

**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=ca>

**ADVERTENCIA.** El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=es>

**WARNING.** The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>



Universitat Autònoma de Barcelona  
Escola de Doctorat

**NIVELES DE RUIDO EN UNA UNIDAD DE CUIDADOS  
CRÍTICOS POSTOPERATORIOS, ESTRATEGIAS PARA  
DISMINUIRLO Y SU RELACIÓN CON EL DESCANSO  
NOCTURNO DE LOS PACIENTES**

TESIS DOCTORAL

Programa de Doctorado de Cirugía y Ciencias Morfológicas  
Departamento de Cirugía – Facultad de Medicina

Autora: María Guisasola Rabés

Directora: Miriam de Nadal Clanchet

Tutor: Manuel Armengol Carrasco

Barcelona, 2023



## AGRADECIMIENTOS

La elaboración de esta tesis doctoral ha surgido a lo largo de unos años de mucha incertidumbre y ha sido un proceso de gran aprendizaje, tanto profesional como personal. Por ello, me gustaría agradecer a las personas que me han ayudado a poder llevarla a cabo.

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres por su apoyo y confianza incondicionales, que me han permitido recorrer mi camino. Por transmitirme sus valores y sobre todo por la comprensión y empatía depositadas.

A Paloma, Berta, Marta, Carlos y Elena por acompañarme en el aprendizaje durante la residencia y mucho más allá, por ser un pilar de apoyo imprescindibles y sobre todo por ser mis amigos.

A Aina, Maripi, Elena y Elvira por su amistad y hacerme sentir que siempre puedo contar con ellas; esta aventura no hubiera sido la misma sin su presencia.

A Miriam de Nadal, por impulsarme y motivarme en este proyecto, que gracias a su experiencia me ha permitido sentirme acompañada y me ha facilitado el proceso.

A Manuel Armengol, por sus consejos y recomendaciones en los momentos oportunos.

Al servicio de Anestesiología del Hospital Vall d'Hebron, donde he podido crecer como profesional y conocer y trabajar con compañeros que se han convertido en amigos.

Esta tesis no hubiera sido posible sin el apoyo e impulso final de Jordi; su ilusión y optimismo han sido una fuente de energía indispensable.



## ABREVIATURAS

**dBA:** Decibelios en ponderación A

**EVA:** Escala visual analógica

**OMS:** Organización Mundial de la Salud

**RCSQ:** Richards Campbell Sleep Questionnaire

**UCI:** Unidad de Cuidados Intensivos



# Índice de contenidos

---

1. RESUMEN .....	9
1.1 INTRODUCCIÓN .....	9
1.2 HIPÓTESIS .....	9
1.3 OBJETIVOS .....	9
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
1.5 RESULTADOS .....	10
1.6 CONCLUSIONES .....	10
2. SUMMARY .....	11
2.1 INTRODUCTION .....	11
2.2 HYPOTHESIS.....	11
2.3 OBJECTIVES.....	11
2.4 MATERIALS AND METHODS .....	11
2.5 RESULTS.....	12
2.6 CONCLUSIONS .....	12
3. INTRODUCCIÓN .....	13
3.1. El ruido como elemento estresor.....	13
3.2. El ruido en los hospitales y en las unidades de cuidados críticos .....	15
3.3. Medición del ruido: Sonómetro .....	16
3.3.1. Ponderación frecuencial.....	16
3.3.2 Ponderación temporal.....	17
3.4. Indicador visual de ruido: SoundEar II.....	20
3.5. Definición y alteraciones del sueño .....	21
3.6. Calidad del sueño de los pacientes en las unidades de cuidados crítico e intervenciones para su mejoría.....	22
4. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO E HIPÓTESIS DEL ESTUDIO .....	25
4.1 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO .....	25
4.2 HIPÓTESIS DEL ESTUDIO .....	25
5. OBJETIVOS .....	27
6. PACIENTES Y MÉTODOS .....	29
6.1. Artículo 1 .....	29
6.2. Artículo 2 .....	30
7. RESUMEN DE LOS RESULTADOS.....	41



