. 17 - 77

BANCO CENTRAL DE BRASIL, Estadísticas económicas. Disponible en: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/historicocotacoes>

BANCO CENTRAL DE CHILE, Estadísticas e indicadores. Disponible en: <https://si3.bcentral.cl/indicadoressiete/secure/Serie.aspx?>

BANCO CENTRAL DEL PARAGUAY, Estadísticas monetarias. Disponible en: <https://www.bcp.gov.py/webapps/web/cotizacion/monedas-historica>

BANCO CENTRAL DE LA REPÚBLICA ARGENTINA, Estadísticas económicas. Disponible en: https://www.bkra.gov.ar/PublicacionesEstadisticas/Cotizaciones_por_fecha.asp

BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ, Estadísticas económicas. Disponible en: <https://estadisticas.bcrp.gov.pe/estadisticas/series/diarias/tipo-de-cambio>

BANCO CENTRAL DEL URUGUAY, Estadísticas e indicadores. Disponible en: <https://www.bcu.gub.uy/Estadisticas-e-Indicadores/Paginas/Cotizaciones.aspx>

BLACK, Fischer and SCHOLES, Myron, 1973. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 81 (3), pp. 637 - 654. ISSN en línea: 1537-534X. Disponible en: <https://doi.org/10.1086/260062>

BOLLERSLEV, Tim, TAUCHEN, George and ZHOU, Hao, 2022. Expected Stock Returns and Variance Risk Premia. *The Review of Financial Studies*, 22 (11), pp. 4463 - 4492. ISBN en línea: 1465-7368. Disponible: <https://doi.org/10.1093/rfs/hhp008>

BOLLINGER, John, 2002. *Bollinger on Bollinger Bands*. United States of America: McGraw-Hill. ISBN 978-0-07-137368-5

CHAIKIN, Marc, 1983. Volatility Index: A New Approach to Market Volatility. *Technical Analysis of Stocks and Commodities*, 1 (5), pp. 34 - 39

DORSEY, Donald, 1993. The Relative Volatility Index. *Technical Analysis of Stocks & Commodities*, 11 (6), pp. 21 – 26. Disponible en: <https://technicaltraders.com/archive/archivelogin.asp?file=\V11\C06\THERELA.pdf&src=SC>

GARMAN, Mark and KLASS, Michael, 1980. On the Estimation of Security Price Volatilities from Historical Data. *The Journal of Business*, 53 (1), pp. 67 - 78. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2352358>

GOPALAKRISHNAN, Jayanthi, 2001. Gopalakrishnan Range Index. *Technical Analysis of Stocks and Commodities – Magazine Edition*, 19 (1), pp. 14 - 21. Disponible en: <https://technicaltraders.com/archive/archivelogin.asp?file=\V19\C01\003GOPA.pdf&src=SC>

GOPALAKRISHNAN, Jayanthi, 2000. Vertical Horizontal Filter. *Technical Analysis of Stocks and Commodities – Magazine Edition*, 18 (7), pp. 85 - 90. Disponible en: <https://technicaltraders.com/archive/archivelogin.asp?file=\V18\C07\063VERT.pdf&src=SC>

HULL, John, 2002. Valoración de opciones sobre acciones: el modelo Black-Scholes. En: HULL, John, *Introducción a los mercados de futuros y opciones*. 4ta edición. España: Pearson Educación, pp. 263 – 287. ISBN 9788420533865

KELTNER, Chester, 1960. *How to make money in commodities*. Kansas City: Keltner Statistical Service. ISBN 1110000067753

LANDRY, David, 1998. A Volatility Trade in Gold. *Technical Analysis of Stocks and Commodities – Magazine Edition*, 16 (7). Disponible en: <https://technicaltraders.com/archive/archivelogin.asp?file=\V16\C07\055VOLA.pdf&src=SC>

LINTNER, John, 1965. The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets. *The Review of Economics and Statistics*, 47 (1), pp. 13 - 37. ISSN en línea: 1530-9142. Disponible en: <https://doi.org/10.2307/1924119>

