

Estimación y relación de persistencia de memoria en variables de contagio y mercado

Guillermo Sierra Juárez*

(Recibido: junio, 2021/Aceptado: octubre, 2021)

Resumen

El presente trabajo es una aplicación de la metodología de Rango Reescalado (*R/S*) para la determinación del coeficiente Hurst en el caso de las variables representativas de los mercados financiero de Estados Unidos y México, así como en el crecimiento en los contagios de COVID-19 a nivel mundial, de Estados Unidos y México. Dentro de las principales aportaciones del trabajo se debe mencionar que la persistencia de memoria en los rendimientos financieros y los incrementos de contagios para los casos mundial y de Estados Unidos son mayores que los correspondientes respecto a México. Además otro resultado importante es que durante los períodos de mayor contagio del COVID-19, la memoria de las series en contagios y rendimientos también son mayores en los casos mundial, de Estados Unidos y de México. Adicionalmente los coeficientes de correlación entre exponentes Hurst es mayor entre las series de salud para los tres casos que cuando se comparan con los coeficientes Hurst de las series financieras.

Palabras clave: COVID-19, coeficiente Hurst, mercado financiero.

Clasificación JEL: E44, C65.

* Profesor-investigador en la Universidad de Guadalajara, Departamento de Métodos Cuantitativos CUCEA, <gsierraj@cucea.udg.mx>.

Estimation and relation of memory persistence in contagion and market variables

Abstract

This work is an application of the methodology Rescaled Range (R/S) for the determination of the Hurst coefficient in the case of the representative variables of the financial markets in the United States and Mexico, as well as in the growth in COVID-19 infections worldwide, in the United States and Mexico. One of the most important results, there is greater memory persistence in financial returns and contagions in the world case and in the United States than with respect to Mexico. Another important result is that during the periods of greatest contagion of COVID-19, the memory of the series in infections increase in the world, United States and Mexico. Additionally, the correlation coefficients between Hurst exponents are higher for the health series for the three cases than when compared with the Hurst coefficients of the financial series.

Keywords: COVID-19, Hurst coefficient, financial market.

JEL classification: E44, C65.

1. Introducción

Con la aparición de la pandemia de COVID-19 en el 2020 resurgió el interés en entender si existe una relación entre el comportamiento de mercados financieros y otros efectos como puede ser el crecimiento en contagios en momentos de pandemias. En las enfermedades transmitidas por contagios, estos se producen a través de organismos microscópicos y de persona a persona. Por otro lado, en el caso de contagios financieros el comportamiento de contagio más bien puede ocurrir por medio de comunicaciones electrónicas, como las redes sociales o de bien de persona en persona.

Esta última pandemia no solo ha impactado al sector real de la economía, sino también a los mercados financieros como pocas veces se ha visto en el pasado, ha sido devastador en todo el mundo y su impacto no solo inmediato sino de mediano plazo y largo plazo.

Un punto de vista complementario al estudio de los contagios es analizar y comparar la persistencia o antipersistencia en el comportamiento histórico de las series de rendimientos de los mercados financieros, así como en el crecimiento en el número de contagios y defunciones producidos por la pandemia del COVID-19.

La llegada de la epidemia a países de occidente, principalmente a Estados Unidos y Europa, así como la declaración formal de la pandemia de COVID- 19 por parte de la Organización mundial de Salud (OMS) y de sucesos económico-financiero como fueron: el movimiento de la tasa de interés por parte de la Reserva Federal de Estados Unidos, la guerra en los precios del petróleo, entre otros, han sido causantes de una gran recesión en el mundo.

Por otro parte, con la aplicación de la metodología de Rango Reescalado (*R/S*) de la teoría de fractales para la determinación del coeficiente Hurst se revela la posibilidad de un comportamiento de memoria larga o antipersistencia en alguna de las variables de mercado y en algunas de las variables relacionadas con el contagio representativas de México, de Estados Unidos y del mundo.

El objetivo del presente trabajo es medir la persistencia o antipersistencia, recordando que a mayor persistencia o mayor memoria en una serie, un hecho o choque del pasado tendrá efectos en el presente y en el futuro y de forma contraria entre menos persistencia, menor dependencia del pasado y más aleatorio son los hechos futuros sobre las series temporales. Para la medición de esta propiedad se utilizó la metodología de (*R/S*) en la serie de incrementos del crecimiento de contagios y fallecimientos del COVID-19 y en las series de rendimientos de índices de bolsa en los mercados financieros en el mundo y en particular de Estados Unidos y México durante el 2020 e inicios del 2021.