7.1. Resultados del artículo 1: “Effectiveness of a visual noise warning system on noise levels in a surgical ICU. A quality improvement programme” .....	41
7.2. Resultados del artículo 2: “Noise levels and sleep in a surgical ICU” .....	42
8. DISCUSIÓN.....	43
8.1. Los niveles sonoros a lo largo del día en nuestra unidad de cuidados críticos.....	43
8.2. Eficacia de la implementación de estrategias para disminuir los niveles de ruido.....	45
8.3. Calidad del descanso nocturno de los pacientes .....	46
9. LIMITACIONES .....	51
10. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS .....	53
11. CONCLUSIONES .....	55
12. BIBLIOGRAFÍA.....	57

# 1. RESUMEN

---

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Los efectos del ruido son perjudiciales para los pacientes en el ambiente de las unidades de cuidados críticos, siendo estos entornos lugares especialmente ruidosos. Los niveles elevados de ruido parecen ser un factor en la alteración del sueño que puede, a su vez, resultar en un aumento de la morbilidad. El sueño está alterado en pacientes críticos y es una complicación que a menudo se pasa por alto. Los niveles elevados de ruido son un problema reconocido a nivel mundial en las unidades de cuidados críticos.

## 1.2 HIPÓTESIS

La introducción de un sistema visual de aviso de ruido en una unidad de cuidados críticos disminuye los niveles de ruido de la unidad.

Una disminución en los niveles de ruido está asociada con un mejor descanso nocturno de los pacientes.

## 1.3 OBJETIVOS

1. Valorar el efecto de la implementación de un sistema visual de aviso de ruido en los niveles sonoros en una unidad de cuidados críticos.
2. Determinar si una reducción en los niveles sonoros en una unidad de cuidados críticos puede mejorar el descanso nocturno de los pacientes.
3. Cuantificar y establecer la relación entre los niveles sonoros nocturnos y el descanso nocturno de los pacientes en una unidad de cuidados críticos.

## 1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Se trata de un estudio observacional prospectivo con diseño analítico. Se llevó a cabo en un hospital universitario de tercer nivel, en la unidad de cuidados críticos postoperatorios que dispone de 12 camas de hospitalización. Se incluyeron un total de

148 pacientes, no sedados, no intubados, a lo largo de un periodo de 6 semanas. Se midieron los niveles de ruido de forma continua utilizando un sonómetro de tipo II durante 6 semanas. El estudio fue dividido en 3 fases. Las primeras 2 semanas, se midieron los niveles de ruido basales (fase I). En la semana 3 del estudio, se instaló e implementó un sistema visual de aviso de ruido (*SoundEar II*) que cambiaba de color dependiendo de los niveles de ruido en la UCI (fase II). El sistema de alarma se ajustó para que se iluminara verde en niveles por debajo de 55 dBA, naranja en cuando los niveles de ruido estuvieran entre 55 y 60 dBA y rojo cuando los niveles de ruido superaban los 60 dBA. Al inicio de la semana 5, se apagó el dispositivo y continuamos midiendo los niveles de ruido durante 2 semanas más (fase III).

La calidad del sueño fue evaluada utilizando el cuestionario "*Richards-Campbell Sleep Questionnaire*" (RCSQ) que fue rellenado tanto por los pacientes como por enfermería la mañana después de su primera noche de ingreso.

## **1.5 RESULTADOS**

El nivel de ruido medio se redujo de forma significativa en 1.35 dBA y hubo una reducción mantenida de 0.86 dBA en comparación con los niveles de ruido basales 2 semanas tras apagar el dispositivo *SoundEar II*.

Tras análisis multivariable, encontramos una correlación significativa entre mayores niveles sonoros por la noche y resultados de RCSQ menores ( $r = -3.92$ , 95% CI;  $-7.57$  a  $-0.27$ ,  $p = 0.04$ ).

## **1.6 CONCLUSIONES**

Los sistemas visuales de aviso de ruido pueden ser efectivos en conseguir una reducción en los niveles de ruido en unidades de cuidados críticos y podrían ser útiles para ayudar a mejorar la calidad del sueño de los pacientes.