LUX, Thomas and MARCHESI, Michele, 2000. Volatility clustering in financial markets: A microsimulation of interacting agents. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 3 (4), pp. 675 – 702. ISSN en línea: 1793-6322. Disponible en: <https://doi.org/10.1142/S0219024900000826>

MALKIEL, Burton and FAMA, Eugene, 1970. Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *The Journal of Finance*, 25 (2), pp. 383 – 417. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1970.tb00518.x>

MANDELBROT, Benoit, 1963. The Variation of Certain Speculative Prices. *The Journal of Business*, 36 (4), pp. 394 - 419. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2350970>

MARKOWITZ, Harry, 1952. Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7 (1), pp. 77 - 91. ISSN en línea: 1540-6261. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1952.tb01525.x>

MCKALLIP, Curtis, 1992. The Damping Index. *Technical Analysis of Stocks and Commodities – Magazine Edition*, 10 (5), pp. 45 - 50. Disponible en: <https://technical.traders.com/archive/archivelogin.asp?file=\V10\C07\DAMPING.pdf&src=SC>

MOSSIN, Jan, 1966. Equilibrium in a Capital Asset Market. *Econometrica*, 34 (4), pp. 768 - 783. ISSN en línea: 1468-0262. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/1910098>

NATENBERG, Sheldon, 1994. Volatility. En: NATENBERG, Sheldon, *Option Volatility and Pricing. Advanced Trading Strategies and Techniques*. United States of America: McGraw-Hill, pp. 51 – 79. ISBN 1-55738-486-X

PARKINSON, Michael, 1980. The Extreme Value Method for Estimating the Variance of the Rate of Return. *The Journal of Business*, 53 (1), pp. 61 - 65. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2352357>

PERRUNA, Christopher, 2007. Donchian's 5 and 20 day Moving Averages. En: *chrisperruna.com*. Disponible en: <https://www.chrisperruna.com/2007/09/24/donchians-5-and-20-day-moving-averages/>

POON, Ser-Huang, 2005. *A Practical Guide to Forecasting Financial Market Volatility*. England: John Wiley & Sons Ltd. ISBN 10 0-470-85613-0

SHARPE, William, 1964. Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. *The Journal of Finance*, 19 (3), pp. 425 - 442. ISSN en línea: 1540-6261. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1964.tb02865.x>

SHERKAR, Vaibhav and SEN, Rituparna, 2023. Study of Stylized Facts in Stock Market Data. *arXiv*, pp. 1 – 23. Disponible en: <https://arxiv.org/pdf/2310.00753>

TMAN, I., 2009. Volatility Measurement and Analysis in Financial Markets. *Journal of Financial Studies*, 25 (3), pp. 123 - 145

VÉLIZ, Juan, 2024. Entrevista al economista Omar Velasco Portillo: La especulación del dólar ha llegado al límite y da un respiro al Gobierno para contener el incremento, afirma economista. Disponible en: <https://eju.tv/2024/08/la-especulacion-del-dolar-ha-llegado-al-limite-y-da-un-respiro-al-gobierno-para-contener-el-incremento-afirma-economista/>

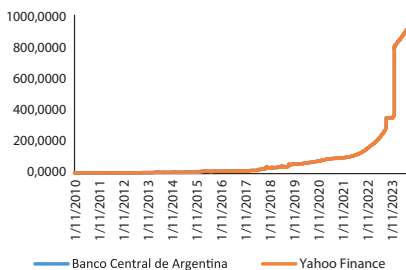
WILDER, Welles, 1978. *New Concepts in Technical Trading Systems*. North Carolina: Hunter Publishing Company. ISBN 0-89459-027-8