La actual propuesta se encuentra distribuida de la siguiente manera: en la sección presente se hace una introducción de los objetivos, del tema y objetivos del artículo. En la segunda sección se revisa la literatura relacionada con el tema Hurst aplicado al tema de mercados y COVID-19. Posteriormente en la sección 3 se presenta los modelos propuestos donde el cálculo del coeficiente se aplica la metodología Rango Reescalado (*R/S*) propuesta por el mismo Hurst y en la última sección 4 se muestran los resultados obtenidos para finalmente mencionar las conclusiones.

2. Revisión de la literatura

En la siguiente sección se presenta una revisión de la literatura del tema de salud relacionado a la pandemia del COVID-19 y sus efectos en los mercados, además de las publicaciones importantes del tema del exponente Hurst, así como de la relación entre las series de salud, financiera y exponentes Hurst.

Como se mencionó anteriormente, el presente trabajo analiza el estudio de series con persistencia o memoria de variables considerado un tema dentro de la teoría de fractales. El trabajo seminal que dio origen a este tema fue el estudio sobre hidrología y su novedosa metodología de Rango Reescalado (*R/S*)

de Hurst (1951) para la estimación del coeficiente del mismo nombre. Además es importante considerar los artículos clásicos de Mandelbrot (1968) y (1982) y sobre todo los libros de Peters (1991) y (1994) son una referencia importante sobre las ideas, técnicas y conceptos de los mercados fractales y resumen el estado del arte actual de las teorías de fractales y caos y su relación con los mercados financieros.

Sobre la misma línea, uno de los primeros trabajos sobre el tema es el de Palomas (2002) sobre la aplicación del método (*R/S*) para la determinación del coeficiente Hurst para el caso de variables financieras de México.

Por otro lado, en el tema del impacto del COVID-19 en la economía y la finanzas, a pesar de ser un hecho relativamente reciente, ha sido ya objeto de varias publicaciones y continuará siendo objeto de más estudios debido a su importancia. En los siguientes párrafos se presenta una revisión de trabajos relacionados con la propagación de la pandemia y de los costos asociados a ese evento.

En el artículo de Bondestein *et al.* (2020) se menciona que la opinión general es que el COVID-19 ha causado un choque negativo de la oferta en el mundo. El autor propone que una disrupción en la oferta causada por la epidemia de coronavirus pudiera causar un caída en la demanda agregada. En ese caso, intervenciones fiscales y monetarias pueden ser necesarias para prevenir el choque de oferta negativo por la dispersión en una afectación del desempleo y productividad.

El trabajo menciona, que si bien el distanciamiento social ha reducido la pérdida de vidas, ya que los individuos infectados pudieran tener menor contacto con el resto de la población, esto ha tenido altos costos sociales y económicos.

En la investigación que hace Okorie *et al.* (2021) se estudia el efecto de contagio fractal del COVID-19 en los mercado financieros, analizan a partir de una correlación cruzada móvil el caso de los mercados en 32 economías afectadas en una muestra ex-ante y ex-post del brote de COVID-19. Se confirma un efecto de contagio fractal de la pandemia COVID-19 en los mercados de valores y sus efectos de contagio fractal se desvanece tanto para los rendimientos de mercados como en la volatilidad.

En Arouxet *et al.* (2020) se examina la memoria de largo plazo y volatilidad de los rendimientos de series de alta frecuencia de monedas virtuales en el periodo analizado pre y post COVID-19 y utiliza un transformación *wavelet* que es más robusta que el exponente Hurst. Los autores mencionan que la memoria de los rendimientos se modifica medianamente durante el pico de la pandemia, pero afecta más la volatilidad y la estructura de correlación de largo plazo.

Por otro lado, en el tema económico, Barua (2020) explica que el choque macroeconómico de la pandemia en la oferta, la demanda, las cadenas productivas,

el comercio, las inversiones, los nivel de precios, los tipos de cambio, la estabilidad financiera, el riesgo, el crecimiento económico y revisa la evidencia en relación al entendimiento de la naturaleza de los impactos. El trabajo ilustra el posible impacto usando el modelo macroeconómico y las políticas necesarias diseñadas para la respuesta por instituciones gubernamentales.

En Zavarce (2020) se aplica el exponente Hurst al cambio en los nuevos casos de infectados de las series temporales del COVID-19 de Venezuela. El trabajo parte de la hipótesis de que la propagación del COVID-19 puede analizarse en función en función del crecimiento de nuevos casos diarios de contagio empleando el método de Rango Reescalado (R/S) que permite calcular el exponente Hurst e inferir las correlaciones de largo plazo. Inicialmente se examinara el origen de las correlaciones con grandes fluctuaciones y posteriormente la series de casos nuevos de COVI-19 en Venezuela para establecer relaciones de largo plazo e inferir sobre la persistencia de las mismas.

