

ESTUDIOS ORIGINALES

Impacto del ruido en la estabilidad hemodinámica del ictus: monitorización predictiva como mejora del cuidado

Impact of noise on hemodynamic stability in stroke: predictive monitoring as a means of improving care

Antonio Rafael Cano Manchón¹, M^a Pilar Prieto Alaguero², Aránzazu Díaz Testillano³, Sergio González Álvarez⁴, Josué Pagán Ortiz⁵, Roi Arias Salve⁶

¹ Supervisor de Área Funcional Hospitalización, Urgencias y Farmacia Hospital Universitario de la Princesa. Máster Universitario en Cuidados médico-quirúrgicos y rehabilitación en el paciente neurológico. Profesor Clínico Asociado Ciencias de la Salud Grado de Enfermería UAM.

² Directora de Enfermería Hospital Universitario de la Princesa. Experto Universitario en Enfermería Quirúrgica, Anestesia y Reanimación. Experto Universitario en Gestión de Servicios de Enfermería. Máster en formación y gestión.

³ Subdirectora de Enfermería del Hospital Universitario de La Princesa. Experta en Área Quirúrgica y Reanimación. Máster en Gestión Clínica Avanzada. Profesora Asociada en el Departamento de Enfermería de la UAM.

⁴ Supervisor de Área Funcional en Procesos Enfermeros e I+D+I en el Hospital Universitario de la Princesa. Profesor Clínico Asociado Ciencias de la Salud Grado de Enfermería UAM. Máster en Ciencias de la Enfermería. Máster en Gestión y Liderazgo en Cuidados de Enfermería. Experto Universitario en búsqueda bibliográfica y lectura crítica para la investigación en enfermería.

⁵ Profesor en la Universidad Politécnica de Madrid. Doctor en informática por la UCM.

⁶ Licenciado en Ciencias Físicas. MBA en comercio exterior. Administrador y Director Técnico PdAudio.

X Premios de Investigación CODEM 2025. Segundo premio.

DOI: <https://doi.org/10.60108/ce.402>

Cómo citar este artículo: Cano Manchón, A.R. y otros, Impacto del ruido en la estabilidad hemodinámica del ictus: monitorización predictiva como mejora del cuidado. Conocimiento Enfermero 33 (2026): 47-63.

Disponible en: <http://www.conocimientoenfermero.es>

RESUMEN

Introducción. El ruido ambiental hospitalario actúa como un estresor biológico con implicaciones clínicas en pacientes con ictus, especialmente durante las primeras 48 horas, periodo de alta vulnerabilidad neurológica y hemodinámica. Identificar factores ambientales modificables es prioritario para mejorar la seguridad y la calidad de los cuidados.

Objetivo. Analizar la relación entre el ruido ambiental y la estabilidad fisiológica en pacientes ingresados en una Unidad de Ictus, y analizar la utilidad predictiva de las variables acústicas para clasificar el estado fisiológico del paciente.

Métodos. Estudio observacional analítico retrospectivo realizado en una Unidad de Ictus de un hospital de nivel III de complejidad asistencial. Se incluyeron 74 pacientes. Se integraron datos clínicos, demográficos, de monitorización fisiológica continua y ruido ambiental durante las primeras 48 horas de ingreso. Se aplicaron modelos autorregresivos multivariantes, análisis comparativos por cuartiles y rangos fisiológicos, modelos supervisados LSTM y Random Forest con validación subject-wise.

Resultados. El ruido ambiental se asoció de forma significativa con la variabilidad de la frecuencia respiratoria, cardíaca y saturación periférica de oxígeno, con un patrón temporal en los minutos previos a la alteración fisiológica. También se observaron diferencias en el ruido medio asociado a determinados eventos rítmicos. Los modelos predictivos alcanzaron un rendimiento consistente ($F1=75,6\%$), y las variables acústicas figuraron entre las más relevantes.

Conclusiones. El ruido ambiental constituye una variable clínica informativa y modificable en la Unidad de Ictus. Los hallazgos aportan evidencia para el diseño de intervenciones enfermeras dirigidas al control del entorno terapéutico, la seguridad del paciente y la neuroprotección.

Palabras clave: accidente cerebrovascular; cuidados de enfermería; ruido; monitoreo fisiológico.

ABSTRACT

Introduction. Hospital ambient noise serves as a biological stressor with significant clinical implications for stroke patients, particularly within the first 48 hours, a critical window of neurological and haemodynamic vulnerability. Identifying modifiable environmental factors is a priority for enhancing patient safety and quality of care.

Objective. To examine the relationship between environmental noise and physiological stability in patients admitted to a Stroke Unit, and to evaluate the predictive utility of acoustic variables in classifying patient physiological status.

Methods. A retrospective observational analytical study was conducted in a Stroke Unit of a Level III hospital, including 74 patients. Clinical, demographic, continuous physiological monitoring and ambient noise data were collected during the first 48 hours of admission. Data analysis employed multivariate autoregressive models, quartile-based comparative analysis and physiological range assessments. Furthermore, supervised LSTM and Random Forest models with subject-wise validation were implemented.

Results. Environmental noise was significantly associated with variability in respiratory rate, heart rate and peripheral oxygen saturation, revealing a distinct temporal pattern in the minutes preceding physiological fluctuations. Significant differences were observed in mean noise levels associated with specific rhythmic events. The predictive models demonstrated consistent performance ($F1 = 75.6\%$), with acoustic variables were identified as key predictors.

Conclusions. Environmental noise is an informative and modifiable clinical variable within Stroke Unit. These findings provide empirical evidence to support the desing of nursing interventions focused on environmental control, patient safety and neuroprotection.

Keywords: monitoring physiologic; noise; nursing care; stroke.

1. Introducción

El ictus constituye un importante problema de salud pública por su elevada carga de mortalidad, discapacidad y dependencia, así como por su impacto sanitario, social y económico [1]. En Europa, la mejora de la atención al ictus continúa siendo una prioridad estratégica, especialmente en el desarrollo de modelos asistenciales capaces de garantizar una atención especializada, precoz, segura y basada en la evidencia [2].

La atención en unidades específicas de ictus representa uno de los modelos organizativos con mayor impacto demostrado sobre los resultados clínicos. La evidencia disponible muestra que los pacientes atendidos en unidades de ictus presentan mayor supervivencia, mejor recuperación funcional y mayor probabilidad de regresar a su domicilio que aquellos hospitalizados fuera de este entorno especializado [3]. Este beneficio no depende exclusivamente de las terapias etiológicas o de la vigilancia neurológica, sino también de la capacidad del equipo asistencial para prevenir complicaciones, detectar precozmente el deterioro clínico y mantener la estabilidad fisiológica durante la fase aguda [3,4].

Las primeras 48 horas tras el ictus constituyen un periodo de especial vulnerabilidad clínica. Durante esta fase, alteraciones en parámetros como la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria o la saturación periférica de oxígeno pueden acompañar o preceder situaciones de empeoramiento, por lo que la monitorización continua y el control del entorno adquieren una relevancia asistencial decisiva [4-7]. Desde la perspectiva enfermera, esta vigilancia no se limita al registro de constantes, sino que implica interpretar cambios sutiles, anticipar complicaciones y actuar sobre factores potencialmente modificables del entorno terapéutico.

Entre esos factores, el ruido ambiental hospitalario ha adquirido un interés creciente. La literatura muestra que los niveles de ruido en hospitales superan con frecuencia los umbrales recomendados y pueden afectar negativamente tanto a pacientes como a profesionales [8,9]. En los pacientes, el exceso de ruido se ha relacionado con alteración del sueño, aumento del estrés, malestar, agitación y cambios fisiológicos, incluidos incrementos de la frecuencia cardíaca y respiratoria [10-12]. Además, la mejora del acondicionamiento acústico se ha asociado

en determinados contextos con mejor descanso, menor medicación adicional y mejores parámetros fisiológicos durante el ingreso [13-15].