APÉNDICES

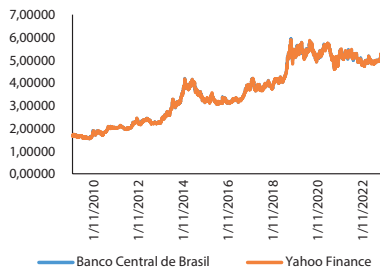
Apéndice A

DATOS COMPARATIVOS ENTRE EL PORTAL DE YAHOO FINANCE Y BANCOS CENTRALES

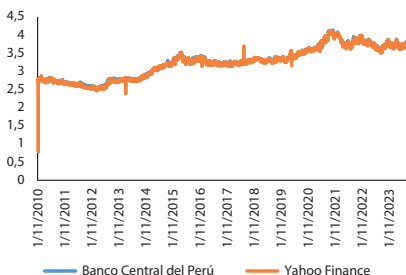
Argentina: Tipo de cambio nominal



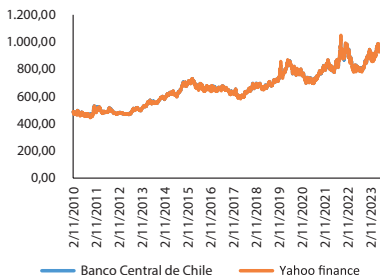
