


Impacto de la contaminación acústica en el estrés laboral según el modelo de carga alostática

Impact of noise pollution on work-related stress according to the allostatic load model

 Teseo Abel Cárdenas Tambo¹
teseo.cardenas@usil.pe

Fecha de Recepción: 30-08-2024

Fecha de Aprobación: 15-11-2024

RESUMEN

Este ensayo examina el impacto de la contaminación acústica en el estrés y la salud mental, utilizando el concepto de carga alostática como marco teórico. Se contextualiza la contaminación acústica como un creciente problema de salud pública en áreas urbanas, analizando sus efectos más allá de la simple molestia auditiva. El trabajo explora cómo la exposición prolongada al ruido activa respuestas de estrés crónico, elevando los niveles de cortisol y alterando el sistema nervioso autónomo, lo que resulta en una sobrecarga alostática. Esta sobrecarga se asocia con graves consecuencias para la salud, incluyendo hipertensión, enfermedades cardiovasculares, trastornos del sueño, ansiedad y depresión. Además, se discute cómo la contaminación acústica afecta el sistema inmunológico, aumentando la susceptibilidad a diversas enfermedades. El ensayo enfatiza la necesidad de implementar políticas públicas más estrictas y estrategias de mitigación integrales. Se propone un enfoque holístico que combine intervenciones para los diferentes entornos laborales, incluyendo la planificación urbana consciente del ruido, la creación de espacios verdes, la mejora en la gestión del tráfico y el diseño de sistemas de transporte público más silenciosos.

Palabras claves: Alostasis, política de salud, ruido, salud mental, sistema nervioso

ABSTRACT

This essay examines the impact of noise pollution on stress and mental health, employing the concept of allostatic load as a theoretical framework. Noise pollution is contextualized as a growing public health concern in urban areas, analyzing its effects beyond mere auditory discomfort. The work explores how prolonged exposure to noise activates chronic stress responses, elevating cortisol levels and altering the autonomic nervous system, resulting in allostatic overload. This overload is associated with severe health consequences, including hypertension, cardiovascular diseases, sleep disorders, anxiety, and depression. Furthermore, the essay discusses how noise pollution affects the immune system, increasing susceptibility to various diseases. The paper emphasizes the need to implement stricter public policies and comprehensive mitigation strategies. A holistic approach is proposed, combining interventions for different work environments,

¹ Universidad San Ignacio de Loyola. Lima, Perú



including noise-conscious urban planning, creation of green spaces, improved traffic management, and the design of quieter public transportation systems.

Keywords: Allostasis, health policy, noise, mental health, nervous system

Para citar en APA: Cárdenas Tambo, T. A. (2024). Impacto de la contaminación acústica en el estrés laboral según el modelo de carga alostática. *Wani*, 81, e19206. <https://doi.org/10.5377/wani.v1i81.19206>

INTRODUCCIÓN

La contaminación acústica, definida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como cualquier sonido que exceda los 65 decibelios (dB), es una problemática urgente en las áreas urbanas contemporáneas. El ruido superior a 75 dB puede ser perjudicial para la salud y, a partir de los 120 dB, resulta doloroso.

El crecimiento de la población y la expansión urbana han intensificado la exposición a niveles de ruido que impactan negativamente la salud integral, abarcando tanto los aspectos físicos como psicológicos (Stankov & Stepančev, 2022). Este ensayo examina cómo la contaminación acústica contribuye al estrés crónico, entendida desde el modelo de carga alostática, que describe cómo el estrés sostenido afecta los sistemas biológicos que regulan el equilibrio corporal.

El propósito es analizar la contaminación acústica no solo como un problema de ruido molesto, sino como un riesgo significativo para la salud pública, que influye de manera profunda en el bienestar físico y mental. Estudios revisados exploran cómo la exposición continua al ruido contribuye al estrés crónico, deteriorando los mecanismos neurobiológicos que mantienen el equilibrio del organismo, según el modelo de carga alostática (McEwen & Stellar, 1993). Este enfoque permite profundizar en los mecanismos subyacentes que vinculan la contaminación acústica con el estrés.

Primero, se contextualiza la magnitud de la contaminación acústica y su impacto en la salud pública, fundamentado en estudios recientes que destacan su prevalencia y efectos adversos (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018). Se examinan los factores urbanos que agravan la exposición al ruido y sus implicaciones para la salud integral.

Luego, se presenta el concepto de carga alostática para explicar cómo el estrés, inducido por la exposición continua al ruido, afecta los sistemas biológicos encargados del equilibrio corporal (McEwen & Stellar, 1993). Se describe cómo la activación constante de las respuestas de estrés del cuerpo genera una sobrecarga alostática, con repercusiones graves en la salud física y mental.

Posteriormente, se examinan los efectos fisiológicos directos que la exposición al ruido desencadena en el organismo. Investigaciones recientes han documentado detalladamente cómo esta exposición activa el eje hipotalámico-pituitario-adrenal y provoca la liberación de hormonas del estrés como el cortisol y las catecolaminas (Arregi et al., 2024).