El impacto del ruido no se limita al paciente. También puede dificultar la comunicación clínica, aumentar la carga cognitiva y afectar al desempeño del profesional sanitario en entornos de alta complejidad asistencial [8,16-18]. Esta dimensión resulta especialmente relevante para enfermería, ya que la calidad del cuidado depende no solo de la vigilancia clínica, sino también de la capacidad del equipo para organizar el entorno, priorizar tareas, reducir interrupciones evitables y sostener unas condiciones terapéuticas seguras.

Desde el punto de vista fisiopatológico, la plausibilidad biológica de estos efectos está bien sustentada. La exposición al ruido puede activar el sistema nervioso autónomo y la respuesta neuroendocrina al estrés, favoreciendo alteraciones del sueño, aumento de la frecuencia cardíaca, estrés oxidativo, disfunción vascular y otros cambios con potencial repercusión cerebrovascular y cardiovascular [19,20]. Aunque gran parte de esta evidencia procede de investigación ambiental, cardiovascular y de cuidados críticos, sus mecanismos resultan relevantes en pacientes con ictus, cuya autorregulación fisiológica puede estar comprometida durante la fase aguda.

Pese a ello, el papel específico del ruido ambiental como variable clínica en pacientes ingresados en una Unidad de Ictus sigue insuficientemente investigado. Esta laguna de conocimiento es importante porque el entorno acústico, a diferencia de otros determinantes biológicos no modificables, constituye un factor potencialmente intervenible desde la práctica enfermera. Analizar su relación con variables de monitorización fisiológica continua permite ampliar la comprensión del cuidado enfermero, incorporando el entorno terapéutico como un determinante clínico medible y potencialmente modificable.

2. Justificación

La relevancia sanitaria de este estudio radica en que aborda un factor modificable del entor-

no asistencial en un momento de máxima vulnerabilidad clínica. En el paciente con ictus, mantener la estabilidad fisiológica durante la fase aguda constituye un objetivo esencial del cuidado, estrechamente relacionado con la seguridad del paciente, la prevención de complicaciones y la recuperación clínica.

En el contexto de la práctica enfermera, este aspecto cobra una relevancia profesional destacada. El profesional de enfermería mantiene una presencia continuada junto al paciente, lidera una buena parte de la monitorización clínica, detecta precozmente signos de deterioro y organiza el entorno terapéutico. Por ello, generar evidencia sobre el ruido ambiental como variable asistencial aporta una base científica útil para orientar las intervenciones enfermeras dirigidas al control de alarmas, la organización de cuidados, la reducción de interrupciones evitables y la protección del descanso del paciente.

El interés social del trabajo es también notable. Mejorar el entorno acústico hospitalario puede beneficiar no solo a los pacientes, sino también a sus familias y a los profesionales, al favorecer una atención más segura, más humana y potencialmente más eficiente (5,7). La identificación de factores ambientales modificables puede contribuir, además, a una mejor experiencia de hospitalización y a una mayor calidad percibida de los cuidados.

Desde una perspectiva teórica y científica, el estudio resulta pertinente porque aborda una cuestión todavía poco desarrollada en la investigación clínica del ictus: la relación entre entorno acústico y respuesta fisiológica monitorizada de forma continua. Su originalidad reside en integrar datos clínicos, fisiológicos y acústicos en una misma arquitectura temporal y en situar el entorno terapéutico como una variable clínicamente informativa y susceptible de intervención enfermera.

Desde una perspectiva ética, el estudio se justifica por orientarse a identificar un posible riesgo ambiental evitable en una población especialmente vulnerable. Investigar el impacto del ruido en pacientes con ictus se alinea con los principios de beneficencia y no maleficencia, al buscar oportunidades de mejora del entorno

asistencial para minimizar daño potencial y optimizar la calidad del cuidado.

3. Pregunta de investigación

En pacientes ingresados en una Unidad de Ictus durante las primeras 48 horas de hospitalización, ¿se relacionan los niveles de ruido ambiental con alteraciones en la estabilidad fisiológica monitorizada del paciente? Además, ¿la incorporación de variables acústicas mejora la capacidad predictiva para identificar el estado fisiológico?.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

- Analizar la relación entre los niveles de ruido ambiental y la estabilidad fisiológica de los pacientes ingresados en una Unidad de Ictus durante las primeras 48 horas de estancia hospitalaria, mediante variables de monitorización fisiológica continua y eventos rítmicos; así como analizar la utilidad predictiva de las variables acústicas para identificar el estado fisiológico del paciente.

4.2. Objetivos específicos

- Determinar la asociación entre los niveles de ruido ambiental y las variaciones en la frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y saturación periférica de oxígeno en pacientes con ictus ingresados en una Unidad de Ictus.
- Analizar la relación temporal entre la exposición al ruido ambiental y la aparición de alteraciones fisiológicas, considerando distintos desfases temporales previos al cambio registrado.
- Analizar la relación entre los niveles de ruido ambiental y la aparición de eventos rítmicos durante el periodo de monitorización.
- Evaluar la influencia de variables sociodemográficas, concretamente edad y sexo, en la respuesta fisiológica asociada al ruido ambiental.

- Desarrollar y evaluar modelos predictivos explicables basados en inteligencia artificial para estimar el estado fisiológico del paciente a partir de variables fisiológicas y del entorno acústico.

5. Hipótesis

En pacientes ingresados en una Unidad de Ictus, niveles más elevados de ruido ambiental se asocian con mayor probabilidad de alteración de la estabilidad fisiológica monitorizada, expresada mediante cambios en la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria, la saturación periférica de oxígeno y la aparición de eventos rítmicos.

6. Material y método

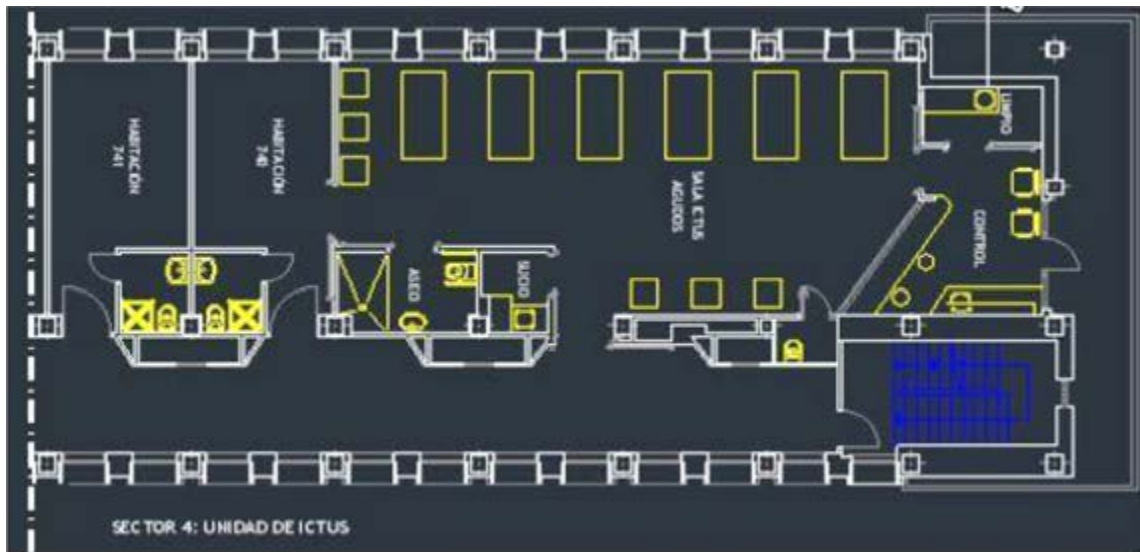
6.1. Diseño del estudio

Se realizó un estudio observacional analítico retrospectivo orientado a analizar la relación entre la exposición al ruido ambiental y la estabilidad fisiológica de pacientes ingresados en una Unidad de Ictus, así como analizar la utilidad predictiva de variables fisiológicas y acústicas para identificar cambios en el estado fisiológico del paciente. El análisis se centró en las primeras 48 horas de ingreso, por considerarse el periodo de mayor vulnerabilidad clínica y de mayor interés para la monitorización continua del paciente con ictus, en consonancia con la relevancia de la vigilancia estrecha en la fase aguda descrita en la literatura [3-7].