Brasil: Tipo de cambio nominal



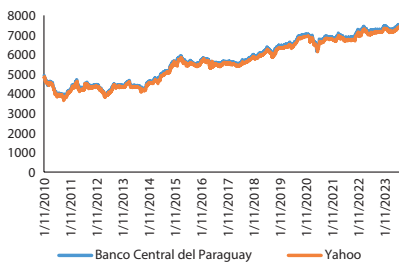
Perú: Tipo de cambio nominal



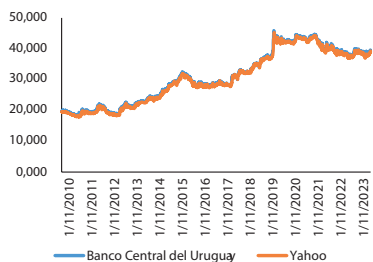
Chile: Tipo de cambio nominal



Paraguay: Tipo de cambio nominal

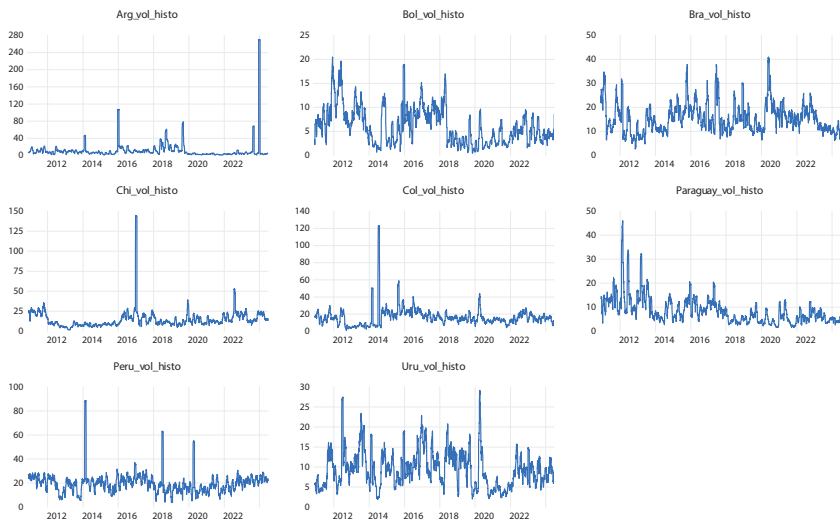


Uruguay: Tipo de cambio nominal