Como consecuencia de la exposición prolongada al ruido, se evidencia un impacto significativo en múltiples sistemas del organismo. En el sistema cardiovascular, la exposición crónica al ruido se asocia con un incremento en la incidencia de hipertensión y enfermedades cardíacas, manifestándose a través de alteraciones en la presión arterial y la función cardíaca (Stankov & Stepančev, 2022).

El sistema nervioso autónomo también muestra alteraciones significativas ante la exposición al estrés. Las investigaciones han demostrado que el estrés mental incrementa la frecuencia cardíaca, la presión arterial sistólica y diastólica, y el gasto cardíaco (Xie et al., 2017). Estas alteraciones se ven agravadas por la pérdida de la capacidad del barorreflejo para amortiguar las respuestas autonómicas al estrés, lo que puede predisponer a episodios de actividad simpática aumentada, resultando en hipertensión y taquicardia (Norcliffe-Kaufmann, 2022).

Los trastornos del sueño representan otra manifestación importante, caracterizándose por alteraciones en la calidad y cantidad del descanso, lo que a su vez afecta la recuperación física y mental del organismo (Oblitas Chicoma, 2019). En cuanto al sistema inmunológico, se ha documentado un debilitamiento significativo de las defensas del cuerpo, evidenciado por alteraciones en la producción de anticuerpos y la proliferación de células T (Pascuan et al., 2014).

En virtud de la evidencia presentada, se proponen estrategias integrales de mitigación que abarcan desde el nivel individual hasta el ámbito de las políticas públicas (Tao et al., 2021). Estas soluciones abordan tanto las fuentes del ruido como sus efectos en la salud, incluyendo mejoras en la planificación urbana, la gestión del tráfico y la implementación de espacios verdes (Can et al., 2020).

Es decir, el ensayo defiende que la contaminación acústica, al activar continuamente las respuestas de estrés del organismo, provoca una sobrecarga alostática con consecuencias graves para la salud, subrayando la urgencia de implementar políticas más rigurosas y estrategias efectivas para abordar el problema.

DESARROLLO

Para comprender mejor cómo la contaminación acústica afecta el estrés, es útil introducir el concepto de carga alostática.

La carga alostática se refiere al desgaste acumulativo en el cuerpo debido a la exposición repetida o crónica al estrés. McEwen y Stellar (1993) acuñaron este término para describir cómo los sistemas biológicos que regulan el estrés (como el sistema nervioso autónomo y el eje hipotalámico-pituitario-adrenal) pueden llegar a desregularse con el tiempo bajo la presión constante del estrés.

Siguiendo esta línea, el modelo de carga alostática describe cómo el cuerpo responde a factores estresantes mediante la activación de sistemas neuroendocrinos y autonómicos para restablecer la homeostasis. La alostasis es el proceso por el cual el cuerpo se adapta a situaciones de cambio,



utilizando sistemas como el eje hipotalámico-pituitario-adrenal (HPA), el sistema nervioso simpático, y las respuestas inflamatorias para lidiar con el estrés. Sin embargo, cuando estos mecanismos se activan de manera crónica o repetida, puede ocurrir una sobrecarga alostática, es decir, un desgaste acumulativo en los sistemas del cuerpo, lo que conduce a efectos adversos en la salud (McEwen, 2000).

En el contexto de la contaminación acústica, esta desregulación se manifiesta de manera particularmente insidiosa. Stankov y Stepančev (2022) definen la contaminación acústica como un factor de estrés exógeno, señalando que el ruido actúa como un estímulo externo que induce estrés en las personas y contribuye a diversos problemas de salud.

De hecho, la presencia de ruidos no deseados que exceden los niveles saludables en un entorno se reconoce como un estresor significativo. La exposición prolongada a este ruido ambiental, especialmente en áreas urbanas, activa el sistema nervioso simpático e incrementa los niveles de cortisol, la hormona del estrés (Babisch, 2002).

La relación entre la contaminación acústica y la carga alostática es significativa, ya que la contaminación acústica actúa como un factor estresante crónico. Esta situación puede llevar a una activación repetitiva y sostenida de los sistemas alostáticos del cuerpo. Tal activación continua puede resultar en una sobrecarga alostática. En particular, la exposición constante al ruido puede provocar un aumento crónico en los niveles de cortisol, lo cual está asociado con diversos problemas de salud, como hipertensión, enfermedades cardiovasculares y trastornos del sueño (McEwen & Wingfield, 2003).

De esta manera, la contaminación acústica interfiere con la capacidad del cuerpo para recuperarse de la exposición al estrés, lo que significa que la ventana de tiempo en la cual el cuerpo puede regresar a un estado de homeostasis es reducida. Esto contribuye aún más a la acumulación de carga alostática y puede exacerbar los efectos negativos del estrés en el cuerpo, llevando a un desgaste más rápido de los sistemas fisiológicos (Seidman & Standring, 2010).

Cuando una persona está constantemente expuesta a altos niveles de ruido, su cuerpo se mantiene en un estado de alerta perpetuo, lo que puede conducir a una sobrecarga alostática. Esta idea coincide con la definición de estrés de Yaribeygi et al. (2017), quienes lo describen como la reacción biológica a estímulos internos y externos, capaz de generar diversas condiciones patológicas que afectan la salud general.