En el artículo Swetadri *et al.* (2020) se revisa la autosimilitaridad y el análisis de escalamiento de nuevos casos del COVID-19 en países como Estados Unidos, Brasil, India, Rusia, España, Reino Unido, Alemania y Francia. Con la intención de reducir la incertidumbre se toman la referencia de siete promedios móviles y se investiga la naturaleza fractal por medio del método Higuchi. El estudio no muestra tasas constantes de infección, sino muestra perfiles dependientes en las diferentes ventanas de tiempo de esos países. Finalmente, hacen un esfuerzo para predecir un escenario de resultados para los países considerados dentro de un nivel asignado de pre-tolerancia con las últimas tasas de crecimiento exponencial. Los resultados no son persistentes en muchos casos, lo que dificulta el impacto de predicciones futuras.

En Laktyunkin *et al.* (2020) se analizan las series financieras y se da una retrospectiva de la correlación entre exponente Hurst y el precio de los activos de los principales índices de Rusia. El estudio revisa desde la crisis financiera de hace 20 años e incluye todos los eventos del 2020 originados por la pandemia del COVID-19. Se analiza con la metodología de Rango-Reescalado (R/S) los precios de cierre de los índices MICEX y RTS. Los valores de los precios reales se comparan con el exponente Hurst y algunas otras características posteriores que fueron descubiertas, en muchos casos incluyendo la crisis 2020 muestran tendencia del exponente Hurst a 0.5 antes de la ocurrencia del colapso que indican cambios entre la proporción de inversionistas de corto y largo plazo.

En Álvarez *et al.* (2008) se revisa el comportamiento dinámico de los mercados accionarios con análisis de fluctuaciones sobre ventanas móviles del Dow Jones Industrial (DJ) y Standard and Poors (S&P 500). Los resultados muestran que el exponente Hurst exhibe un comportamiento dinámico alternando episodios entre altos y bajos de comportamiento persistente y el mayor

rompimiento de largo plazo ocurre al final del sistema Bretton Woods cuando el sistema salta de tendencia positiva a negativa, además analizan otras crisis financieras importantes en la historia reciente.

3. Modelo

Haciendo una revisión histórica, recordemos que el científico británico Harold Edwin Hurst (1880-1978) trabajaba en el proyecto de construcción de la presa del río Nilo cuando se le presentó el interesante problema de determinar la capacidad de almacenamiento para la construcción de una presa. Con anterioridad, se había hecho el supuesto que el comportamiento del influjo seguía un proceso aleatorio. Sin embargo, a Hurst no le convencía esta explicación ya que en los registros históricos que mantenían los egipcios se observaba que en el proceso los flujos más grandes del promedio eran seguidos por sobre flujos todavía más grandes, inesperadamente el proceso cambiaba a flujos menores que el promedio y eran seguidos por flujos todavía menores que los anteriores.

En Hurst (1951) se encontró que la longitud de los ciclos no era periódica y un análisis estándar revelaba la no existencia de correlación estadísticamente significativa entre las observaciones, por lo que Hurst desarrolló su propia metodología conocida como Análisis de Rango Reescalado (R/S), cuyo coeficiente o exponente conocido como Hurst, es una medida de independencia de las series de tiempo y una manera de distinguir series fractales.

Un fractal es un conjunto matemático que goza de la propiedad de autosimilaridad, es decir el objeto que va repitiendo sus propiedades o figuras a diferentes escalas, además de tener una dimensión que no es entera, sino fraccional.

Hurst encontró la siguiente ecuación empírica, que en Mandelbrot *et al.* (1968) y Mandelbrot (1982) posteriormente explicaron con más generalidad, sobre el problema relacionado con la capacidad de la presa:

$$(R/S)_n = cn^H \quad (1)$$

donde (R/S) se conoce como el estadístico “Rango Reescalado”

c = constante

n = indicador del valor de la serie de tiempo o tamaño del subperiodo

H = exponente o coeficiente Hurst

En general, los valores de (R/S) se incrementan con el valor de n por el valor de la ley de potencias igual al exponente Hurst, esta es la primera conexión del fenómeno Hurst y la geometría fractal. Hay que mencionar además que el método (R/S) es un análisis no paramétrico que no requiere

de una distribución específica, recordando que para que una serie analizada sea considerada como fractal, el requisito clave que debe de cumplir es una escala de ley de potencia.

Por medio de una regresión lineal de los puntos de $\ln(R/S)_n$ contra $\ln(n)$ se determina el exponente de Hurst como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\ln(R/S)_n = \ln(c) + H\ln(n) \quad (2)$$

Si la serie a analizar tiene características de independencia entonces debería ser $H=0.50$, y si $0.5 < H < 1.0$, implica series de tiempo persistentes, es decir, caracterizadas por efectos de memoria de largo plazo por lo tanto, lo que suceda hoy impactará en el futuro por siempre. Finalmente si $0 < H < 0.5$ significa anti-persistencia en la serie de tiempo.