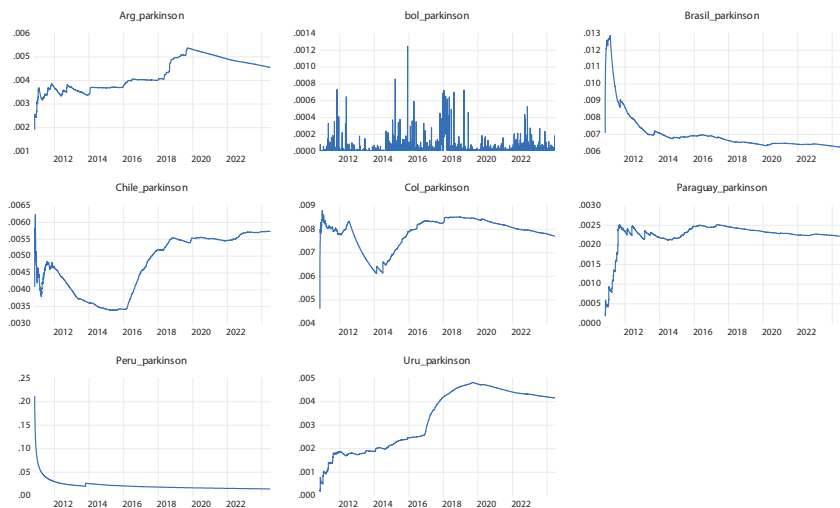


Apéndice B

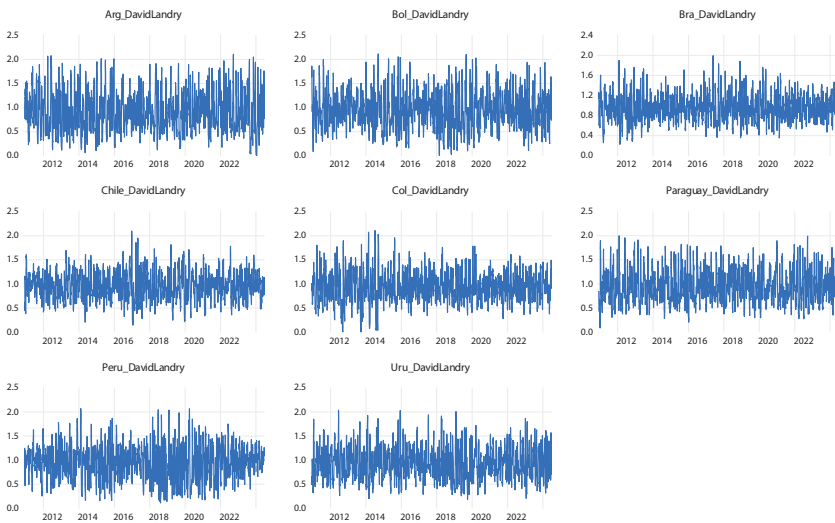
Volatilidad histórica



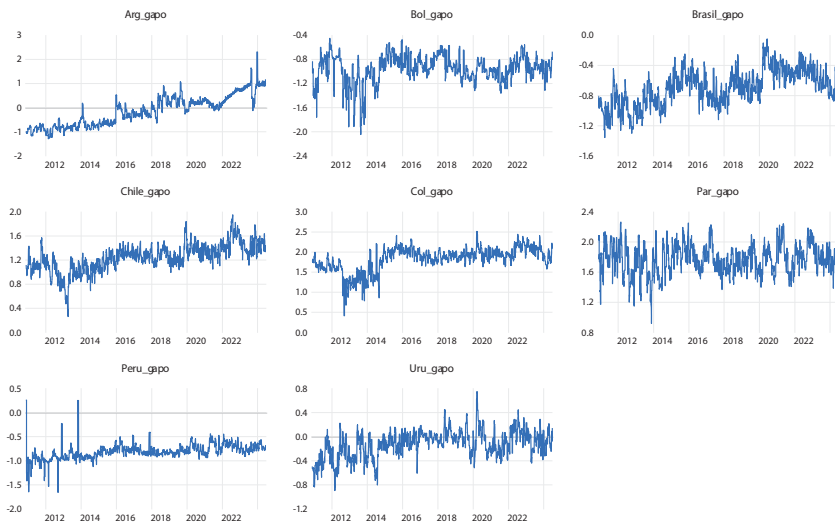
Volatilidad de Parkinson



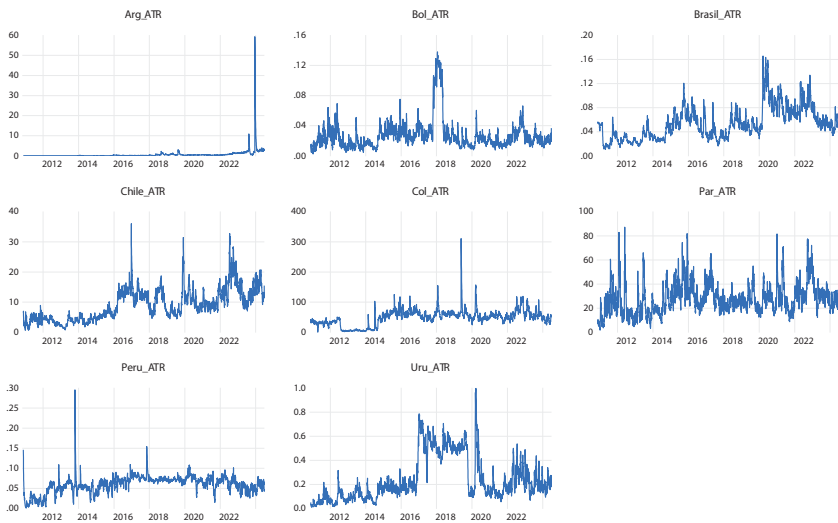
Indicador de Laudry