La exposición prolongada al ruido, como han demostrado Amable Álvarez et al. (2017), puede producir efectos perjudiciales que van mucho más allá de la molestia auditiva. En el ámbito laboral, la contaminación acústica no solo puede causar pérdida auditiva, sino que también aumenta el estrés debido a la mayor secreción de hormonas como la adrenalina, incrementando incluso el riesgo de accidentes.

Esta relación fue explorada en el estudio de Schnorpfel et al. (2003), quienes demostraron que las condiciones laborales adversas, particularmente aquellas con altas demandas, están



significativamente asociadas con una mayor carga alostática. Sus hallazgos revelaron que el estrés laboral puede incrementar diversos biomarcadores, como la presión arterial y los niveles de proteína C reactiva (CRP), siendo este efecto más pronunciado en trabajadores de mayor edad.

Investigaciones más recientes han profundizado en estos efectos. Fan et al. (2022) estudiaron los efectos específicos del ruido durante la ejecución de tareas laborales, encontrando que, durante la realización de tareas, los niveles elevados de presión sonora y mayor agudeza del ruido se correlacionaban significativamente con aumentos en el diámetro pupilar medio y la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV). Estos hallazgos sugieren que el organismo implementa mecanismos de regulación fisiológica como respuesta defensiva ante los efectos adversos del ruido.

Oh et al. (2015) profundizaron en estos efectos fisiológicos del ruido y hallaron que los sonidos ruidosos incrementan los niveles de estrés según las señales del ECG. Además, observaron una variabilidad individual en la respuesta al estrés auditivo, destacando que ciertos empleados pueden ser más vulnerables al ruido en términos de carga alostática. También, el estudio propone que el monitoreo de la HRV podría ser una herramienta útil para identificar trabajadores en riesgo de carga alostática elevada debido al ruido, permitiendo intervenciones específicas.

En entornos de oficina, Sander et al. (2021) encontraron diferencias significativas en las respuestas fisiológicas al ruido en oficinas de planta abierta (OPO), en comparación con condiciones de bajo ruido. Sus hallazgos mostraron una mayor respuesta de conductancia de la piel y una elevación significativa de la frecuencia cardíaca en el entorno de OPO, aunque la variabilidad de la frecuencia cardíaca (RMSSD) no presentó diferencias significativas entre las condiciones.

Sin embargo, estos efectos negativos no se limitan al entorno de trabajo, ya que el impacto del ruido se extiende a diversos aspectos de la vida cotidiana. La exposición continua afecta la calidad del sueño, disminuye la capacidad de concentración y agrava condiciones preexistentes como la hipertensión y las enfermedades cardiovasculares.

Lo último mencionado se refleja en el estudio de Cortez y Smith (2023), quienes examinaron el impacto de la contaminación acústica sobre el estrés percibido en la población aledaña al Aeropuerto Velasco Astete, en Cusco. En su investigación, midieron el ruido con un sonómetro y utilizaron el *Perceived Stress Scale* (PSS) para evaluar los niveles de estrés en 398 personas expuestas a altos niveles de ruido ambiental. Encontraron una correlación moderada entre ambas variables. Estos hallazgos proporcionan un sólido respaldo a la comprensión de cómo el ruido no solo afecta el bienestar auditivo, sino que influye directamente en el estrés crónico y sus efectos colaterales, como la afectación del sueño, la disminución de la concentración y el aumento de enfermedades cardiovasculares, reforzando la visión de que la exposición prolongada al ruido puede tener efectos adversos significativos en la salud física y mental de las personas.

Es fundamental reconocer que el impacto del ruido en el estrés no es uniforme ni puede predecirse de manera simple. Como indican Bae et al. (2019) y Calzadilla Pérez (2022), el estrés es un concepto complejo que desafía interpretaciones reduccionistas. Su manifestación y severidad



dependen de la interacción entre las experiencias individuales, las percepciones subjetivas y las habilidades de afrontamiento, todo esto dentro del contexto de una multiplicidad de estímulos ambientales.

La contaminación acústica presenta una complejidad que se manifiesta en la diversidad de respuestas que las personas tienen ante niveles similares de ruido. Stankov y Stepančev (2022) destacan que ciertos grupos, como las personas autistas y las personas mayores, son particularmente sensibles al ruido y a sus efectos estresantes. Esta variabilidad individual subraya la importancia de adoptar un enfoque holístico y personalizado para abordar los efectos del ruido en la salud mental.

En el caso específico de las personas con Trastorno del Espectro Autista (TEA), la literatura médica indica que la disminución de la tolerancia al sonido es un problema común. Se estima que entre el 50% y el 70% de las personas con TEA experimentan una tolerancia reducida al sonido en algún momento de sus vidas. Esta sensibilidad auditiva puede provocar ansiedad, comportamientos desafiantes y dificultades en la participación comunitaria, así como en entornos escolares y laborales (Williams et al., 2021).