Hurst encontró un coeficiente de $H=0.91$ como resultado de su investigación de la presa del río Nilo, es decir, mostró alta persistencia. Si bien, el estudio se aplicó al caso del flujo del río Nilo, en términos generales puede aplicarse a cualquier serie que se sospeche se comporte como fractal en cualquier otra área de estudio.

La metodología (R/S) desarrollada por Hurst consiste estimar los rendimientos logarítmicos de una serie de tiempo de tamaño M . Posteriormente se forman A subperiodos contiguos de longitud n , y para cada uno de dichos subperiodos la de longitud n se determina su valor promedio. Se van sumando las diferencias de cada elemento respecto de la media en cada superperiodo para obtener una nueva serie de diferencias acumuladas y se determina el "Rango", que a la diferencia entre los valores máximo y mínimo de la serie acumulada en cada subperiodo de tamaño n . Por otro parte, se calcula la desviación estándar muestral S_{la} de las series de diferencias de la forma tradicional. Y para cada periodo el rango S_{la} se normaliza dividiendo por su desviación estándar muestral S_{la} correspondiente. Por lo tanto el rango reescalado para cada subperiodo I_a es igual a (R_{la}/S_{la}) . Como se tienen A periodos continuos de longitud n , entonces se toma el valor promedio R/S para todos los periodos.

La longitud n o el tamaño del subperiodo se incrementada al siguiente valor posible de tal forma que $(M-I)/n$ sea un valor entero. Iniciamos con el valor más pequeño de acuerdo a la condición anterior y se repiten los pasos y se repiten hasta $n=(M-1)/2$. Posteriormente aplicamos una regresión de mínimos cuadrados de $\log(R/S)_n$ contra $\log(n)$. La ordenada al origen es el $\log(c)$ y la pendiente de la ecuación corresponderá a la estimación del exponente Hurst H . Para información complementaria o aplicada a otros casos sobre el coeficiente Hurst o la metodología (R/S) consultar Peters (1991) y Peters (1994).

En párrafos previos se mencionó los pasos para la determinación del coeficiente Hurst (H) y el comportamiento de los procesos de acuerdo al valor de

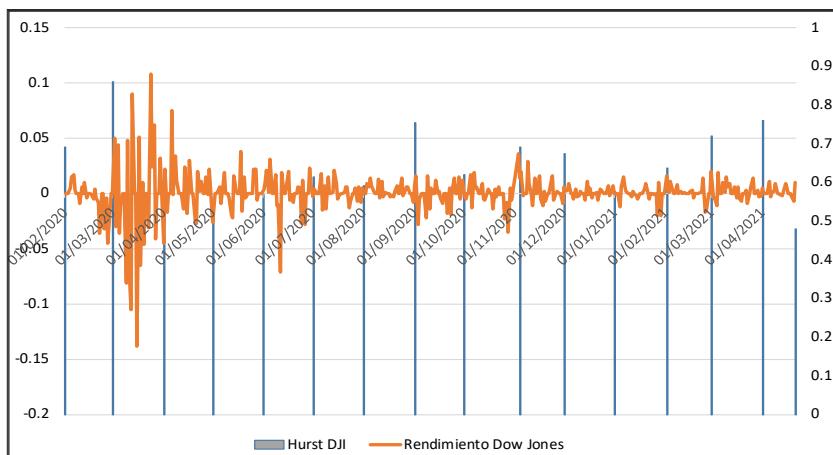
dicho exponente. Ahora se aplicará la metodología (*R/S*) para la estimación del coeficiente Hurst al caso de los mercados financieros de Estados Unidos y México, en el periodo de febrero de 2020 a abril del 2021 con periodicidad mensual (información financiera de yahoo.finance). Y para el mismo periodo de tiempo se considera la series de contagios y fallecimientos en el mundo, Estados Unidos y México (Our world in Data <https://ourworldindata.org/coronavirus>).

4. Resultados

En el presente trabajo se utilizó la metodología de (*R/S*) para estimar el exponente Hurst al caso financiero de los rendimientos mundiales y de Estados Unidos donde se considera el Índice Dow Jones Industrial (DJ) para ambos casos, de igual forma, se aplica al cambio en el número de contagios (considerado de forma logarítmica) del COVID-19 para el reporte mundial y de Estados Unidos. También se repitió el ejercicio para el mismo periodo de tiempo en México con el cálculo del exponente Hurst del índice de precios y cotizaciones, IPC, de México (o con el ticker MXX) y la estimación en los incrementos de contagios COVID-19 en el mismo país de México. Los índices DJ e IPC se consideran tradicionalmente representativos de los mercados de Estados Unidos y México por el tipo de acciones que los componen.