6.2. Ámbito del estudio

El estudio se desarrolló en la Unidad de Ictus de un hospital público de tercer nivel asistencial, utilizando información procedente de las seis camas monitorizadas disponibles. La recogida de datos abarcó el periodo comprendido entre octubre de 2023 y febrero de 2024, mientras que el procesamiento de los datos, el análisis estadístico, el modelado predictivo y la interpretación final de resultados se llevaron a cabo has-

FIGURA 1. Distribución espacial de la Unidad de Ictus y localización de las camas monitorizadas incluidas en el estudio.



ta mediados de 2025. La disposición espacial de la unidad y del entorno asistencial monitorizado se muestra en la Figura 1.

6.3. Población del estudio

La población de estudio estuvo constituida por 74 pacientes ingresados en la Unidad de Ictus con diagnóstico de ictus isquémico o hemorrágico. La selección se realizó mediante un proceso de prefiltrado de las distintas fuentes de información, con el fin de garantizar la coherencia clínica y temporal del conjunto de datos analizado.

6.4. Criterios de inclusión

- Diagnóstico de ingreso compatible con ictus, identificado mediante la presencia en la descripción clínica o diagnóstico principal de alguna de las siguientes expresiones: infarto cerebral, hemorragia cerebral, hemorragia intracerebral o ictus.
- Disponibilidad de registros de monitorización fisiológica durante las primeras 48 horas de estancia con al menos una de las variables de interés: frecuencia cardíaca (FC), saturación periférica de oxígeno (SpO_2), frecuencia respiratoria (FR) y eventos rítmicos (EstRit).

- Disponibilidad de al menos un intervalo continuo de registros de ruido ambiental durante las primeras 48 h. de estancia en la unidad.

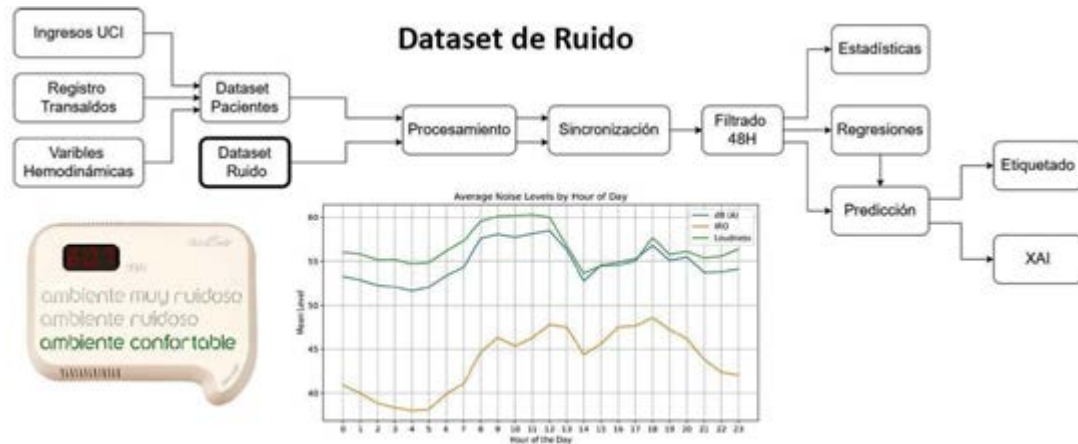
6.5. Criterios de exclusión

- Pacientes sin registro fisiológico útil dentro de las primeras 48 horas de ingreso.
- Episodios en los que no fue posible vincular temporalmente el diagnóstico, los movimientos del paciente, la monitorización fisiológica y los registros de ruido ambiental.
- Registros con artefactos, pérdidas de señal o inconsistencias que impidieran una depuración razonable del dato.
- Episodios sin intervalos continuos de ruido ambiental válidos para el análisis temporal planteado.
- Duplicidades o fragmentaciones del episodio asistencial que impidieran reconstruir una secuencia temporal válida.

6.6. Fuentes de información y recogida de datos

La arquitectura analítica se construyó mediante la integración de cuatro fuentes principales de información:

FIGURA 2. Flujo de integración de fuentes clínicas, fisiológicas y acústicas para la construcción del conjunto de datos analítico.



- Registros de ingreso, de los que se obtuvieron variables demográficas y diagnóstico principal.
- Movimientos de pacientes, que permitieron identificar la localización precisa del paciente en las camas monitorizadas de la Unidad de Ictus.
- Monitorización fisiológica continua, procedente del sistema Philips PIIC iX, con registros cada 30 segundos (Anexo 1).
- Monitorización acústica ambiental, con registros minuto a minuto procedentes del sistema de sonometría ambiental utilizado en la unidad (Anexo 2).

La integración de estas fuentes permitió construir una secuencia temporal común paciente- entorno, vinculando para cada sujeto la evolución de las variables fisiológicas con los niveles de ruido ambiental registrados durante las primeras 48 horas de ingreso. El flujo de integración de fuentes y el esquema metodológico general se muestran en la Figura 2.

6.7. Variables del estudio

- **Variable principal de exposición.** La variable principal de exposición fue el ruido ambiental, expresado en dBA. En el análisis también se incorporó la métrica IRO como variable acústica complementaria (Anexo 3).
- **Variables principales de resultado.** Las variables fisiológicas analizadas como indica-

dores de estabilidad fisiológica fueron: FC, FR, SpO₂ y EstRit.

- **Covariables.** Se incluyeron como covariables edad y sexo, por su posible influencia sobre la respuesta fisiológica y como variables de ajuste en los modelos analíticos.

6.8. Variable derivada para el modelado predictivo

Para la fase predictiva se definió una variable binaria de estado fisiológico del paciente:

- Estado 0: dentro de los rangos de normalidad.
- Estado 1: fuera de los rangos de normalidad.

La categorización se basó en los rangos clínicos empleados en el estudio:

- FC: 45-120 lpm.
- FR: 12-18 rpm.
- SpO₂: 90-100 %.

6.9. Preprocesamiento y control de calidad del dato

Con el fin de garantizar la calidad analítica de la base de datos, se aplicó un procedimiento de depuración que incluyó:

- Eliminación de valores atípicos mediante el rango intercuartílico (IQR).
- Interpolación lineal en huecos de registro inferiores a 2 minutos.

Además, la estructura temporal de los datos permitió explorar la relación entre el ruido y la respuesta fisiológica mediante retardos temporales de hasta 30 minutos previos a la alteración registrada.

6.10. Análisis estadístico

El análisis estadístico y el modelado predictivo se programaron en Python v3.10. El procesamiento descriptivo, las pruebas de contraste de hipótesis y los análisis de regresión y varianza se ejecutaron con las librerías *scipy* y *statsmodels*. Para el ajuste de modelos de regresión lineal y análisis de covarianza (ANCOVA) se utilizó *statsmodels.formula.api*, junto con *anova_lm* del paquete *statsmodels.api* v0.14.4. Para el aprendizaje no supervisado se empleó *scikit-learn* v1.5.2 y, para el modelado predictivo, *Random Forest* de *sklearn.ensemble* y una red neuronal LSTM implementada con *Keras* v3.8.0 sobre *TensorFlow* v2.18.0. La interpretabilidad de los modelos se abordó mediante *SHapley Additive* *exPlanations* (*SHAP*) v0.46.0.

Para estudiar diferencias entre niveles de exposición acústica se compararon medias entre cuartiles de ruido, utilizando pruebas de contraste y estimando además el tamaño del efecto mediante *d* de Cohen.

En el análisis de eventos rítmicos se comparó el nivel medio de ruido registrado durante la aparición del evento frente al observado en ritmo sinusal como grupo de comparación.

Además del análisis continuo de variables, se estudió la distribución de la métrica acústica según rangos de normalidad clínica de FC, FR y SpO₂, permitiendo comparar grupos fisiológicos por debajo, dentro o por encima de la normalidad establecida.