Además, investigaciones realizadas por Kuiper et al. (2019) han demostrado que las personas con TEA pueden tener umbrales de detección auditiva más bajos y respuestas fisiológicas más intensas ante estímulos auditivos, lo que sugiere una mayor sensibilidad al ruido. Estas características resaltan la necesidad de considerar las particularidades de cada grupo al abordar los efectos de la contaminación acústica en la salud mental.

Por otro lado, Tao et al. (2021) introducen el concepto de coexposiciones, que se refiere a la exposición simultánea a la contaminación del aire y al ruido. Este fenómeno puede intensificar el estrés, mostrando la complejidad de los impactos ambientales sobre la salud mental, especialmente en los entornos urbanos. Factores como la sensibilidad individual al ruido, el contexto cultural, las experiencias previas y las estrategias de afrontamiento modulan de manera significativa la respuesta al estrés inducido por el ruido. Por ejemplo, alguien que ha crecido en un entorno urbano ruidoso puede haber desarrollado mecanismos de adaptación que le permiten tolerar mejor los niveles altos de ruido en comparación con una persona de un entorno rural más tranquilo.

Ampliando esta perspectiva, las investigaciones han arrojado luz sobre las implicaciones a largo plazo de la contaminación acústica en la salud. Münzel et al. (2024), señalan que la exposición crónica al ruido puede provocar un aumento de la incidencia de enfermedades cardiovasculares. En esa misma línea, el estrés inducido por la contaminación acústica eleva la presión arterial y, con el tiempo, contribuye a la aparición de problemas cardíacos, incrementando la susceptibilidad a enfermedades graves como ataques cardíacos y accidentes cerebrovasculares. La hipertensión arterial surge también como una consecuencia directa del estrés provocado por el ruido continuo, reforzando la conexión entre la exposición al ruido y los problemas cardiovasculares.

Además de los efectos sobre el sistema cardiovascular, el ruido prolongado tiene un impacto significativo en la salud mental, manifestándose en forma de ansiedad, depresión y otros trastornos



psicológicos debido al malestar persistente. Los trastornos del sueño son otra consecuencia crítica, afectando la función cognitiva, la regulación emocional y la salud física en general. También se ha asociado con un aumento en la incidencia de condiciones como diabetes mellitus, dolores de cabeza y enfermedades pulmonares, lo que evidencia un impacto multisistémico (Oblitas Chicoma, 2019; Garcia, 2018).

Además de los efectos antes mencionados, la contaminación acústica también tiene implicaciones en el sistema inmunológico como han mostrado las investigaciones en psiconeuroinmunología. Estudios han demostrado consistentemente que el estrés y psicoquímico, como el inducido por la exposición crónica al ruido, puede debilitar significativamente las defensas inmunológicas del cuerpo. Este debilitamiento hace que las personas sean más susceptibles a una variedad de enfermedades, desde infecciones comunes hasta condiciones más graves. Por ejemplo, el ruido puede afectar la producción de anticuerpos y la proliferación de células T en ratones C57Bl/6, pero no en ratones BALB/c. (Recio Martín et al., 2016; Pascuan et al., 2014).

El mecanismo subyacente a esta vulnerabilidad inmunológica inducida por el estrés implica una compleja cascada de eventos fisiológicos. La activación crónica del eje hipotalámico-pituitario-adrenal (HPA) en respuesta al estrés por ruido conduce a una producción sostenida de cortisol, la hormona del estrés. Niveles elevados y persistentes de cortisol pueden suprimir la función de las células inmunes, reducir la producción de citoquinas proinflamatorias necesarias para combatir infecciones, y alterar el balance entre diferentes tipos de células inmunes (Hernández Peña et al., 2019).

Igualmente, el estrés crónico puede provocar una inflamación sistémica de bajo grado, un estado que se ha asociado con una serie de problemas de salud crónicos, incluyendo enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2, y ciertos tipos de cáncer. La relación entre el estrés inducido por ruido y la función inmune subraya la importancia de abordar la contaminación acústica no solo como un problema de molestia ambiental, sino como un problema de salud pública significativo con implicaciones de largo alcance. Esta perspectiva amplía nuestra comprensión de los costos ocultos de la contaminación acústica, que van mucho más allá de los efectos inmediatos y obvios en la audición y el bienestar psicológico. Reconocer esta conexión entre el ruido ambiental, el estrés y la salud inmunológica proporciona un argumento poderoso para la implementación de políticas y medidas de mitigación más robustas contra la contaminación acústica en entornos urbanos y laborales.

Frente a la creciente evidencia de los efectos perniciosos de la contaminación acústica en la salud psicológica y física, se hace imperativo desarrollar estrategias integrales para mitigar sus impactos. Stankov & Stepančev (2022) sugieren la implementación de varios programas educativos para reducir los posibles efectos negativos del ruido en la salud humana, incluyendo el estrés. Este enfoque proactivo para gestionar la contaminación acústica y sus factores de estrés asociados es crucial. Tao et al. (2021) enfatizan la importancia de implementar políticas destinadas a reducir la contaminación acústica y la contaminación del aire en las zonas urbanas. Sus hallazgos sugieren que la planificación urbana debe incorporar estrategias para minimizar la exposición al ruido y a la

contaminación del aire, como la creación de espacios verdes, la mejora de la gestión del tráfico y el diseño de sistemas de transporte público más silenciosos.