## **2. SUMMARY**

---

### **2.1 INTRODUCTION**

The effects of noise are harmful to patients in the ICU environment, and the latter are particularly noise places. High noise levels seem to be a factor in sleep disturbance, which can, in turn, result in increased morbidity. Sleep is disturbed in critically ill patients and is a frequently overlooked complication. High noise levels are a recognized problem worldwide in intensive care units.

### **2.2 HYPOTHESIS**

The implementation of a visual noise warning system in a surgical intensive care unit reduces noise levels in the unit.

A reduction in noise levels is associated with a better quality of sleep in patients.

### **2.3 OBJECTIVES**

1. To estimate the effect of a visual noise-warning system on noise levels in a surgical ICU before and after its implementation.
2. To determine whether a reduction in noise levels in a surgical ICU can improve patients' sleep.
3. To quantify and establish the relationship between night-time noise levels and patients' quality of sleep in a surgical ICU.

### **2.4 MATERIALS AND METHODS**

This is a prospective observational study with an analytical design. The study was performed in a tertiary care university hospital, in a 12-bed surgical ICU. A total of 148 adult nonintubated and nonsedated patients completed the study, during a 6-week period. Noise levels were continuously recorded using a Type II sound level meter for 6

weeks. The study was divided into three phases. The first 2 weeks, baseline noise levels were measured (phase I). In week 3 of the study, a visual noise warning system (SoundEar II) that changed colour depending on noise levels within the ICU was installed and implemented (phase II). The alarm system was set to light up green at levels below 55 dBA, orange at levels between 55 and 60 dBA and red at levels above 60 dBA. The device was switched off at the beginning of week 5 and the sound level meter continued recording noise levels for another 2 weeks (phase III).

Sleep quality was evaluated using the Richards Campbell Sleep Questionnaire which was completed both by nurses and patients on the first morning after admission.

## **2.5 RESULTS**

Mean noise level was reduced statistically significantly by 1.35 dBA, and there was a sustained reduction of 0.86 dBA from the baseline noise level 2 weeks after SoundEar II was switched off.

After multivariable analysis, a significant correlation was found between higher sound levels at night and lower RCSQ evaluations ( $r = -3.92$ , 95% CI;  $-7.57$  to  $-0.27$ ,  $p = 0.04$ ).

## **2.6 CONCLUSIONS**

Visual noise warning systems can be effective in achieving a reduction in noise levels in critical care units and could be useful in aiding to better patients' quality of sleep.

## 3. INTRODUCCIÓN

---

### 3.1. El ruido como elemento estresor

El ruido se trata de un sonido indeseable que se percibe como subjetivamente molesto e incapacita el rendimiento. Se trata de un estresor que nos afecta a todos en las actividades diarias - en casa, en nuestro tiempo libre, mientras dormimos, cuando viajamos o en el trabajo. Los humanos no somos capaces de aislarnos del ruido ya que la audición es un proceso permanente que utiliza estructuras corticales y subcorticales para filtrar e interpretar la información acústica; el análisis de las señales acústicas es básico para la supervivencia y la comunicación [1]. Por tanto, no tenemos escapatoria del ruido ambiental; así como podemos cerrar los ojos para excluir estímulos visuales no deseados, no podemos cerrar nuestros oídos y excluir estímulos auditivos no deseados. Nuestra audición siempre está en marcha, incluso mientras dormimos. Además, de forma análoga a los fumadores pasivos, el ruido ambiental es un contaminante no deseado que es producido por otros, que se nos impone sin nuestro consentimiento, a menudo en contra de nuestra voluntad y en momentos, lugares y a niveles sobre los que no tenemos control. Cada vez existe más evidencia de que no se trata meramente de una molestia; sino que, como otras formas de contaminación, tiene efectos nocivos tanto sanitarios, sociales como económicos [2–4].

