



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: [www.sgp.org.pe](http://www.sgp.org.pe) ISSN 0079-1091

## Análisis de las variaciones del ruido sísmico ambiental durante el aislamiento social por el COVID-19 en la región metropolitana de Lima, Perú

Cristobal Condori<sup>1</sup>, Susanne Maciel<sup>2</sup>, George S. França<sup>3</sup>, Orlando Macedo<sup>1</sup>, Lady D. Quispe<sup>1</sup> y Yawar Hussain<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Ingeniería. Av. Túpac Amaru 210. Lima 25. Perú

### RESUMEN

En este estudio se ha analizado los niveles de variación temporal del ruido sísmico ambiental urbano antes, durante y después del aislamiento social, decretada a raíz de la pandemia del COVID-19 en la región Metropolitana de Lima. Para el análisis se empleó las formas de onda continua registradas del 01-febrero al 31-agosto del 2020 en la estación sísmica internacional de Ñaña (NNA). Los resultados preliminares muestran una disminución de ruido en un 37%, observándose cambios temporales que ocurren en diferentes rangos de frecuencia. Así, en frecuencias >1 Hz se observan importantes cambios temporales con tendencias y comportamientos similares en las amplitudes medias diurnas entre las 20:00 y las 05:00 (Hora Local); sin embargo, en frecuencias bajas (0.1–1, 1–3 y 3–5 Hz) no se observan cambios significativos. Por otro lado, se ha observado buena correlación entre las variaciones de las amplitudes del ruido sísmico en NNA y el Índice de Movilidad Local de Google, poniéndose claramente en evidencia puntos de cambio en las series temporales durante los periodos de aislamiento social.

**Palabras clave:** Ruido sísmico ambiental urbano, COVID-19, aislamiento social, Lima

### ABSTRACT

This research analyzes the levels of temporal variation of urban environmental seismic noise before, during and after social isolation in the Metropolitan region of Lima, decreed by the Peruvian government due to the COVID-19 pandemic. For

the analysis, the continuous waveforms recorded from February 1 to August 31, 2020 at the Ñaña International Seismic Station (NNA) were used. Preliminary results show a noise reduction of 37%. Temporal changes are observed that occur in different frequency ranges. Thus, at frequencies >1 Hz, important temporal changes with similar trends and behaviors are observed in the mean diurnal amplitudes between 20:00 and 05:00 (Local Time); however, at low frequencies (0.1–1, 1–3, and 3–5 Hz) no significant changes are observed. On the other hand, a good correlation has been observed between the variations in the amplitudes of the seismic noise in the NNA seismological station and the Google Local Mobility Index, clearly showing points of change in the time series during periods of social isolation.

**Keywords:** Urban ambient seismic noise, COVID-19, social isolation, Lima

### INTRODUCCIÓN

El 6 de marzo de 2020 se confirmó el primer caso de contagio por COVID-19 en Perú. Desde entonces, el gobierno peruano impuso restricciones de aislamiento social, una política global también implementada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para mitigar la propagación del virus.

Durante el periodo del aislamiento social se ha observado diferentes efectos e impactos principalmente ambientales que se han manifestado progresivamente en función del espacio y tiempo en cada región del Perú. Según el Instituto Nacional

de Estadística e Informática (INEI), la Región de Lima Metropolitana (RML) posee ~10 millones de habitantes, siendo una ciudad con altos niveles de ruido urbano cuyas fuentes se encuentran tanto dentro como en sus alrededores. La concurrencia de tales condiciones de alto ruido urbano y de aislamiento social han creado una oportunidad para analizar los posibles cambios temporales en el ámbito del ruido sísmico urbano, así como sus efectos en el registro de las señales sísmicas.