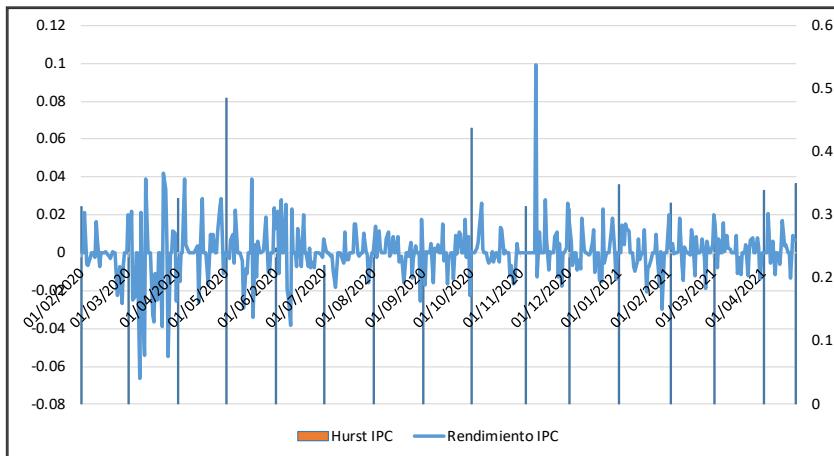
Las gráficas 1a) y 1b) muestran los rendimientos de los índices DJ e IPC (con escala de uno de los ejes verticales), así como el valor del exponente Hurst (con escala en el otro eje vertical) de sus respectivas series en el mes inmediato previo.

Gráfica 1a
Rendimientos DJ y Hurst de DJ



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 1b)
Rendimientos IPC y Hurst de IPC

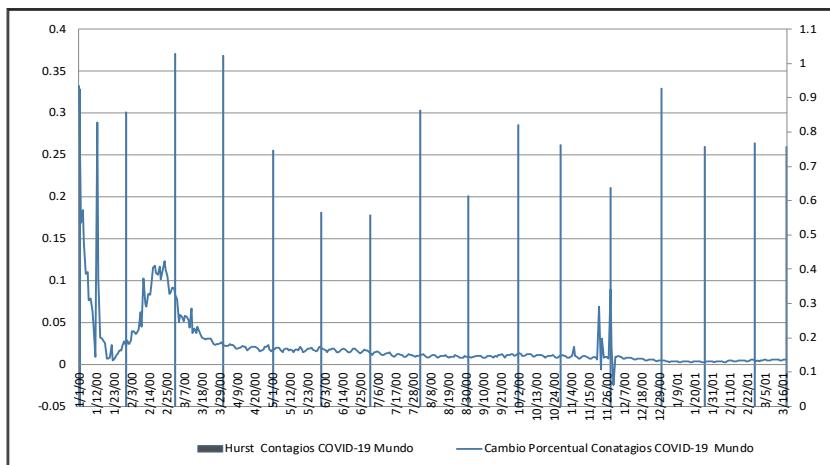


Fuente: elaboración propia.

De las gráficas se muestra que la series de rendimientos de DJ muestran más persistencia que las correspondientes del IPC durante los meses de pandemia en el periodo indicado ya que sus exponentes Hurst son mayores de 0.5. En otras palabras, el comportamiento de los rendimientos en el mercado de Estados Unidos muestra mayor memoria que en el mercado mexicano. Por otra parte, en los periodos cercanos a volatilidad alta en los dos mercados (DJ, IPC) durante las pandemia también ocurren mayores valores del exponente Hurst. De acuerdo a lo anterior, los efectos o choques del mercado tendrán a afectar más o por mayor tiempo el futuro de la serie y el efecto sería más notable en el mercado americano respecto al mexicano.

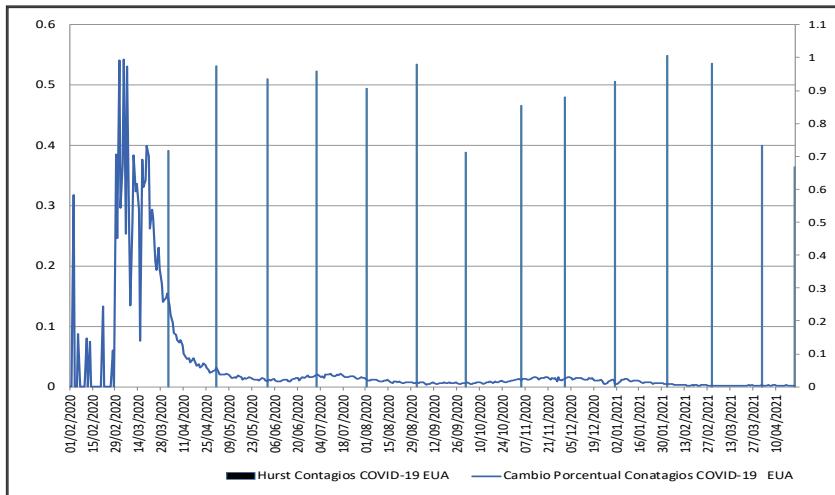
Las gráficas 2a), 2b) y 2c) muestran el coeficiente Hurst para las series de incremento de contagios COVID-19 en el Mundo, Estados Unidos y México.