Los efectos nocivos del ruido se conocen desde hace tiempo. En la antigua Roma, debido al ruido de las ruedas sobre los adoquines, se prohibió el paso de carruajes por la noche, para así prevenir el ruido que trastornaba el sueño y causaba molestias a sus ciudadanos. Siglos más tarde, algunas ciudades en Europa medieval o prohibían el paso de carruajes tirados por caballos o cubrían las calles con paja para reducir el ruido y asegurar un sueño reparador. Florence Nightingale dijo en 1859 “El ruido innecesario es la forma de abuso más cruel cuando se trata de enfermos o sanos”. Estos ejemplos reflejan la

importancia que se le ha dado, desde hace tiempo, a intentar paliar los efectos nocivos del ruido para no alterar el sueño.

Incluso a niveles que no son dañinos para la audición, el ruido se percibe de forma inconsciente como una señal de peligro, incluido durante el sueño [1]. El ruido es perjudicial para la salud en diversos aspectos, por ejemplo, causando problemas de audición, alterando el sueño, tiene efectos negativos sobre el sistema cardiovascular, efectos psicofisiológicos, síntomas psiquiátricos y sobre el desarrollo fetal [5]. Además, el ruido produce efectos psicosociales extendidos que incluyen molestias por el propio ruido, una reducción en la productividad y un aumento de la fatiga y comportamiento agresivo [6]. Se han estudiado efectos a corto plazo sobre la circulación, incluida la tensión arterial, la frecuencia cardíaca, el gasto cardíaco y la vasoconstricción; así como sobre los niveles de hormonas del estrés, incluidas la adrenalina, noradrenalina y los corticoides en estudios experimentales [7] a raíz de los cuales surgieron hipótesis de que el estrés persistente causado por el ruido aumenta el riesgo cardiovascular.

El ruido es un estresor psicosocial que activa al sistema simpático y endocrino. Los efectos agudos del ruido no ocurren únicamente a niveles de ruido altos, sino también a niveles de sonido ambientales relativamente bajos, sobre todo, si ciertas actividades como la concentración, la relajación o el sueño se ven perjudicadas. La exposición al ruido resulta en efectos fisiológicos tanto a corto plazo como a largo plazo. Los efectos a corto plazo se deben principalmente a la estimulación alostática del eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal [8,9]. Los estudios indican que niveles sonoros tan bajos como 60 dB(A), un nivel similar al ruido de un lavaplatos, pueden producir un aumento del 34-53% en los niveles plasmáticos de cortisol [10,11]. Las catecolaminas endógenas que se secretan en respuesta a un aumento de la intensidad acústica, se mantienen elevadas hasta 90 minutos tras el cese del ruido, lo cual potencia el catabolismo, el consumo de oxígeno y la vasoconstricción [12–15].

### **3.2. El ruido en los hospitales y en las unidades de cuidados críticos**

Los niveles de ruido en los hospitales, a nivel mundial, se sitúan muy por encima de los recomendados por la Organización Mundial de la Salud, quien en 1972 catalogó el ruido como una forma más de contaminación. La OMS recomienda niveles de ruido ambientales para un hospital de 30 dB(A), con un máximo de niveles pico de 40 dB(A) por la noche [16]. Los estudios demuestran niveles medios de ruido entre 50 y 65 dB(A), con niveles pico entre 70 y 85 dB(A) e incluso en ocasiones superando los 90 dB(A) [17–22]. El ambiente sonoro en una unidad de cuidados intensivos es complejo y presenta fluctuaciones entre 9.9 – 44 dB(A) por minuto [18]. Estas variaciones tienen un impacto muy importante, ya que los decibelios son una medida logarítmica de la intensidad del ruido; es decir, un aumento de 10 dB significa que una persona lo percibe como una duplicación de la intensidad del ruido. Además, hay pocas variaciones en los niveles máximos de ruido durante el día y la noche [18,19]. Entre un 11 y un 57% de los despertares nocturnos han sido atribuidos al ruido en las unidades de cuidados críticos [20,21]. Además, debemos tener en cuenta los efectos deletéreos del ruido sobre los pacientes despiertos en las UCI, donde ya presentan un sistema simpático altamente activo y un aumento de su estado catabólico.