Es decir, la reducción de la contaminación acústica requiere un enfoque integral que incluya el fomento del transporte público, medida que contribuye a disminuir el número de vehículos privados en circulación y, en consecuencia, el ruido generado por el tráfico. Asimismo, la promoción de vehículos eléctricos, caracterizados por un funcionamiento más silencioso que los motores de combustión interna, representa una alternativa eficaz para reducir el ruido urbano. Otra estrategia relevante es la instalación de barreras acústicas, como muros, vegetación u otras estructuras, que cumplen una función de absorción y bloqueo del sonido. Además, la regulación del ruido producido por actividades industriales y comerciales mediante normativas específicas permite establecer límites de emisión que minimizan su impacto sonoro en las zonas aledañas. Finalmente, el mejoramiento de la infraestructura vial, con diseños orientados a reducir el ruido, refuerza estas acciones y contribuye a un ambiente urbano más saludable y menos ruidoso.

Teniendo como base lo expuesto, es necesario aumentar la conciencia pública sobre los impactos del ruido y la contaminación del aire en la salud, y abogar por un monitoreo continuo de los niveles de contaminación. Siguiendo con lo anterior mencionado, la integración de los servicios de salud mental con las iniciativas de salud ambiental es crucial, reconociendo la estrecha relación entre los factores ambientales y el estrés. Estas estrategias multifacéticas, que abarcan desde intervenciones individuales hasta políticas públicas de amplio alcance, son esenciales para abordar eficazmente la contaminación acústica y sus efectos en el estrés. A nivel individual, la promoción de técnicas de manejo del estrés, como la meditación *mindfulness*, la relajación progresiva y las terapias cognitivo-conductuales, puede ayudar a las personas a desarrollar resiliencia frente al ruido. Estas técnicas no solo reducen la reactividad fisiológica ante el ruido, sino que también mejoran la percepción subjetiva del mismo, disminuyendo su impacto psicológico (Roth & Robbins, 2004; Marks et al., 2020).

En el ámbito laboral, es crucial que las organizaciones implementen políticas de reducción de ruido, proporcionen equipos de protección auditiva adecuados, y diseñen espacios de trabajo que minimicen la exposición al ruido. Además, Jackson & Morris (2022) sugieren la importancia de utilizar herramientas psicológicas para ayudar a las personas a adaptarse a ciertos niveles de ruido inevitable, como en el caso del tinnitus.

En este contexto, Pecho (2012) evaluó los efectos de la contaminación sonora en los trabajadores de Tajo Carahuacra Norte de la Volcán Compañía Minera S.A.A., implementando un programa de monitoreo que identificó puntos críticos donde los ruidos excedían los niveles permitidos. A través de medidas correctivas como la instalación de equipos de reducción de ruido, se logró mejorar la eficiencia laboral y la comodidad de los trabajadores, evidenciando la necesidad de un enfoque integral para gestionar el ruido en el entorno laboral.

En otros entornos laborales, como el hospital estudiado por Idrogo (2018), también se han documentado altos niveles de ruido que superan los límites permitidos. En el Hospital Provincial Docente Belén de Lambayeque, los niveles oscilaron entre 35.5 dBA y 124.9 dBA, superando el



límite máximo permisible de 50 dBA en varias áreas. Esta situación destaca la necesidad de medidas de mitigación efectivas. Se proponen capacitaciones sobre el impacto del ruido en la salud, señalización para fomentar el silencio y la distribución de materiales educativos para mejorar la gestión del ruido en el hospital.

Por ejemplo, un enfoque para mitigar el impacto del ruido en el entorno laboral incluye la regulación directa mediante límites máximos de emisión en las fuentes generadoras, intervención que, al establecer niveles precisos, garantiza una reducción de la exposición en toda la población. Junto a esta medida, la alteración del entorno informativo permite que trabajadores y empleadores tomen decisiones fundamentadas al contar con etiquetas en productos que indican los niveles de ruido emitido y mapas geográficos que identifican áreas prioritarias para evaluar y proteger. También se considera la modificación del entorno construido, planteada como una estrategia eficaz que adapta los espacios laborales para reducir la exposición al ruido de manera sostenible (Hammer et al., 2014).

Alfie Cohen y Salinas Castillo (2017) indican que la aplicación de un modelo de ciudad caminable podría ser un mecanismo efectivo para mitigar estos efectos negativos. Este modelo busca reducir el uso del transporte, fomentar la movilidad a pie y en bicicleta, y rehabilitar espacios públicos y áreas verdes. Estas medidas no solo contribuirían a disminuir.