Para explorar la dinámica temporal de la asociación entre el ruido y las constantes fisiológicas se aplicó un modelo autorregresivo multivariante ajustado por edad, sexo y valor previo de la propia variable fisiológica, formulado de esta forma:

$$\text{var} = \alpha + \beta_1 \cdot \text{vart-1} + \beta_2 \cdot \text{noiset-x} + \beta_3 \cdot \text{AGE} + \gamma \cdot \text{SEX} + \varepsilon$$

donde *var* representa la variable fisiológica analizada, *vart-1* su valor previo inmediato y *noiset-x* el nivel de ruido con distintos desfases temporales.

Como análisis complementario de exploración de patrones fisiológicos se aplicaron algoritmos de aprendizaje no supervisado K-Means y DBSCAN, cuyo resultado se presenta en el Anexo 4 por su carácter secundario respecto al objetivo principal del estudio.

Con el objetivo de explorar la utilidad predictiva de las variables fisiológicas y acústicas, se entrenaron modelos supervisados para clasificar el estado del paciente utilizando los 5 minutos previos de historia fisiológica y ambiental para predecir el estado en los 5 minutos siguientes. La validación del rendimiento se realizó mediante un esquema *subject-wise* de 5 folds, garantizando que la evaluación se llevara a cabo sobre pacientes no incluidos en el entrenamiento. Para el modelo *Random Forest* se utilizaron los siguientes hiperparámetros: *n_estimators* = 100, *max_depth* = 20, *min_samples_split* = 9 y *min_samples_leaf* = 6. La arquitectura LSTM incluyó dos capas de 64 unidades, regularización L2 = 0,001, capas de dropout de 0,1 y 0,5, y una capa de salida densa con activación sigmoide para clasificación binaria.

7. Resultados del estudio

El estudio incluyó una muestra final de 74 pacientes ingresados en la Unidad de Ictus, analizándose las primeras 48 horas de estancia con la integración de datos clínicos, fisiológicos y acústicos. Para el modelado predictivo, la variable derivada de estado fisiológico mostró una distribución de 54,46% de registros en situación de normalidad y 45,54% en situación alterada.

El análisis lineal simple mostró coeficientes de determinación bajos en la relación entre ruido y variables fisiológicas, lo que indicó que la asociación no podía explicarse mediante un modelo lineal univariable (Figura 3).

Tras el ajuste multivariante, se observaron asociaciones estadísticamente significativas entre el ruido ambiental y las variables fisiológicas analizadas. La frecuencia respiratoria mos-

FIGURA 3. Relación lineal exploratoria entre la métrica acústica IRO y las variables fisiológicas monitorizadas durante las primeras 48 horas de ingreso.

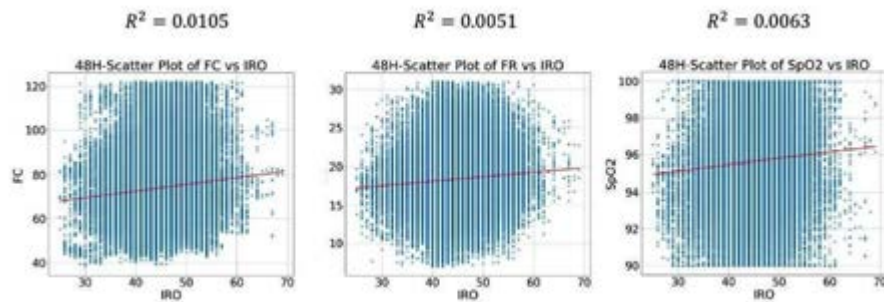


FIGURA 4. Asociación temporal entre las variables acústicas y las constantes fisiológicas en el modelo autorregresivo multivariante ajustado.

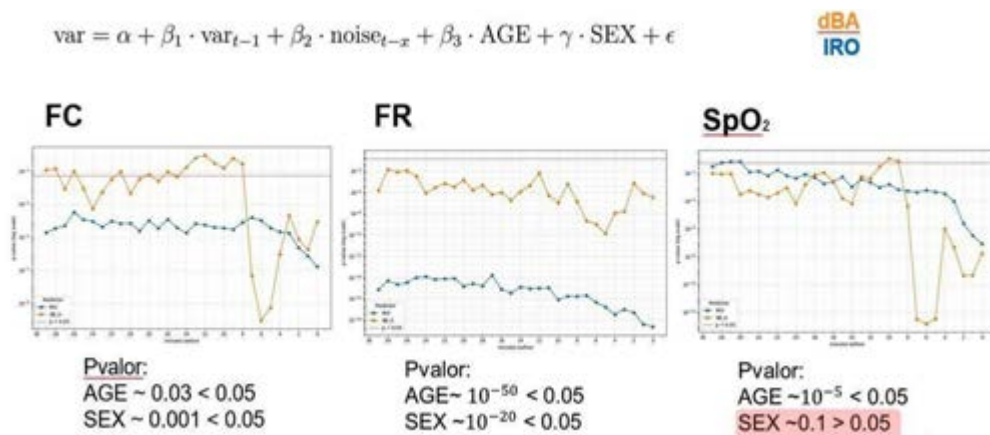
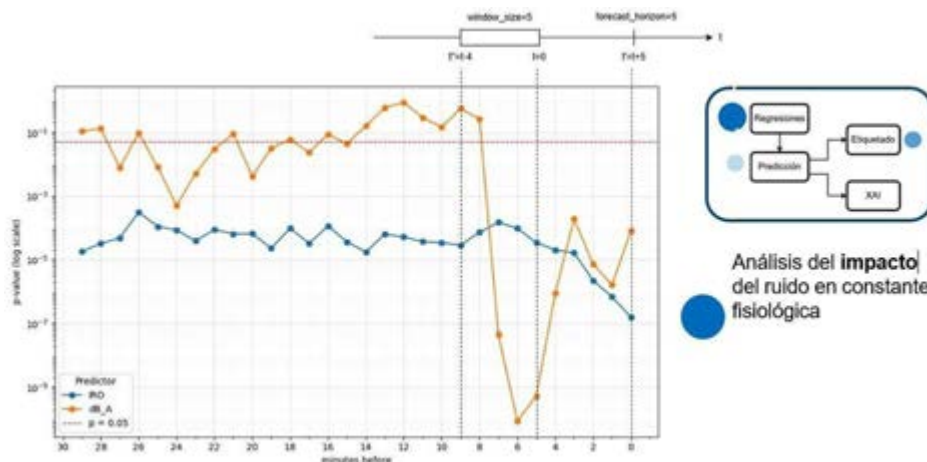


FIGURA 5. Ejemplo ampliado de la ventana temporal de asociación entre ruido ambiental y alteraciones de las constantes fisiológicas.



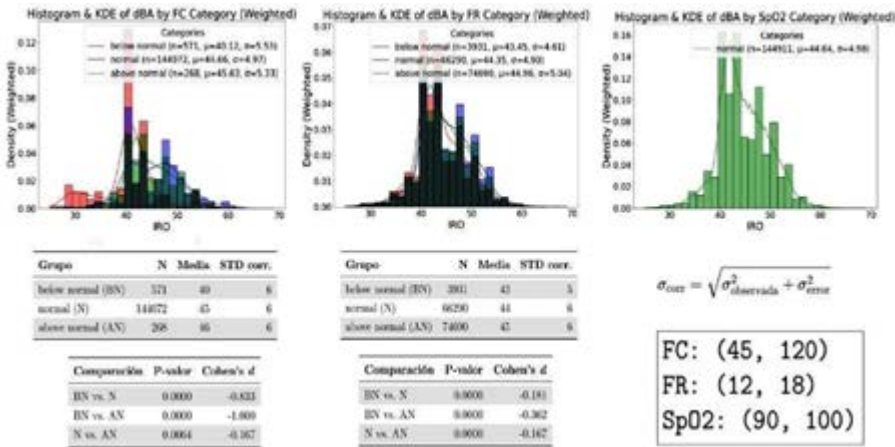
tró una significación baja y sostenida a lo largo de la ventana temporal analizada, configurándose como la variable fisiológica más sensible al estrés acústico. En la frecuencia cardiaca, los p-valores del impacto del ruido en dBA descen-

dieron por debajo de 10^{-8} entre el minuto -6 y el minuto 0 previos a la medición. En la saturación de oxígeno se observó un patrón similar, con p-valores inferiores a 10^{-8} desde el minuto -9. Además, en los modelos de frecuencia

FIGURA 6. Diferencias entre cuartiles de exposición acústica en FC, FR y SpO₂, con estimación del tamaño del efecto.