Gráfica 2a
**Incremento de contagios y exponente Hurst sobre
el incremento de contagios (Mundo)**



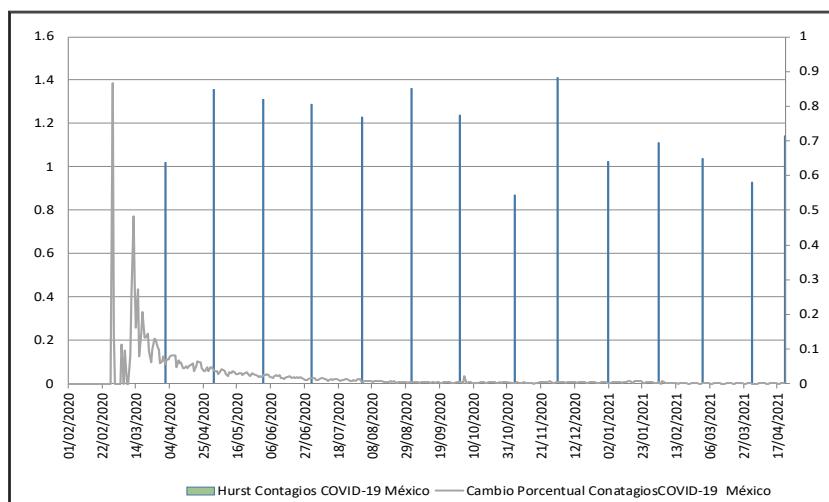
Fuente: elaboración propia.

Gráfica 2b
**Incremento de contagios y exponente Hurst sobre
el incremento de contagios (EUA)**



Fuente: elaboración propia

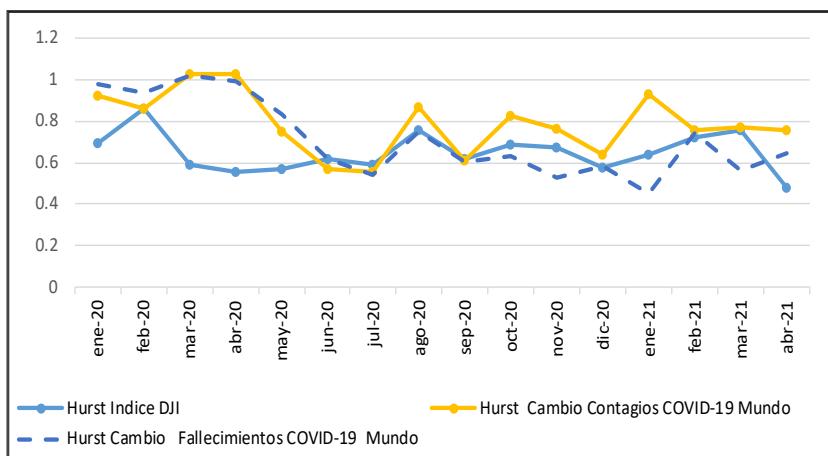
Gráfica 2c
Incremento de contagios y exponente Hurst sobre el incremento de contagios (Méjico)



Fuente: elaboración propia.

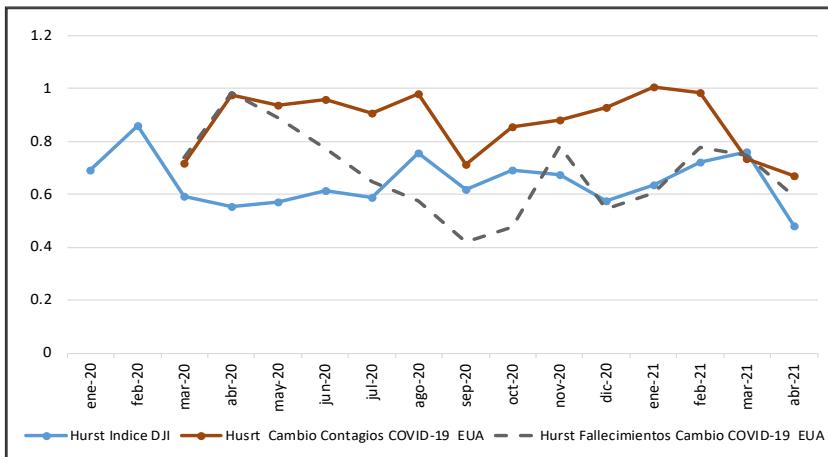
En las gráficas 2a), 2b) y 2c) se muestra un comparativo del cálculo de los exponentes Hurst en los cambios logarítmicos de contagios para los casos de todo el mundo, de Estados Unidos y de México. Nuevamente se vuelve a apreciar un poco mayor persistencia en la serie de contagios Mundiales, de Estados Unidos y México que con respecto del caso de rendimientos financieros en las primeras gráficas. Es decir, cuando la pandemia va en aumento en cualquiera de los tres casos lo más probable es que persista el efecto de crecimiento y el efecto continúe igual durante varios meses.