Los recientes avances en la instrumentación, así como en los métodos de análisis sismológicos, permiten el tratamiento y análisis de información sísmica proveniente tanto de fuentes activas como pasivas con amplios rangos de frecuencias, de manera que puede obtenerse imágenes detalladas de la estructura del medio, incluso de áreas urbanas. En un área con monitoreo sísmico, las estaciones sismográficas detectan y registran permanentemente los eventos sísmicos generados por la dinámica interna de la Tierra, así como vibraciones continuas que se conocen como ruido sísmico ambiental. Este ruido es una señal ubicua generada por las vibraciones de la superficie de la tierra. Puede deberse a diferentes fuentes ya sea naturales y/o antrópicas como son el viento, la circulación de vehículos, de autos, trenes y aviones; movimiento de gente, pequeñas vibraciones por obras en construcción, maquinaria industrial, sismos locales muy pequeños, sismos de lugares lejanos, incluso fluctuaciones de temperatura y presión atmosférica y mareas terrestres y oceánicas que transfieren energía a la corteza terrestre (Pérez-Campos et al., 2021, Condori, 2021). En el 2020, gran parte de las actividades humanas en el planeta sufrieron notable impacto por la pandemia del COVID-19. Una medida sanitaria adoptada por la mayoría de los países para prevenir la propagación de la enfermedad fue de establecer reglas de aislamiento social. Estas reglas generaron cambios en la dinámica de la actividad humana que han podido ser indirectamente registrados por diversos observatorios sismológicos próximos a centros urbanos, reportándose así de cambios en el espectro de ruido ambiental (Lecocq et al., 2020; Maciel, Rocha y Schimmel, 2021; Ojeda y Ruiz, 2021). La alteración significativa, de hasta el 50%, en los niveles de ruido sísmico durante la imposición de cuarentenas fue el cambio más prominente, duradero y nunca antes observado en el ruido sísmico asociado a la actividad antrópica.

La sismología urbana es un campo de investigación

relativamente nueva (Díaz, Ruiz y Jara, 2021) enfocada al monitoreo de las vibraciones de la tierra en áreas densamente pobladas. El presente trabajo tiene como objetivo analizar la variación del ruido sísmico urbano generado durante el aislamiento social en la Región Metropolitana de Lima (RML) (Figura 1), para lo cual se ha analizado registros de la estación Ñaña (NNA) situada a 21 km al este del centro de Lima.

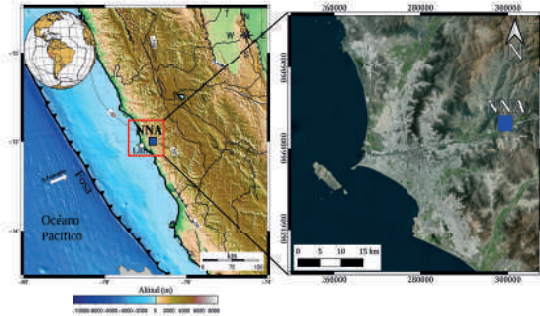


Figura 1. Mapa topográfico mostrando el área de estudio y la ubicación de la estación sísmica NNA. El polígono rojo delimita el área de influencia considerada en el análisis.

## DATOS Y METODOLOGÍA

La base de datos utilizada para el análisis sísmico corresponde a formas de onda continuas con ventanas de tiempo de 24 horas (de febrero a agosto del 2020), registradas por la estación sísmica de banda ancha de Ñaña (NNA) perteneciente a la Red Sismográfica Global (Bent, 2013) y administrada por el Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) (Figura 1). Esta estación fue seleccionada debido a que ofrece varias ventajas para el análisis del ruido sísmico ambiental antes, durante y después de la cuarentena impuesta por el gobierno peruano: 1) ubicación próxima a la región metropolitana de Lima; 2) alta calidad de datos (sensor modelo Streckeisen STS-1); 3) datos de acceso libre; 4) continuidad en el registro de la información.