Los efectos psicológicos de estar expuesto al ruido están relacionados con molestias que pueden mantenerse hasta 24 horas tras la exposición al ruido [23,24]. La molestia por el ruido está caracterizada por sensaciones de fastidio, cansancio e irritabilidad hasta el punto en el que afecta a las actividades de la persona [23,25]. Se ha visto que la exposición al ruido puede impedir funciones intelectuales complejas y disminuye el rendimiento [23–26]. Esto representa un problema importante de seguridad del paciente en un entorno de cuidados críticos donde los trabajadores sanitarios están expuestos a unas 1000 alarmas por turno y se ha visto que ello puede conducir a fatiga y desensibilización a las alarmas [26–28]. Además, la exposición al ruido podría reducir la capacidad para responder a situaciones inesperadas y favorecer comportamientos más arriesgados [25,26] así como propiciar el síndrome de burnout en los profesionales sanitarios [29–32].



### **3.3. Medición del ruido: Sonómetro**

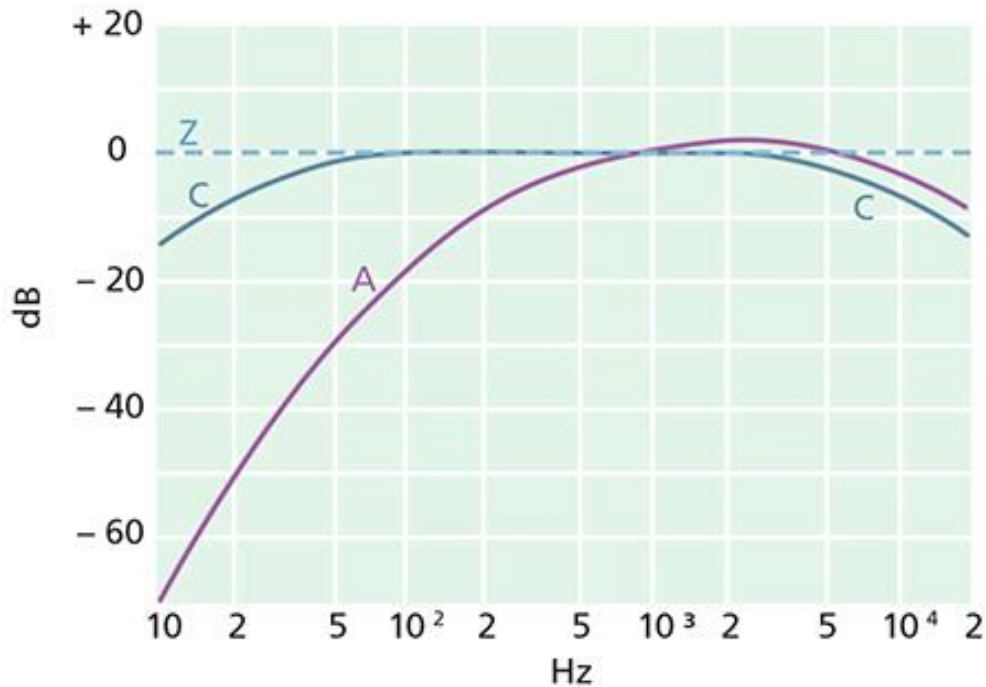
El sonómetro es un instrumento de medida de niveles de presión sonora en un lugar y momento dado. La unidad con la que trabaja el sonómetro es el decibelio (dB).

Está formado por un micrófono, un preamplificador, un sistema de procesamiento de señal y una pantalla. El micrófono convierte una señal sonora en una señal eléctrica proporcional, similar a lo realizado por la cóclea. La señal eléctrica que genera el micrófono tiene un nivel muy bajo; por ello, se hace pasar por un preamplificador antes de enviarla al procesador principal, realizando la función homóloga al oído medio. En otras palabras, el micrófono y el amplificador tiene funciones parecidas, aunque en orden inverso, a la fisiología del oído humano para percibir los sonidos. El procesamiento incluye aplicar a la señal ponderaciones frecuenciales y temporales, conforme a lo que especifican las normas internaciones que deben cumplir los sonómetros; como la norma IEC 61672-1.