Gráfica 3a
Comparativo Hurst de índice DJ, Hurst contagios y
Hurst fallecimientos (mundo)



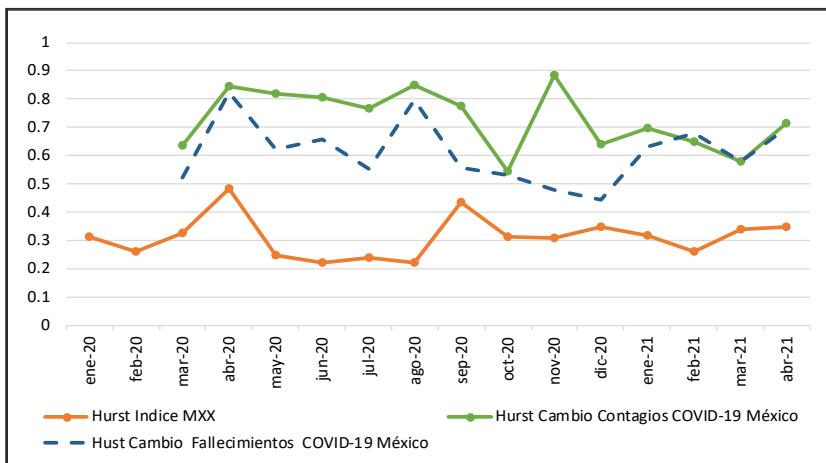
Fuente de elaboración: propia

Gráfica 3b
Comparativo Hurst de índice DJ, Hurst contagios y
Hurst fallecimientos (Estados Unidos)



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 3c
Comparativo Hurst de índice IPC, Hurst contagios y
Hurst fallecimientos (Méjico)



Fuente: elaboración propia.

En las gráficas 3a), 3b) y 3c) se puede observar las evolución comparativa de la persistencia con el coeficiente Hurst en los cambios de los índices de mercado, el número de contagios y ahora también de fallecimientos para los casos mundial, Estados Unidos y México. De forma general se aprecia que el comportamiento del coeficiente de memoria es muy parecido entre los contagios y el fallecimientos por COVID-19 y es menor y con un desfase al comparar el coeficiente con el respectivo del caso de los índices de mercado.

Tabla 1
Correlación de coeficientes Hurst

EUA	Hurst índice DJ	Hurst índice IPC	Hurst cambio contagios CO-VID-19 mundo	Hurst cambio fallecimientos CO-VID-19 mundo	Hurst cambio contagios CO-VID-19 México	Hurst cambio fallecimientos CO-VID-19 México	Hurst cambio contagios CO-VID-19 EUA	Hurst fallecimientos cambio CO-VID-19 EUA
Hurst índice DJ	1.0	-0.4	0.2	0.1	-0.2	0.0	0.2	-0.1
Hurst índice IPC	-0.4	1.0	0.3	0.1	-0.1	0.0	-0.4	0.0
Hurst cambio contagios COVID-19 mundo	0.2	0.3	1.0	0.6	-0.1	0.4	0.0	0.3
Hurst cambio fallecimientos COVID-19 mundo	0.1	0.1	0.6	1.0	0.1	0.4	0.0	0.5
Hurst cambio contagios COVID-19 México	-0.2	-0.1	-0.1	0.1	1.0	0.4	0.3	0.4
Hurst cambio fallecimientos COVID-19 México	0.0	0.0	0.4	0.4	0.4	1.0	0.3	0.4
Hurst cambio contagios COVID-19 EUA	0.2	-0.4	0.0	0.0	0.3	0.3	1.0	0.3
Hurst fallecimientos cambio COVID-19 EUA	-0.1	0.0	0.3	0.5	0.4	0.4	0.3	1.0

Fuente: elaboración propia.

Los coeficientes de correlación de los exponentes Hurst entre el cambio de los contagios, cambio en fallecimientos y rendimiento de los índices para los tres casos (mundial, Estados Unidos y México) se muestran en la anterior matriz de correlación. De forma general, las correlaciones más importantes entre exponentes Hurst son los relativos a los cambios en contagios y cambios en fallecimientos del mundo y comparando las mismas variables de contagios de los otros dos países, lo que indica que las tendencias de persistencia en el comportamiento, sobre todo de crecimiento en contagios y fallecimientos de los países vecinos y del mundo iban en la misma dirección de que los efectos tuvieran memoria. El otro caso a notar es la correlación negativa entre los índices de los dos países, es decir, mientras el efecto de memoria en una serie aumenta en el otro país disminuye.