Para caracterizar y determinar los cambios temporales del ruido sísmico ambiental, se aplicó la metodología propuesta por Lecocq et al. (2020), quien sugiere que puede emplearse los registros sísmicos de velocidad de la componente vertical, siendo éstos similares a los respectivos de la componente horizontal. Primeramente, se realizó un preprocesamiento de los datos sísmicos que consistió en eliminar la respuesta del instrumento. Enseguida se calculó la densidad espectral de potencia (DEP) diaria en ventanas de tiempo de 30

minutos, donde cada serie temporal se calculó utilizando el método de Welch, (1967); por lo tanto, cada segmento de ventana de tiempo fue convertida a periodogramas después de aplicar la transformada de Fourier. Luego, se estimó la potencia espectral de desplazamiento, a partir del cual se calculó la raíz de la media cuadrática (RMS) de la amplitud sísmica normalizada, diferenciando a los días hábiles e inhábiles para los tres periodos: antes, durante y posterior al aislamiento social. Para poder observar los cambios temporales de las amplitudes RMS sísmicas normalizadas, se aplicaron diferentes filtros de pasa-banda con frecuencias de corte variables (0.1-1, 1-3, 3-5, 5-10, 1-20, 4-14, 4-20 y 10-30 Hz) (Figura 2).

En el primer orden, los cambios temporales son similares entre las diferentes frecuencias de corte, a diferencia de las bandas de frecuencias más bajas como 0.1-1, 1-3, 3-5, Hz. A frecuencias > 1 Hz se observa importantes cambios temporales en el desplazamiento normalizado. En consecuencia, para el análisis se empleó filtros entre 4 y 14 Hz. Finalmente, se representó los valores de RMS en diagramas polares de 24 h para caracterizar la variación de desplazamiento promedio para los días de semana y fines de semana para el periodo antes (Figura 3a) y después de la cuarentena (Figura 3b). Además, la evolución del ruido de desplazamiento se muestra en una representación de cuadrícula horaria desde febrero de 2020 hasta agosto de 2020 (Figura 3c).

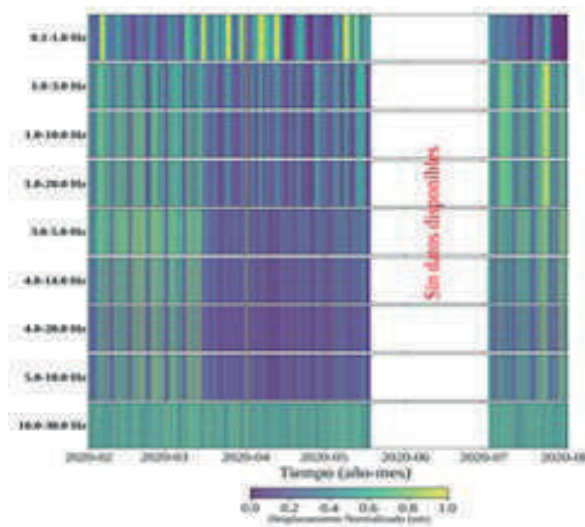


Figura 2. Variación de las amplitudes RMS normalizadas después de la aplicación de 9 filtros de pasa-banda entre 0.1 y 30 Hz en registros de la componente vertical de la estación sísmica NNA. El espacio en blanco corresponde a periodos sin información disponible.

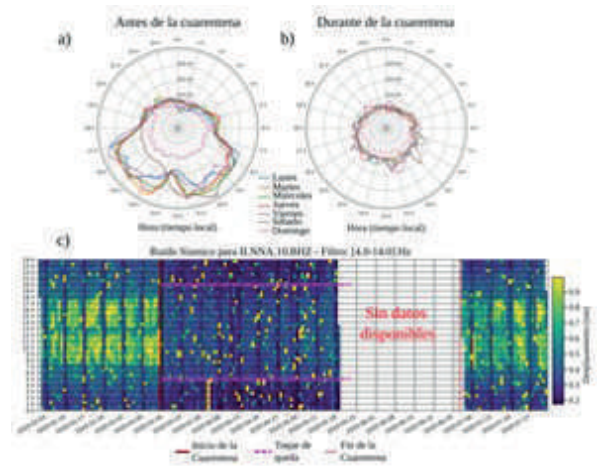


Figura 3. Análisis de los efectos sísmicos representados en diagramas polares antes (a) y después (b) de la cuarentena. Las líneas horizontales discontinuas de color rosa muestran el periodo de toque de queda impuesto entre las 20:00 - 05:00 Hora Local (c).