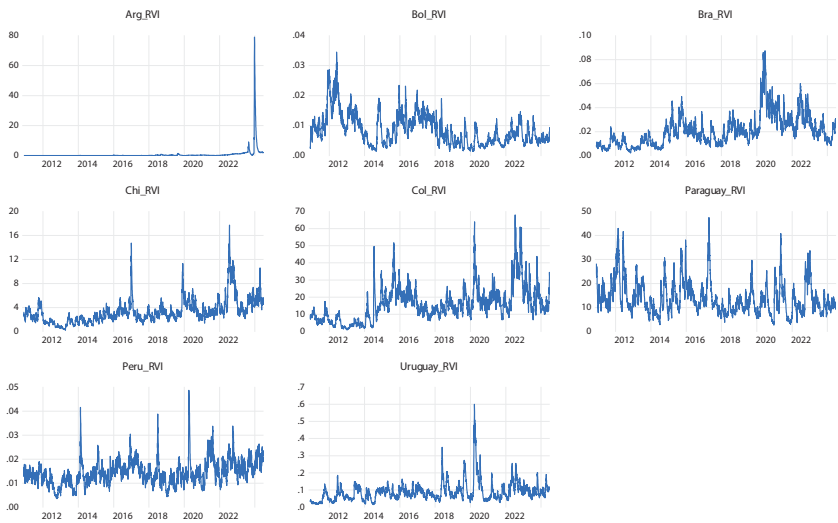
Índice GAPO



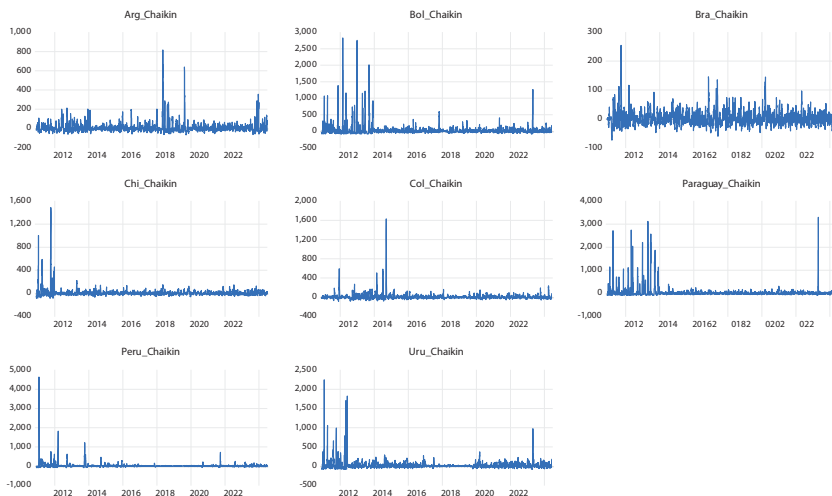
Indicador de ATR



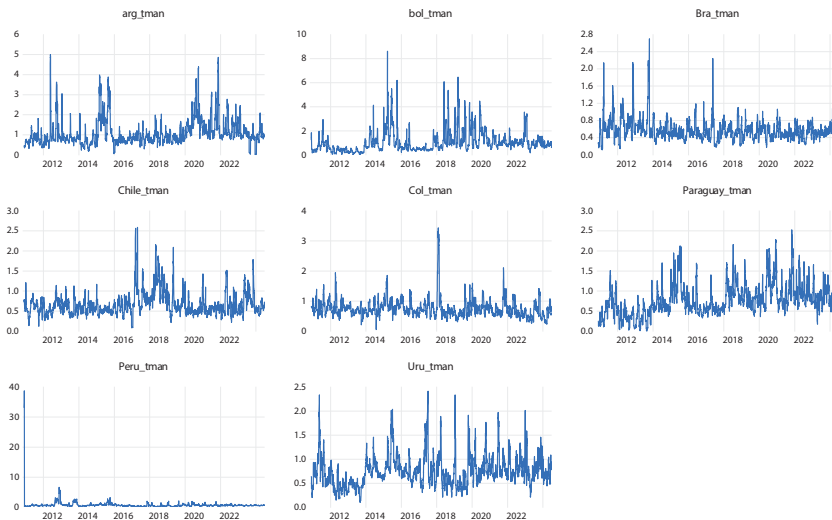
Índice de Volatilidad Relativa



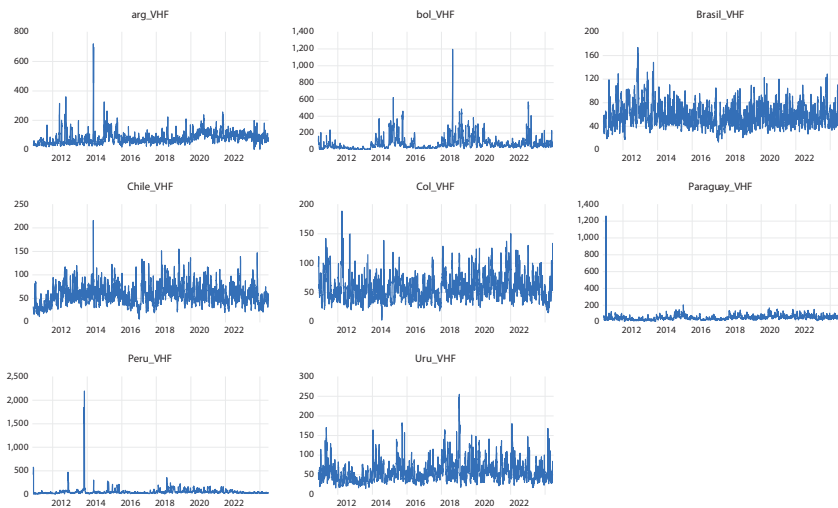
Índice de volatilidad de Chaikin