Log	Q	N	FC				FR				SpO ₂			
			Media	STD	P-valor	Cohen's d	Media	STD	P-valor	Cohen's d	Media	STD	P-valor	Cohen's d
0	Q1	38717	71.59	14.34	0	-0.2277	18.07	3.69	5.029e-93	-0.1211	95.43	2.36	1.717e-88	-0.1207
0	Q2	38798	73.73	15.04	1.977e-06	-0.0285	18.25	3.74	4.041e-17	-0.0509	95.65	2.25	0.2576	0.0066
0	Q3	34964	75.41	14.73	5.244e-88	0.1220	18.54	3.58	1.114e-19	0.0552	95.70	2.28	1.306e-09	0.0371
0	Q4	32432	75.87	14.70	3.077e-141	0.1594	18.77	3.55	9.344e-106	0.1357	95.79	2.25	5.98e-86	0.0803
1	Q1	37977	71.53	14.31	0	-0.2316	18.07	3.61	1.659e-88	-0.1191	95.45	2.36	1.683e-74	-0.1116
1	Q2	38673	73.73	15.04	2.401e-06	-0.0284	18.26	3.74	1.137e-16	-0.0503	95.65	2.25	0.3504	0.0055
1	Q3	34759	75.39	14.71	5.017e-87	0.1216	18.53	3.57	4.32e-18	0.0529	95.70	2.28	3.350e-09	0.0363
1	Q4	31974	75.90	14.73	1.126e-144	0.1627	18.77	3.55	4.888e-103	0.1350	95.78	2.28	3.01e-37	0.0806
5	Q1	37060	71.46	14.31	0	-0.2354	18.08	3.60	7.317e-83	-0.1161	95.48	2.36	1.143e-56	-0.0979
5	Q2	38490	73.76	15.06	5.882e-05	-0.0213	18.26	3.75	1.234e-15	-0.0488	95.66	2.25	0.138	0.0087
5	Q3	34613	75.35	14.65	3.289e-83	0.1190	18.50	3.57	6.573e-12	0.0420	95.70	2.28	6.093e-08	0.0334
5	Q4	31479	75.89	14.77	2.079e-142	0.1629	18.79	3.55	2.804e-110	0.1409	95.76	2.28	1.426e-23	0.0636
10	Q1	36344	71.45	14.28	0	-0.2347	18.09	3.60	8.85e-73	-0.1095	95.51	2.37	1.221e-38	-0.0810
10	Q2	38259	73.82	15.07	0.002663	-0.0182	18.26	3.76	1.567e-14	-0.0471	95.68	2.23	0.006575	0.0160
10	Q3	34404	75.31	14.54	5.053e-79	0.1163	18.48	3.56	1.67e-08	0.0346	95.70	2.29	4.45e-06	0.0294
10	Q4	31051	75.81	14.80	1.091e-129	0.1565	18.78	3.56	4.898e-106	0.1391	95.72	2.28	1.345e-10	0.0411

FIGURA 7. Distribución del ruido ambiental según categorías de normalidad fisiológica de FC, FR y SpO₂.



cardiaca se observaron asociaciones significativas de las covariables edad y sexo.

La dinámica temporal de la asociación entre ruido y constantes fisiológicas mostró un patrón consistente en los minutos previos a la alteración registrada, lo que refuerza la relevancia clínica del entorno sonoro dentro de la monitorización del paciente con ictus (Figuras 4 y 5).

Al comparar los cuartiles extremos de exposición acústica, se identificaron diferencias significativas en las constantes fisiológicas. El ajuste por tamaño muestral mediante d de Cohen mostró que, aunque algunos tamaños del efecto fueron pequeños, especialmente en frecuencia cardiaca, la elevada significación estadística observada en el conjunto de registros reforzó que dichas diferencias no eran atribuibles al azar (Figura 6).

En el análisis por rangos de normalidad clínica, la exposición acústica mostró distribuciones diferenciadas según los estados fisiológicos definidos para FC, FR y SpO₂, lo que apoyó la utilidad del ruido como variable asociada al estado fisiológico del paciente y como insumo válido para la fase predictiva (Figura 7).

En relación con los eventos rítmicos, se observaron diferencias estadísticamente significativas en el nivel medio de ruido ambiental durante la aparición de determinados eventos frente al ritmo sinusal basal. En concreto, el bigemismo ventricular se asoció a una media de 57 dBA, aproximadamente 1 dB por encima del basal, con $p < 0,001$. La bradicardia supraventricular se observó con una media de 56 dBA, mientras que el ritmo ventricular se asoció a niveles medios algo menores, de 54 dBA (Figuras 8 y 9).

FIGURA 8. Distribución de eventos rítmicos según el nivel de exposición acústica registrado durante su aparición.

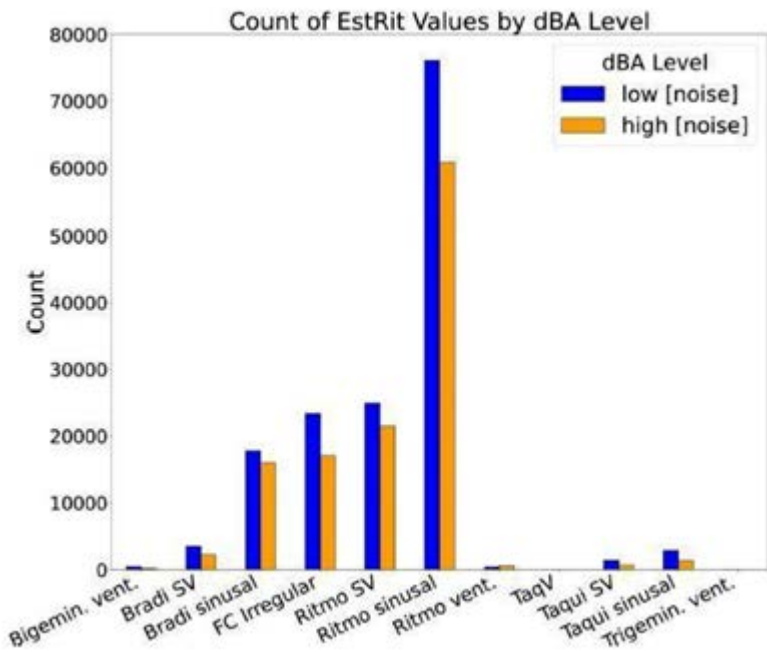


FIGURA 9. Comparación del nivel medio de ruido ambiental asociado a cada evento rítmico frente al ritmo sinusal basal.

Evento	N	Media (dBA)	STD corr.	P-valor
Bigemin. vent.	643	57	5	0.0000
Bradi SV	5738	56	5	1.0000
Bradi sinusal	33833	55	6	0.0000
FC Irregular	40450	56	6	1.0000
Ritmo SV	46472	56	6	1.0000
Ritmo vent.	961	54	6	0.0000
TaqV	1	50	-	-
Taqui SV	2102	56	5	1.0000
Taqui sinusal	4207	56	5	1.0000
Trigemin. vent.	7	60	6	0.0778
Ritmo sinusal	136932	56	6	1.0000

Grupo de comparación

En la fase de modelado predictivo, tanto el modelo LSTM como el modelo Random Forest alcanzaron un rendimiento muy similar. El modelo LSTM obtuvo un F1-score de $75,66 \pm 4,98$, mientras que el modelo Random Forest alcanzó un F1-score de $75,55 \pm 5,09$. Estos resultados indican una capacidad de clasificación consistente del estado fisiológico del paciente a partir de variables fisiológicas y acústicas.