**RESULTADOS**

Las Figuras 4 y 5 muestran los resultados de los efectos sísmicos de los cambios temporales de las amplitudes medias diurnas entre las 05:00 y las 22:00 LT (Hora Local) obtenidas en la estación sísmica de NNA durante el aislamiento social en la RML.

Para un análisis detallado y validación de los resultados del ruido durante el aislamiento social por el COVID-19, utilizamos Informes de Movilidad Local (IML) elaborados por Google (L. Google, 2020). Los IML proporcionan información valiosa sobre los cambios que se han producido en la movilidad de las personas como consecuencia de las políticas que se han establecido en la RML.

Estos informes fueron útiles para correlacionar la variación de amplitudes en el ruido sísmico con el cambio repentino en el movimiento de personas. Ambos datos, el ruido sísmico y los IML, presentaron cambios visuales de patrón durante los periodos de aislamiento social en la RML.

La Figura 5 muestra la caída de energía del ruido registrado durante las primeras semanas del aislamiento social decretada en la RML. Los países que han pasado por medidas de restricción de la movilidad debido a las pandemias de COVID-19 registraron una caída de hasta el 50% en la amplitud del ruido sísmico urbano (Lecocq et al., 2020). Para la estación NNA, observamos una disminución del 37% en la amplitud del desplazamiento del ruido después del inicio de la

cuarentena. La señal de desplazamiento del movimiento del suelo se filtró para la banda 4-14 Hz. La línea naranja/azul (Figura 5) muestra el valor medio entre las 7 am. y las 7 pm, Hora Local. Para comprobar si la variación de las amplitudes después de la disminución del movimiento de las personas fue causada por el aislamiento social, comparamos la serie temporal de ruido sísmico con los IMG (L. Google, 2020) (línea roja/verde en la figura 5). Una forma de determinar numéricamente cuándo ocurren estos cambios es mediante el análisis de puntos de cambio (APC), y para ello comparamos los cambios de patrones tanto de la variación del ruido sísmico urbano como de los IMG utilizando el APC (Figura 5). El APC se centra en determinar si se ha producido un cambio dentro de una serie temporal (Truong, Oudre y Vayatis, 2020). Los resultados muestran una buena correlación con el APC indicando un punto de cambio al inicio de la cuarentena (15/03/2020) en las series de tiempo (Figura 5).

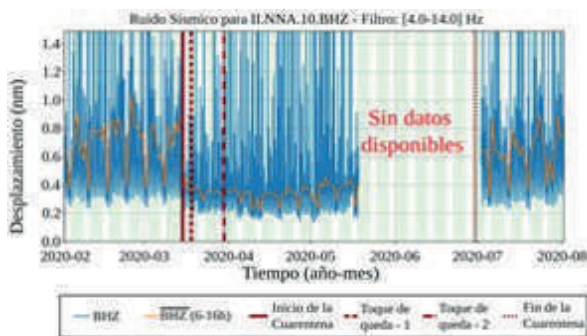


Figura 4. Amplitud de ruido sísmico. La línea azul corresponde a la serie de tiempo de amplitud RMS en la componente vertical, filtrada entre 4 – 14 Hz, y las líneas verticales rojas indican el momento de las restricciones públicas implementadas en la RML.