Las etiquetas que se utilizan para describir los niveles sonoros y de nivel de ruido se describen en la norma IEC 61672-1:2013. Para su etiquetado, la primera letra siempre es una L, refiriéndose al nivel (*“Level”*) de presión sonora medido a través del micrófono. Las siguientes letras dependerás de la ponderación frecuencial y la ponderación temporal.

#### **3.3.1. Ponderación frecuencial**

La segunda letra indica la ponderación frecuencial (o ponderación de frecuencia). Los sonómetros más habituales suelen ofrecer mediciones de ruido con ponderación frecuencial en A, C y Z. Sirven para ajustar la respuesta del sonómetro a sonidos con diferentes frecuencias. Esta ponderación es necesaria porque la sensibilidad del oído humano al sonido varía en función de la frecuencia.

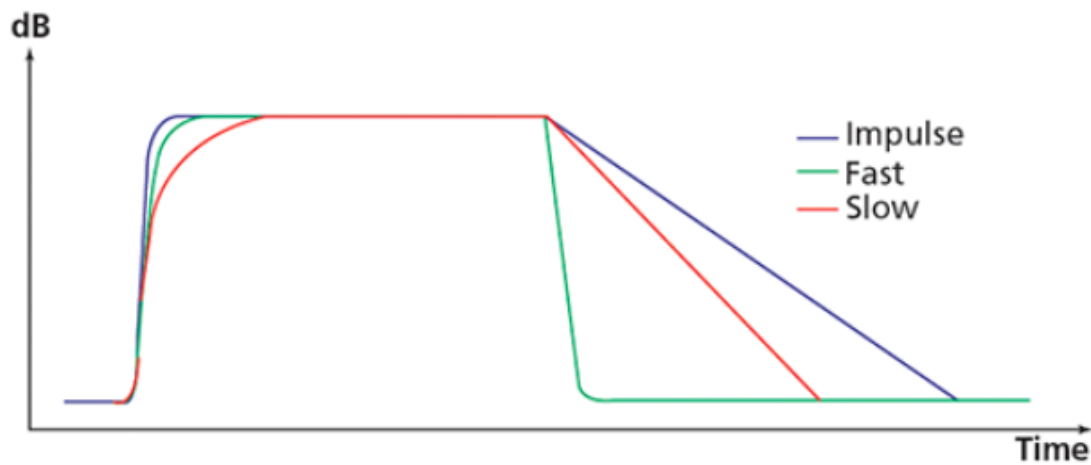


- Ponderación A ( $\text{dB}_A$ ): Ajusta la señal del modo que más se asemeja a la respuesta del oído humano a los niveles sonoros medios. Se emplea en casi todas las medidas de ruido ambiente y de ruido en el lugar de trabajo. Por ello, es la curva que especifican diversas normas y directrices nacionales e internacionales. Los filtros de ponderación A cubren un espectro de 10 Hz a 20 kHz; es decir, todo el espectro auditivo que percibe el ser humano.
- Ponderación C ( $\text{dB}_C$ ): Mide la respuesta del oído humano ante niveles sonoros relativamente altos. Se utiliza principalmente para evaluar los valores pico con niveles de presión sonora elevados.
- Ponderación Z ( $\text{dB}_Z$ ): La ponderación de frecuencia Z (Z = “cero”) es una respuesta de frecuencia plana entre 10 Hz y 20 kHz  $\pm 1.5$  dB. Representa la presión sonora igualmente en todas las frecuencias.

### 3.3.2 Ponderación temporal

La ponderación temporal (o ponderación de tiempo) determina cómo reacciona el sonómetro a los cambios en la presión sonora. Es una medida exponencial de una señal