5. Conclusiones

La metodología (R/S) para estimar el exponente Hurst es una herramienta fundamental para determinar la persistencia, independencia o antipersistencia de series temporales, en otras palabras si las series continuarán con sus mismas tendencias del pasado y el efecto a futuro de los choques.

En el presente trabajo se aplica la metodología (R/S) para describir el comportamiento de los incrementos de series de contagios producidos por la pandemia y de series de rendimientos de mercados en tres casos: en todo el mundo, en Estados Unidos y en México durante periodo de febrero de 2020 a abril del 2021 con periodicidad mensual durante la pandemia de COVID-19.

La persistencia de la memoria en las series de aumento de contagios es mayor para el caso Mundial y de Estados Unidos que con respecto a México y para el mismo periodo de tiempo también se presenta esta característica pero menor medida en los índices financieros de DJ e IPC, es decir, los efectos en las series o tendencia en el comportamiento permanecerá por más tiempo en el caso de las series de contagios de COVID-19 que en el caso de las series financieras para los tres casos.

Por otro lado, la persistencia en series financieras muestran durante el periodo de la pandemia mayor efecto de memoria o persistencia a permanecer en su mismo estado para el mercado americano con el DJ respecto al de México con el IPC.

Respecto a la correlación entre los coeficientes Hurst de las series financieras y de contagios las más importantes se dan entre los aumentos de contagios y fallecimientos del caso mundial, de Estados Unidos y México, es decir, los efectos en el crecimiento de contagios y fallecimientos es simultaneo en el mundo y en particular en la región de México y Estados Unidos, además que los efectos con los coeficientes financieros resultan ser mínimos. Por otro lado, aparece una correlación pequeña correlación negativa de los indicadores de persistencia en los mercados financieros entre Estados Unidos y México, posiblemente explicada por un desfasamiento en los mercados.

Referencias

- Álvarez R. J.; J. Alvarez; E. Rodriguez; G. Fernández (2008). Time-varying Hurst exponent for US stock markets, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387 (24), pp. 6159-6169, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2008.06.056>.
- Arouxet M. B.; A. F. Bariviera; V. E. Pastor y V. Vampa (2020). Covid-19 impact on cryptocurrencies: *evidence from a wavelet-based Hurst exponent*, <https://arxiv.org/abs/2009.05652v1>.
- Barua, S. (2020). COVID-19. Pandemic and World Trade: Some Analytical Notes, SSRN, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3577627>.
- Bodenstein M.; G. Corsetti; L. Guerrieri (2020). "Disruptions in a Pandemic", *Social Distancing and Supply* VOX EU CEPR, <https://voxeu.org/article/social-distancing-and-supply-disruptions-pandemic>.
- Hurst, H. (1951). The long-term storage capacity of reservoirs, *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 1951, vol. 116, Issue 1, pp. 770-799.
- Laktyunkin, A.; A. Potapov (2020). Impact of COVID-19 on the Financial Crisis: *Calculation of Fractal Parameters*, *Biomed J. Sci & Tech Res* 30(5)-2020. BJSTR. MS.ID.005019.
- Mandelbrot, B. (1982). *The Fractal Geometry of Nature*, NY W.H. Freeman.
- Mandelbrot, B. and V. Ness (1968). Fractional Brownian Motions, *Fractional Noises and Applications*, SIAM review 10, 11(3).
- Okorie, D.; B. Lin (2021). Stock markets and COVID-19 fractal contagion effects, *Finance Research Letters*, vol., 38, <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101640>.
- Palomas E. (2002). Evidencia e Implicaciones del fenómeno Hurst en el mercado de capitales, *Gaceta de economía*, año 8, núm., p. 15.
- Peters, E. (1991). *Chaos and Order in Capital Markets*, New York, 2nd ed., John Wiley and Sons.
- Peters, E. (1994). *Fractal Market Analysis, Applying Chaos Theory to Investment and Economic*, New York: John Wiley and Sons.
- Swetadri S.; G. Koushik (2020). Analysis of Self-Similarity, Memory and Variation in Growth Rate of COVID-19 Cases in Some Major Impacted Countries, *Journal of Physics: Conference Series*, vol., pp. 1797.
- Zavarce C. (2020). Comportamiento Estocástico de la COVID-19 en la República Bolivariana de Venezuela ¿Persistencia o antipersistencia de los Contagios?, vol. 5, num. 2, mayo-agosto 2020, pp. 91-110.