El análisis de interpretabilidad mediante SHAP mostró que la frecuencia respiratoria fue la variable fisiológica más relevante en la predicción del estado fisiológico, y que las variables acústicas, especialmente dBA e IRO, aparecieron de forma consistente entre las características más relevantes del modelo. En el modelo LSTM, el ruido en dBA se situó entre las variables con mayor contribución predictiva (Figuras 10 y 11).

FIGURA 10. Rendimiento del modelo LSTM e interpretabilidad de las variables incluidas en la predicción del estado fisiológico monitorizado.

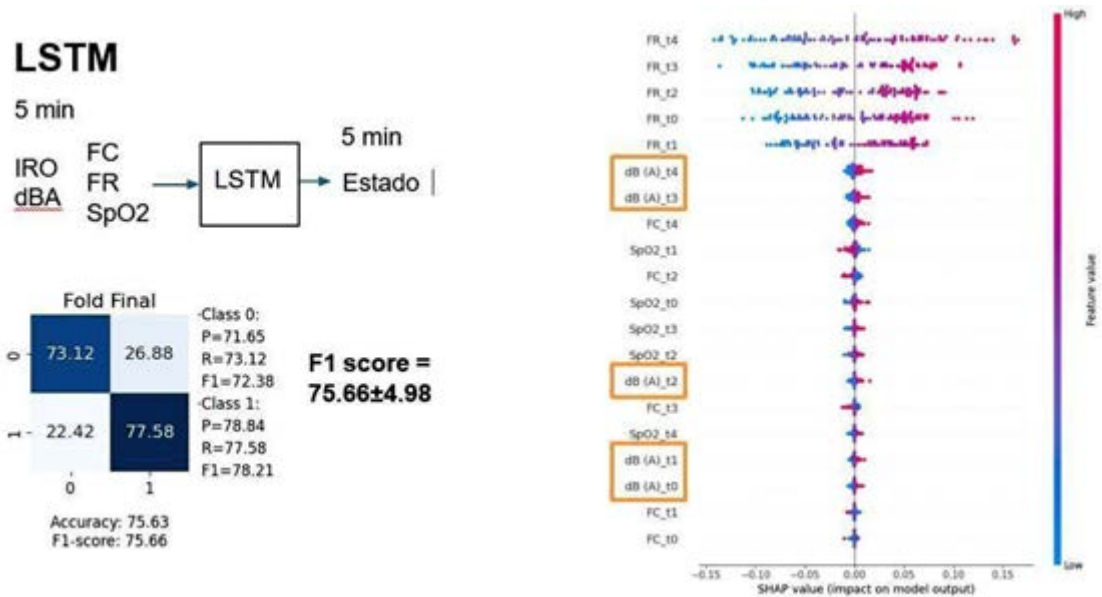
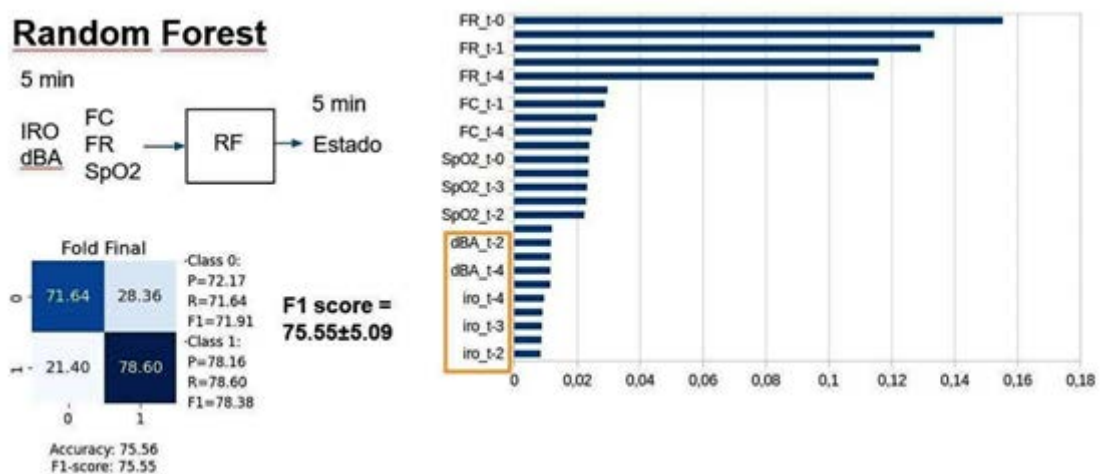


FIGURA 11. Rendimiento del modelo Random Forest e importancia relativa de las variables en la predicción del estado fisiológico monitorizado.



En definitiva, los resultados muestran una asociación significativa y temporalmente consistente entre los niveles de ruido ambiental y la variabilidad de las constantes fisiológicas en los pacientes ingresados en una Unidad de Ictus. Además, confirman que la información acústica aporta valor a la predicción del estado fisiológico, reforzando la relevancia del entorno sonoro como variable clínicamente informativa y potencialmente útil para la práctica enfermera.

8. Discusión

Los resultados de este estudio muestran que el ruido ambiental se asocia de forma significativa con la variabilidad de parámetros fisiológicos monitorizados y variables sociodemográficas como el sexo, en pacientes ingresados en una Unidad de Ictus durante las primeras 48 horas de hospitalización. Esta asociación fue especialmente consistente en la frecuencia respiratoria y la frecuencia cardiaca, presentó una dimen-

sión temporal en los minutos previos a la alteración fisiológica y, además, las variables acústicas aportaron información relevante en los modelos predictivos del estado del paciente. En conjunto, estos hallazgos apoyan la consideración del entorno acústico como una variable clínicamente informativa dentro de la monitorización del paciente neurológico agudo.

Esta interpretación es coherente con el marco clínico actual del ictus. La atención en unidades específicas mejora supervivencia, recuperación funcional y una mayor probabilidad de retorno al domicilio [3]. Las guías clínicas insisten en la necesidad de una vigilancia estrecha del estado neurológico y fisiológico durante la fase aguda, especialmente en las primeras horas de ingreso [4-6]. En ese contexto, estudiar factores potencialmente modificables del entorno asistencial resulta pertinente, desde una perspectiva de confort o humanización, la seguridad del paciente y calidad del cuidado.

Los hallazgos también son consistentes con la literatura sobre ruido hospitalario. Las revisiones disponibles muestran que los niveles de ruido en hospitales suelen superar las recomendaciones internacionales y que esta exposición puede perjudicar el sueño, el bienestar del paciente y el desempeño de los profesionales [8-12]. Además, se ha descrito que el ruido puede asociarse con incremento de frecuencia cardíaca y respiratoria, mayor riesgo de delirium y otros desenlaces adversos durante la hospitalización [11,19,20]. En conjunto, esta evidencia aporta plausibilidad biológica y clínica a la asociación observada en este estudio.

Una de las aportaciones más relevantes del trabajo es la identificación de la frecuencia respiratoria como variable particularmente sensible al contexto acústico. En nuestros análisis fue la variable con asociación más sostenida a lo largo de la ventana temporal estudiada y la de mayor peso en los modelos explicables de inteligencia artificial. Este hallazgo resulta clínicamente interesante, ya que sugiere que la respuesta respiratoria podría actuar como marcador precoz de inestabilidad fisiológica ante estímulos ambientales. No obstante, esta interpretación debe formularse con prudencia. Aunque la literatura apoya la asociación entre ruido

y cambios respiratorios en pacientes hospitalizados o críticos, sigue existiendo escasa evidencia específica en pacientes ingresados en Unidades de Ictus que permita afirmar de forma concluyente que esta sea la variable más sensible en esta población [11,15,21,22]. Por ello, este resultado debe entenderse como una aportación novedosa y generadora de hipótesis.