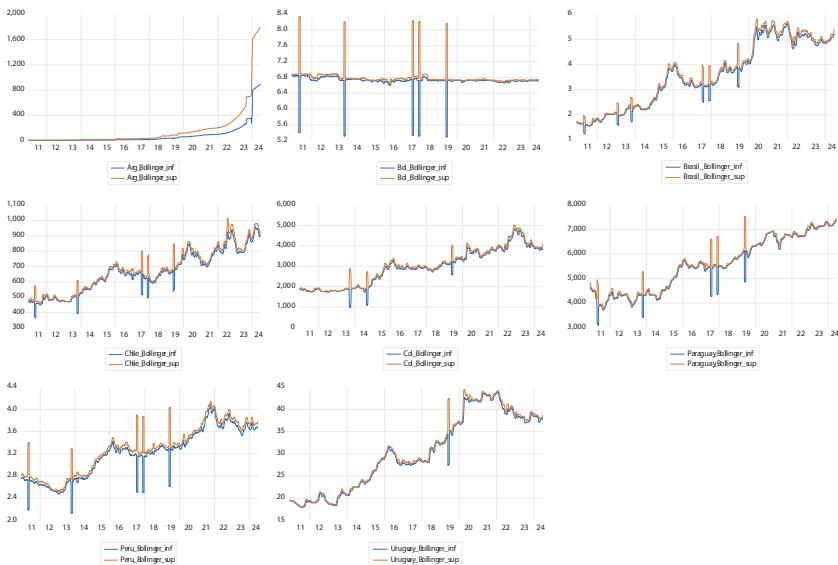
Indicador de Tman



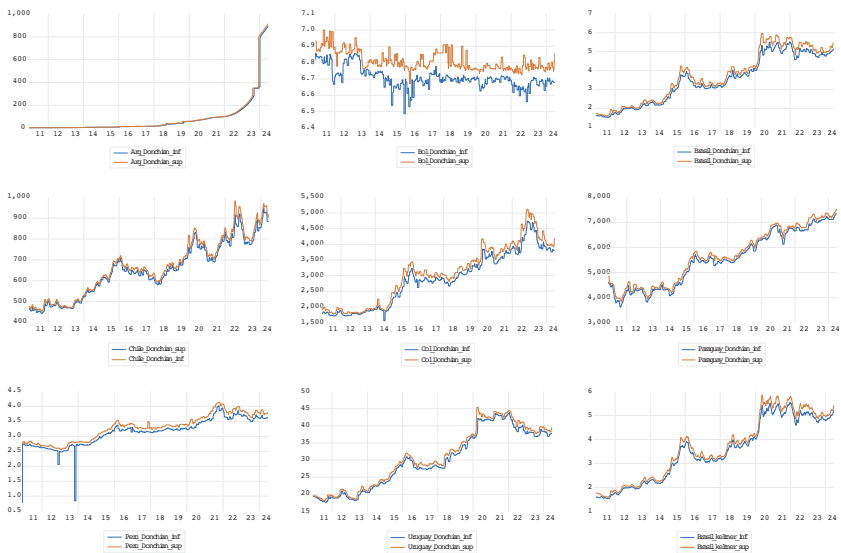
Indicador de Volatilidad VHF



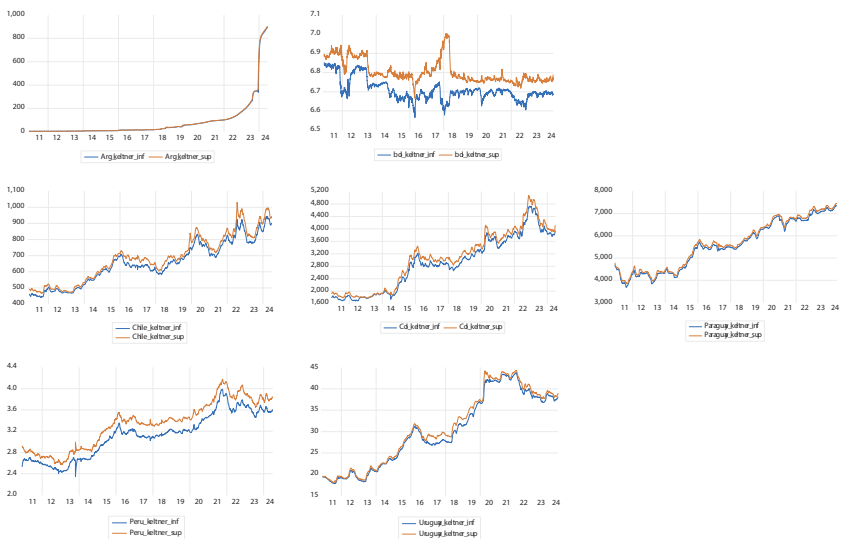
Bandas de Bollinger



Canales de Donchian



Canales de Keltner



Índice de Volatilidad de Garman Klass