A nivel comunitario, la implementación de programas de educación sobre los riesgos de la contaminación acústica y la promoción de "zonas de silencio" en áreas urbanas pueden contribuir a crear entornos más saludables. Can et al. (2020) destacan la importancia de abordar los cambios en las prácticas de movilidad y el desarrollo urbano para influir positivamente en los entornos sonoros urbanos. Por ejemplo, la reducción del uso de vehículos privados y la promoción de opciones de movilidad más sostenibles pueden disminuir la contaminación acústica y, en consecuencia, reducir la carga alostática y el estrés asociado.

Para una mitigación efectiva del ruido y la mejora de los entornos sonoros, Can et al. (2020) proponen la implementación de acciones específicas, modelos y modos de gobernanza en entornos urbanos. Estas estrategias, junto con las medidas a nivel comunitario y laboral, pueden contribuir significativamente a reducir la carga alostática y el estrés asociado con la contaminación acústica, mejorando así la salud mental y física de las urbanas. A nivel de políticas públicas, se requiere una regulación más estricta de los niveles de ruido permitidos en áreas residenciales y comerciales, así como inversiones en infraestructura urbana que reduzca la contaminación acústica, como barreras acústicas y pavimentos de bajo ruido.

Además, la integración de consideraciones acústicas en la planificación urbana y el diseño arquitectónico puede contribuir significativamente a crear entornos más silenciosos y saludables. La investigación continua en este campo es fundamental para refinar nuestra comprensión de los mecanismos por los cuales la contaminación acústica afecta la salud psicológica y física, y para desarrollar intervenciones más efectivas. Estudios longitudinales que examinen los efectos a largo plazo de la exposición al ruido en la carga alostática y la salud mental serían particularmente valiosos. Asimismo, la investigación interdisciplinaria que integre conocimientos de la



neurociencia, la psicología ambiental, la ingeniería acústica y la salud pública puede proporcionar *insights* cruciales para abordar este complejo problema (Reuben & Himschoot, 2021). En última instancia, abordar eficazmente la contaminación acústica y sus impactos en el estrés requiere un esfuerzo concertado y multifacético que involucre a individuos, comunidades, organizaciones y gobiernos. Solo a través de tal enfoque integral podremos esperar mitigar los efectos nocivos de la contaminación acústica y crear entornos más saludables y sostenibles para las generaciones presentes y futuras.

CONCLUSIONES

Este ensayo ha planteado y desarrollado la tesis de que la contaminación acústica es un factor significativo que contribuye al estrés, y que este efecto puede entenderse a través del modelo de carga alostática. A lo largo del análisis, se ha demostrado cómo la exposición continua al ruido activa crónicamente los sistemas de respuesta al estrés del cuerpo, llevando a una sobrecarga alostática con graves consecuencias para la salud mental, incluyendo la hipertensión, enfermedades cardiovasculares y trastornos del sueño. Sin embargo, si bien el modelo de carga alostática ofrece una explicación útil para estos efectos, también presenta limitaciones, especialmente en su capacidad para captar la complejidad de las respuestas individuales al estrés inducido por el ruido.

Este modelo no siempre considera adecuadamente las diferencias en la sensibilidad al ruido, las adaptaciones que algunas personas pueden desarrollar o la interacción de otros factores ambientales y sociales. En vista de la relevancia de este tema, es fundamental proponer una reflexión más amplia que integre este modelo con otras perspectivas teóricas para comprender mejor el impacto multifactorial del ruido en la salud psicológica. A partir de este análisis, se sugiere que futuras investigaciones profundicen en estas limitaciones y que se desarrollen políticas públicas más comprensivas que aborden las diversas dimensiones del estrés ambiental en entornos urbanos, con el fin de mejorar el bienestar psicológico y la salud pública en general.

El modelo de carga alostática, si bien valioso, presenta limitaciones significativas en su aplicación y conceptualización. La falta de estandarización en la medición de biomarcadores dificulta la comparación entre estudios, mientras que el predominio de diseños transversales limita la comprensión de relaciones causales. La variabilidad en la validez de las mediciones entre diferentes grupos etarios representa otro desafío importante. Asimismo, existe una notable divergencia entre algunos estudios y el concepto original de carga alostática, particularmente en la selección y uso de biomarcadores específicos. Los métodos actuales para cuantificar la carga alostática, basados principalmente en distribuciones muestrales, pueden no reflejar adecuadamente la realidad poblacional.

En este contexto, las futuras líneas de investigación podrían fortalecer significativamente la comprensión y aplicación del modelo de carga alostática de diversas maneras. Los estudios longitudinales a gran escala, empleando métodos estandarizados de medición, permitirían establecer patrones más robustos de cómo los biomarcadores evolucionan en diferentes poblaciones y contextos. La incorporación de técnicas de análisis más sofisticadas, como los



modelos multinivel y los análisis de trayectorias, podría ofrecer una visión más matizada de las interacciones entre los diferentes sistemas biológicos implicados.

Particularmente prometedor sería el desarrollo de investigaciones que integren mediciones continuas mediante tecnologías portátiles, permitiendo un seguimiento más preciso de las variaciones en los indicadores fisiológicos a lo largo del tiempo. Además, estudios que examinen específicamente la influencia de intervenciones conductuales y ambientales en los niveles de carga alostática podrían proporcionar información valiosa para el desarrollo de estrategias preventivas más efectivas.