La asociación encontrada entre el ruido y determinados eventos rítmicos aporta igualmente un resultado de interés. La observación de niveles medios de ruido superiores al basal en episodios como el bigeminismo ventricular o la bradicardia supraventricular sugiere que el contexto acústico puede acompañar situaciones de mayor inestabilidad fisiológica. Sin embargo, este hallazgo debe interpretarse con cautela. El estudio demuestra asociación estadística, pero no permite establecer dirección causal ni aislar completamente la influencia de otros factores concurrentes, como la situación clínica del paciente, la actividad asistencial, las alarmas, las intervenciones del equipo o la propia dinámica de la unidad. En consecuencia, estos resultados deben considerarse exploratorios.

Los modelos predictivos constituyen otro de los elementos diferenciales del estudio. Tanto LSTM como Random Forest alcanzaron un rendimiento similar, con valores de F1 cercanos al 75,6%, y el análisis SHAP mostró que las variables acústicas contribuían de forma consistente a la predicción del estado fisiológico. Desde una perspectiva aplicada, esto sugiere que la incorporación de variables ambientales puede enriquecer los sistemas de vigilancia clínica basados en monitorización continua. No obstante, estos hallazgos deben interpretarse como prometedores, pero todavía insuficientes para una implementación clínica inmediata, ya que proceden de un único centro y no cuentan con validación externa.

Desde la perspectiva enfermera, los hallazgos del estudio tienen una relevancia práctica directa. La enfermería desempeña un papel central en la vigilancia continua del paciente con ictus, en la detección precoz de cambios clínicos y en la organización del entorno terapéutico. En este marco, los resultados apoyan que el control del entorno acústico forme parte de

una estrategia enfermera de seguridad, neuroprotección y calidad del cuidado. Esta estrategia puede traducirse en medidas concretas, como la revisión de alarmas evitables, la agrupación de cuidados, la reducción de interrupciones innecesarias, la protección del descanso nocturno y la sensibilización del equipo y de las familias respecto al impacto clínico del ruido. Así, el ruido deja de entenderse como un problema de confort y pasa a considerarse un factor asistencial potencialmente modificable y relevante para la práctica enfermera.

Este estudio presenta varias fortalezas. En primer lugar, aborda un problema clínicamente relevante y poco explorado en el contexto de la Unidad de Ictus. En segundo lugar, integra datos sociodemográficos, clínicos, fisiológicos y acústicos en una misma arquitectura temporal, lo que permite analizar asociaciones estáticas y también relaciones con retardos temporales. En tercer lugar, combina análisis estadístico ajustado con modelado predictivo explicable, reforzando su interés metodológico y su potencial valor aplicado. Finalmente, sitúa el entorno terapéutico como una dimensión clínica susceptible de intervención, lo que aporta originalidad y aplicabilidad a la investigación.

También deben reconocerse limitaciones. El diseño observacional retrospectivo impide establecer causalidad. La información procede de un único centro, lo que limita la generalización externa. La definición binaria del estado del paciente simplifica una realidad fisiológica compleja y no incorpora otras variables potencialmente influyentes, como la presión arterial, la gravedad neurológica inicial, la calidad del sueño, la actividad asistencial concurrente o determinadas intervenciones nocturnas. Además, la naturaleza longitudinal de los registros obliga a interpretar con prudencia la magnitud clínica de asociaciones muy significativas desde el punto de vista estadístico. En consecuencia, los resultados deben entenderse como evidencia de asociación consistente y clínicamente significativa, aunque no permiten establecer de forma definitiva un efecto causal del ruido sobre la inestabilidad fisiológica.

A pesar de estas limitaciones, el estudio genera un conocimiento novedoso, aplicable y di-

rectamente alineado con la práctica enfermera. Su principal valor no reside en demostrar que el ruido cause por sí mismo la inestabilidad fisiológica, sino en objetivar que el entorno acústico constituye una variable asistencial esencial, medible y modificable en una población vulnerable. Desde esta perspectiva, el trabajo refuerza la necesidad de incorporar el entorno acústico a la reflexión clínica y enfermera sobre seguridad, recuperación y calidad del cuidado en la Unidad de Ictus. Además, abre una línea sólida para el diseño y la evaluación de futuras intervenciones enfermeras orientadas a la reducción del ruido.

9. Conclusiones

En pacientes ingresados en una Unidad de Ictus durante las primeras 48 horas de hospitalización, el ruido ambiental se asocia de forma significativa con la variabilidad de parámetros sociodemográficos y fisiológicos monitorizados, especialmente con la frecuencia respiratoria y la frecuencia cardiaca. Esta asociación presenta, además, una dimensión temporal, al observarse relaciones entre la exposición acústica y alteraciones fisiológicas en los minutos previos al cambio registrado.

La incorporación de variables acústicas en modelos predictivos permitió clasificar el estado fisiológico del paciente, lo que sugiere que la información ambiental puede aportar valor clínicamente útil para la vigilancia continua y la identificación precoz de situaciones de inestabilidad. Sin embargo, estos hallazgos reflejan asociación y no permiten establecer causalidad, debido al diseño observacional retrospectivo del estudio.

Desde la perspectiva enfermera, la principal aportación es mostrar que el ruido ambiental debe considerarse un problema de confort o humanización y un factor asistencial modificable, con implicaciones para la seguridad del paciente, la neuroprotección y la calidad del cuidado en la Unidad de Ictus. En este sentido, los resultados proporcionan una base sólida para reforzar estrategias enfermeras orientadas al control del entorno terapéutico, la reducción de estímulos evitables y la protección del descanso.

En definitiva, el estudio aporta un conocimiento novedoso, clínicamente relevante y transferible a la práctica enfermera, al situar el entorno acústico como una variable a incorporar en la evaluación integral del paciente con ictus. Su valor reside, además, en abrir una línea de investigación aplicada para el diseño de intervenciones enfermeras dirigidas a crear entornos más seguros, terapéuticos y centrados en la persona.

10. Cuestiones éticas

El estudio se desarrolló de acuerdo con los principios éticos aplicables a la investigación con datos clínicos y con los criterios de confidencialidad, seguridad y respeto a los derechos de los pacientes. La investigación contó con la evaluación y aprobación del Comité de Ética de la Investigación con medicamentos (CEIm) del Hospital donde se llevó a cabo el estudio (Nº de

registro: 5662), con fecha de aprobación de 12-07-2024, acta CEIm 14/24.

Dado que se trata de un estudio observacional retrospectivo basado en la integración y análisis de información clínica, fisiológica y ambiental obtenida en el contexto asistencial, los datos fueron tratados garantizando en todo momento la confidencialidad, la protección de la información y el cumplimiento de la normativa ética y legal vigente en materia de investigación y protección de datos.

La utilización de los datos tuvo como única finalidad el desarrollo de la investigación descrita, orientada a mejorar el conocimiento sobre factores potencialmente modificables del entorno asistencial y su relación con la estabilidad fisiológica del paciente con ictus. Desde esta perspectiva, el estudio se alinea con los principios de beneficencia y no maleficencia, y con el compromiso ético de la enfermería con la mejora continua de la calidad asistencial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GBD 2021 Stroke Risk Factor Collaborators. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990-2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet Neurol.* 2024;23(10):973-1003.
2. Norrving B, Barrick J, Davalos A, Dichgans M, Cordonnier C, Guekht A, et al. Action Plan for Stroke in Europe 2018-2030. *Eur Stroke J.* 2018;3(4):309-36.
3. Langhorne P, Ramachandra S; Stroke Unit Trialists' Collaboration. Organised inpatient (stroke unit) care for stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2020;4(4):CD000197.
4. Intercollegiate Stroke Working Party. National Clinical Guideline for Stroke for the UK and Ireland. London: Intercollegiate Stroke Working Party; 2023 May 4. Disponible en: <https://www.strokeguideline.org>
5. Jones SP, Jenkinson AJ, Leathley MJ, Watkins CL. Physiological monitoring in acute stroke: a literature review. *J Adv Nurs.* 2007;60(6):577-94.
6. Ciccone A, Celani MG, Chiti A, Righetti E, Nichelli P. Continuous versus intermittent physiological monitoring for acute stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2013;(5):CD008444.
7. Downey CL, Chapman S, Randell R, Brown J, Jayne DG. The impact of continuous versus intermittent vital signs monitoring in hospitals: a systematic review and narrative synthesis. *Int J Nurs Stud.* 2018;84:19-27.
8. de Lima Andrade E, da Cunha e Silva DC, de Lima EA, de Oliveira RA, Zannin PHT, Martins ACB. Environmental noise in hospitals: a systematic review. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2021;28(16):19629-42.
9. Berglund B, Lindvall T, Schwela DH, editors. Guidelines for Community Noise. Geneva: World Health Organization; 1999.
10. Hsu T, Ryherd E, Ackerman J, Persson Wayne K. Noise pollution in hospitals: impact on patients. *J Clin Outcomes Manag.* 2012;19(7):301-9.
11. Sonoda N, Furuki H, Morimoto A. Impact of Environmental Noise on Inpatient Outcomes: A Scoping Review. *Worldviews Evid Based Nurs.* 2025;22(4):e70056.