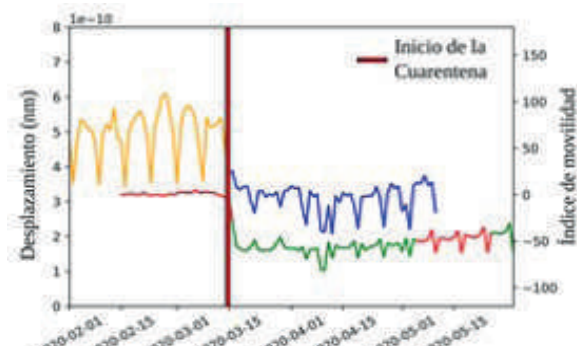


Figura 5. Resultados del APC para amplitudes de desplazamiento de ruido sísmico en la estación NNA para los primeros cinco meses de 2020, dentro de la banda 4–14 Hz, y para el índice de movilidad de Google para el mismo período.

## CONCLUSIONES

Los resultados preliminares muestran una disminución de ruido urbano ambiental de 37% en la Región Metropolitana de Lima, además de observar cambios temporales en las amplitudes RMS en los diferentes rangos de frecuencia de corte analizados. A frecuencias  $>1$  Hz se observaron importantes cambios temporales con tendencias y comportamientos similares en las amplitudes medias diurnas entre las 20:00 y las 05:00 (hora local); sin embargo, en frecuencias bajas (0.1–1, 1–3 y 3–5 Hz) no se observaron cambios significativos. Los resultados son consistentes con estudios en regiones similares y presentan una correlación aceptable con otras fuentes de información como los informes de movilidad medidas durante la cuarentena.

## CONTRIBUCIONES TÉCNICAS Y CIENTÍFICAS

El análisis de las variaciones del ruido sísmico ambiental en estaciones sísmicas instaladas cerca a zonas urbanas es muy importante, porque permite mejorar el nivel de detección de los sismos a distancias locales y/o regionales. En esta investigación se aprovecha de las excepcionales condiciones de disminución del ruido urbano brindadas por el aislamiento social por el COVID-19.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bent, A. (2013) “Global Seismograph Network (GSN)”, en, pp. 417–418. doi: 10.1007/978-1-4020-4399-4\_161.

Condori, C. (2021) Estudio e caracterização das variações da estrutura da crosta e dinâmica do Manto Superior sob o Norte do Peru, com métodos sismológicos. Universidade de Brasília, Brasília. Disponible en: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/41623>.

Diaz, J., Ruiz, M. y Jara, J.-A. (2021) “Seismic monitoring of urban activity in Barcelona during the COVID-19 lockdown”, *Solid Earth*, 12(3), pp. 725–739. doi: 10.5194/se-12-725-2021.

L. Google (2020) Google COVID-19 Community Mobility Reports, Available from: <https://www.google.com/covid19/mobility/>.

Lecocq, T. et al. (2020) “Global quieting of high-frequency seismic noise due to COVID-19 pandemic lockdown measures”, *Science*,

369(6509), pp. 1338–1343. doi: 10.1126/science.abd2438.

Maciel, S. T. R., Rocha, M. P. y Schimmel, M. (2021) “Urban seismic monitoring in Brasília, Brazil”, PLOS ONE. Editado por H. V. Ribeiro, 16(8), p. e0253610. doi: 10.1371/journal.pone.0253610.

Ojeda, J. y Ruiz, S. (2021) “Seismic noise variability as an indicator of urban mobility during the COVID-19 pandemic in the Santiago metropolitan region, Chile”, *Solid Earth*, 12(5), pp. 1075–1085. doi: 10.5194/se-12-1075-2021.

Pérez-Campos, X. et al. (2021) “The effect of confinement due to COVID-19 on seismic noise in Mexico”, *Solid Earth*, 12(6), pp. 1411–1419. doi: 10.5194/se-12-1411-2021.

Truong, C., Oudre, L. y Vayatis, N. (2020) “Selective review of offline change point detection methods”, *Signal Processing*, 167, p. 107299. doi: 10.1016/j.sigpro.2019.107299.

Welch, P. (1967) “The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms”, *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, 15(2), pp. 70–73. doi: 10.1109/TAU.1967.1161901.