REFERENCIAS

- Alfie Cohen, M., & Salinas Castillo, O. (2017). Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 32(1), 65–96. <https://doi.org/10.24201/edu.v32i1.1613>
- Amable Álvarez, I., Méndez Martínez, J., Delgado Pérez, L., Acebo Figueroa, F., de Armas Mestre, J., & Rivero Llop, M. L. (2017). Contaminación ambiental por ruido. *Revista Médica Electrónica*, 39(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242017000300024
- Arregi, A., Vegas, O., Lertxundi, A., Silva, A., Ferreira, I., Bereziartua, A., Cruz, M. T., & Lertxundi, N. (2024). Road traffic noise exposure and its impact on health: evidence from animal and human studies-chronic stress, inflammation, and oxidative stress as key components of the complex downstream pathway underlying noise-induced non-auditory health effects. *Environmental science and pollution research international*, 31(34), 46820–46839. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33973-9>
- Babisch, W. (2002). The noise/stress concept, risk assessment and research needs. *Noise and Health*, 4(16), 1-11. https://journals.lww.com/nohe/fulltext/2002/04160/the_noise_stress_concept_risk_assessment_and.1.aspx
- Bae, Y. S., Shin, E. C., Bae, Y. S., & Van Eden, W. (2019). Estrés e inmunidad. *Frontiers in Immunology*, 10(245), 1-2. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.00245>
- Can, A., L'hostis, A., Aumond, P., Coelho, M. C, Guarnaccia, C., Kang, J. & Botteldooren, D. (2020). The future of urban sound environments: Impacting mobility trends and insights for noise assessment and mitigation. *Applied Acoustics*. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107518>
- Calzadilla Pérez, O. O. (2022). Bases neuroeducativas del estrés y su relación con el rendimiento académico. *EduSol*, 22(79). <https://edusol.cug.co.cu:443/index.php/EduSol/article/view/60>

- Cortez, C., & Smith, C. (2023). *Evaluación de la contaminación acústica en la zona comercial del distrito de Chaupimarca-Pasco, en la calle Pedro Caballero y Lira mediante la elaboración de mapas de ruido-2022*. [Tesis de bachiller]. Universidad César Vallejo. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3573>
- Fan, Y., Liang, J., Cao, X., Pang, L., & Zhang, J. (2022). Effects of Noise Exposure and Mental Workload on Physiological Responses during Task Execution. *International journal of environmental research and public health*, 19(19), 12434. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912434>
- García, C. (2018). Estrés crónico: Ejemplo de interacción entre sistemas nervioso, inmuno y endocrino. *Revista CON-CIENCIA*, 6(2), 97-110. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-02652018000200010&lng=es&tlng=es
- Hammer, M. S., Swinburn, T. K., & Neitzel, R. L. (2014). Environmental noise pollution in the United States: developing an effective public health response. *Environmental health perspectives*, 122(2), 115–119. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307272>
- Hernández Peña, O., Hernández Montero, G., & López Rodríguez, E. (2019). Ruido y salud. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 48(4). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0138-65572019000400019
- Herrera-Covarrubias, D., Coria-Avila, G. A., Muñoz-Zavaleta, D. A., Graillet-Mora, O., Aranda-Abreu, G. E., Rojas-Durán, F., Hernández, M. E., & Ismail, N. (2017). Impacto del estrés psicosocial en la salud. *Revista eNeurobiología*, 8(17). <https://www.uv.mx/eneurobiologia/vols/2017/17/Herrera/HTML.html>
- Idrogo, A. (2018). *Niveles de ruido que se producen en el interior del Hospital Provincial Docente Belén De Lambayeque y que generan contaminación acústica* [Tesis doctoral, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/3039>
- Jackson, J., & Morris, B. (2022). Impact of the built asset on health and wellbeing: Contemporary review of tinnitus in the built environment, and effective interventions at work and home. *IDoBE International Conference*. <https://research.leedstrinity.ac.uk/en/publications/impact-of-the-built-asset-on-health-and-wellbeing-contemporary-re>
- Kuiper, M. W. M., Verhoeven, E. W. M., & Geurts, H. M. (2019). Stop Making Noise! Auditory Sensitivity in Adults with an Autism Spectrum Disorder Diagnosis: Physiological Habituation and Subjective Detection Thresholds. *Journal of autism and developmental disorders*, 49(5), 2116–2128. <https://doi.org/10.1007/s10803-019-03890-9>