12. Smith MG, Cordoza M, Basner M. Environmental Noise and Effects on Sleep: An Update to the WHO Systematic Review and Meta-Analysis. *Environ Health Perspect.* 2022;130(7):076001.
13. Hagerman I, Rasmanis G, Blomkvist V, Ulrich R, Eriksen CA, Theorell T. Influence of intensive coronary care acoustics on the quality of care and physiological state of patients. *Int J Cardiol.* 2005;98(2):267-72.
14. Minckley BB. A study of noise and its relationship to patient discomfort in the recovery room. *Nurs Res.* 1968;17(3):247-50.
15. Han E, Kang H, Jang Y. Noise reduction interventions in intensive care units: a systematic review. *Intensive Crit Care Nurs.* 2025;92:104234.
16. Orellana D, Busch-Vishniac I, West JE. Noise in the adult emergency department of Johns Hopkins Hospital. *J Acoust Soc Am.* 2007;121(4):1996-9.
17. Louis M, Grabill N, Strom P, Gibson B. Leading Through Noise: Operating Room Noise Challenges for Staff and Leadership Techniques to Ensure Optimal Operational Performance. *Cureus.* 2024; 16:e69569.
18. Basner M, Babisch W, Davis A, Brink M, Clark C, Janssen S, et al. Auditory and non- auditory effects of noise on health. *Lancet.* 2014;383(9925):1325-32.
19. Hahad O, Prochaska JH, Daiber A, Münzel T. Environmental noise-induced effects on stress hormones, oxidative stress, and vascular dysfunction: key factors in the relationship between cerebrocardiovascular and psychological disorders. *Oxid Med Cell Longev.* 2019;2019:4623109.
20. Münzel T, Gori T, Babisch W, Basner M. Cardiovascular effects of environmental noise exposure. *Eur Heart J.* 2014;35(13):829-36.
21. Morales-Cané I, Moral-Arroyo JA, Debbia F, Güler I, Llamas-Recio F, Jiménez-Pastor JM, et al. Impact of sound levels on physiological and consciousness state of cardiovascular patients. *Nurs Crit Care.* 2022;27(2):240-250.
22. Sindorf J, Campagnini S, da Costa L, MacKay-Lyons M, Salbach NM, Li M, et al. Sleep Following a Stroke: Multimodal Evaluation of Sleep Health and Disruptions and Impact on Recovery During Acute Inpatient Rehabilitation. *Neurorehabil Neural Repair.* 2025;39(7):529-541.

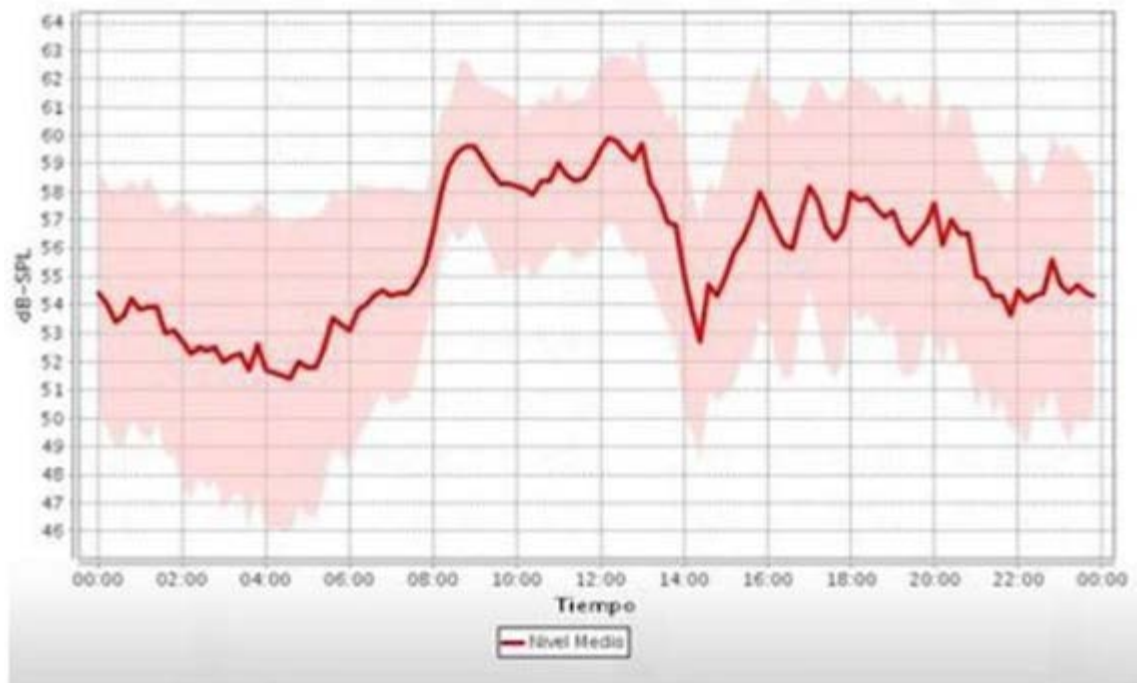
ANEXO 1. Imagen del sistema de monitorización utilizado en la Unidad de Ictus

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2. Sonómetro empleado para la medición del ruido ambiental

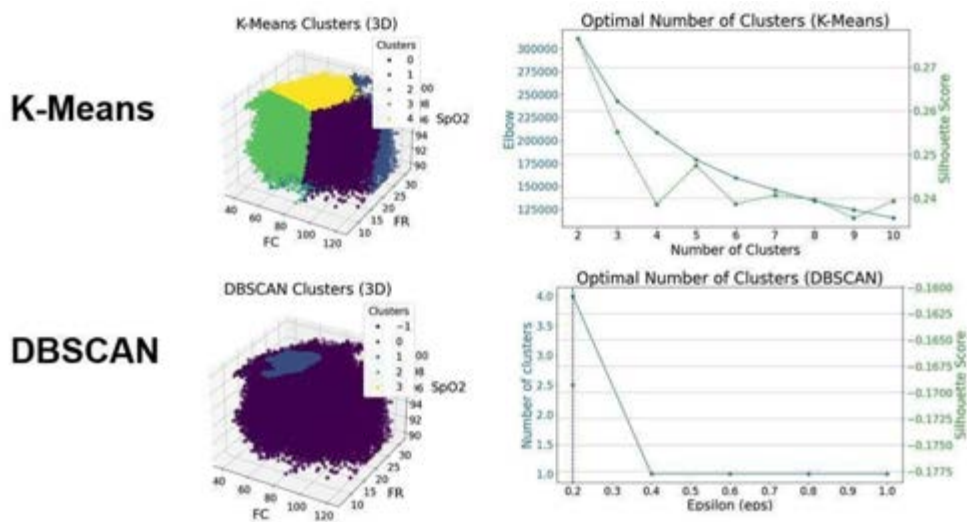
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 3. Nivel medio de ruido en el interior de la Unidad de Ictus



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 4. Exploración no supervisada mediante K-Means y DBSCAN para la identificación de agrupamientos fisiológicos



Fuente: Elaboración propia.