- Marks, E., Smith, P., & McKenna, L. (2020). I Wasn't at War With the Noise: How Mindfulness Based Cognitive Therapy Changes Patients' Experiences of Tinnitus. *Frontiers in psychology*, *11*, 483. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00483>
- McEwen, B. S., & Wingfield, J. C. (2003). The concept of allostasis in biology and biomedicine. *Hormones and Behavior*, *43*(1), 2-15. [https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/S0018-506X\(02\)00024-7](https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/S0018-506X(02)00024-7)
- McEwen, B. S. (2000). The neurobiology of stress: from serendipity to clinical relevance. *Brain Research*, *886*(1-2), 172-189. [https://doi.org/10.1016/S0006-8993\(00\)02950-4](https://doi.org/10.1016/S0006-8993(00)02950-4)
- McEwen, B. S., & Stellar, E. (1993). Stress and the individual: Mechanisms leading to disease. *Archives of Internal Medicine*, *153*(18), 2093-2101. <https://doi.org/10.1001/archinte.1993.00410180039004>
- Münzel, T., Molitor, M., Kuntic, M., Hahad, O., Rössli, M., Engelmann, N., Basner, M., Daiber, A., & Sørensen, M. (2024). Transportation Noise Pollution and Cardiovascular Health. *Circulation research*, *134*(9), 1113–1135. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.123.323584>
- Norcliffe-Kaufmann L. (2022). Stress and the baroreflex. *Autonomic neuroscience: basic & clinical*, *238*, 102946. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2022.102946>
- Oblitas Chicoma, J. (2019). *Fuentes generadoras de contaminación acústica y niveles de ruido en la ciudad de Cutervo, provincia de Cutervo, región Cajamarca 2012* [Tesis de maestría, Universidad Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional de la Universidad Pedro Ruiz Gallo. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/6050>
- Oh, B., Yeo, Y.K., Wan, F., Wen, Y., Yang, Y., & Lin, Z. (2015). Effects of noisy sounds on human stress using ECG signals: An empirical study. *2015 10th International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS)*, 1-4. <http://dx.doi.org/10.1109/ICICS.2015.7459852>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Environmental noise guidelines for the European Region*. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/279952/9789289053563-eng.pdf>
- Pascuan, C. G., Uran, S. L., Gonzalez-Murano, M. R., Wald, M. R., Guelman, L. R., & Genaro, A. M. (2014). Immune alterations induced by chronic noise exposure: comparison with restraint stress in BALB/c and C57Bl/6 mice. *Journal of immunotoxicology*, *11*(1), 78–83. <https://doi.org/10.3109/1547691X.2013.800171>
- Pecho, O. F. (2012). *La contaminación sonora por los equipos pesados en la extracción de materiales en el tajo Carahuacra Norte Volcán Compañía Minera S.A.A.* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/2163>



- Recio Martín, A., Carmona-Alferez, R., Linares-Gil, C., Ortiz Burgos, C., Banegas, J. R., & Diaz-Jimenez, J. (2016). *Efectos del ruido urbano sobre la salud: Estudios de análisis de series temporales realizados en Madrid*. Instituto de Salud Carlos III, Escuela Nacional de Sanidad. <https://repisalud.isciii.es/handle/20.500.12105/5434>
- Reuben, A., & Himschoot, E. (2021). Nature as a mental health intervention: State of the science and programmatic possibilities for the conservation community. *Parks Stewardship Forum*, 37(2). <https://dx.doi.org/10.5070/P537253244>
- Roth, B., & Robbins, D. (2004). Mindfulness-based stress reduction and health-related quality of life: findings from a bilingual inner-city patient population. *Psychosomatic medicine*, 66(1), 113–123. <https://doi.org/10.1097/01.psy.0000097337.00754.09>
- Sander, E. (L.) J., Marques, C., Birt, J., Stead, M., & Baumann, O. (2021). Open-plan office noise is stressful: Multimodal stress detection in a simulated work environment. *Journal of Management & Organization*, 27(6), 1021–1037. <https://doi.org/10.1017/jmo.2021.17>
- Schnorpfeil, P., Noll, A., Schulze, R., Ehlert, U., Frey, K., & Fischer, J. E. (2003). Allostatic load and work conditions. *Social science & medicine (1982)*, 57(4), 647–656. [https://doi.org/10.1016/s0277-9536\(02\)00407-0](https://doi.org/10.1016/s0277-9536(02)00407-0)
- Seidman, M. D., & Standring, R. T. (2010). Noise and quality of life. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(10), 3730–3738. <https://doi.org/10.3390/ijerph7103730>
- Stankov, S., & Stepančev, B. (2022). Noise and its influence on human health. *Medicinski časopis*, 56(2), 77–83. <https://doi.org/10.5937/mckg56-38021>
- Tao, Y., Kou, L., Chai, Y., & Kwan, M.-P. (2021). Associations of co-exposures to air pollution and noise with psychological stress in space and time: A case study in Beijing, China. *Environmental Research*, 196, 110399. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110399>
- Williams, Z. J., He, J. L., Cascio, C. J., & Woynaroski, T. G. (2021). A review of decreased sound tolerance in autism: Definitions, phenomenology, and potential mechanisms. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 121, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.11.030>
- Xie, L., Liu, B., Wang, X., Mei, M., Li, M., Yu, X., & Zhang, J. (2017). Effects of different stresses on cardiac autonomic control and cardiovascular coupling. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 122(3), 435–445. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00245.2016>
- Yaribeygi, H., Panahi, Y., Sahraei, H., Johnston, T. P., & Sahebkar, A. (2017). the impact of stress on body function: a review. *EXCLI Journal*, 16, 1057–1072. <https://doi.org/10.17179/excli2017-480>