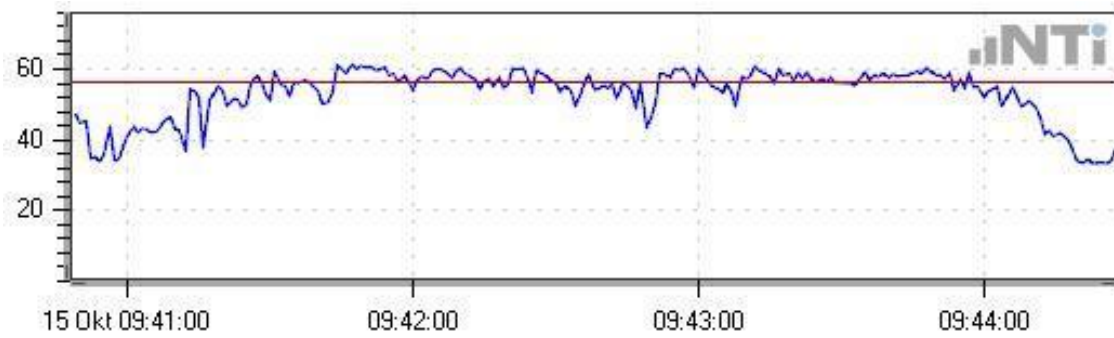
fluctuante y nos proporciona un valor más fácil de leer. El sonómetro aplica ponderaciones Fast, Slow e Impulse (o “F”, “S” e “I”).



- Lento (Slow, S): valor (promedio) eficaz de aproximadamente un segundo
- Rápido (Fast, F): valor (promedio) eficaz por 125 milisegundos. Son más efectivos ante las fluctuaciones. Corresponde aproximadamente al tiempo de integración del oído humano.
- Por Impulso (Impulse, I): valor (promedio) eficaz por 35 milisegundos. Mide la respuesta del oído humano ante sonidos de corta duración, con un tiempo de caída mucho mayor. Se cree que es el que más se parece a cómo reacciona el oído humano ante ruidos intensos.

La señal se procesa empleando filtros de ponderación y el nivel de presión sonora resultante se muestra en la pantalla del sonómetro, expresado en decibelios (dB) referenciados a 20  $\mu$ Pa. Los valores de nivel de la presión sonora se actualizan como mínimo una vez por segundo.

Como resumen, los niveles de ruido que presentan fluctuaciones se evalúan a partir de valores promedio. El parámetro promediado más importante es el “nivel sonoro continuo equivalente” ( $L_{eq}$ ).  $L_{eq}$  es el nivel que, si fuera estable durante el periodo de medida, representaría la cantidad de energía presente en el nivel de presión sonora fluctuante medido. Es una medida de la energía promedio que está presente en un nivel sonoro variable. No es una medición directa del grado de molestia que produce un ruido pero en varios estudios ha demostrado correlacionarse bien con las molestias que causa el nivel sonoro.



El área bajo la curva azul de los gráficos representa la energía. La línea roja horizontal utilizada para representar la misma área bajo la curva sería LAeq.



Si en la etiqueta aparecen las palabras “max” o “min”, simplemente representan los valores máximos o mínimos medidos a lo largo de un periodo de tiempo.

La etiqueta “peak”, que no debe confundirse con la etiqueta “max”, se refiere al valor máximo alcanzado por la presión sonora, la señal no ha sido procesada y no se aplica una constante de tiempo. Se utiliza para medir picos de ruido puntuales.

La pantalla del sonómetro nos muestra el nivel sonoro expresado en decibelios, acompañado del descriptor que indica las ponderaciones de tiempo y frecuencia utilizadas (por ejemplo,  $L_{Aeq}$  o  $L_{Amax}$ ). La señal también puede conectarse a otros instrumentos externos, como un sistema de adquisición de datos, para almacenarla en un registro o procesarla.



### 3.4. Indicador visual de ruido: SoundEar II

Se trata de un indicador visual del nivel sonoro, que realiza la medición de ruido en decibelios, de la misma forma que el sonómetro, pero con menor precisión y no muestra los datos numéricos. Transforma el nivel de ruido en una señal visual a diferentes colores: verde, naranja y roja. Se puede preajustar para que emita una señal de aviso consistente en un LED parpadeante con 16 límites de sonido diferentes que van de 40 a 115 dB. Contiene una rueda que permite seleccionar el límite de sonido deseado para cada color. Se instala en un punto visible en la superficie de una pared y así revela el nivel de sonido de una manera visual. Emite una advertencia cuando el nivel de sonido se vuelve demasiado alto, para que así quien pueda visualizarlo bajo el nivel de ruido que esté generando.



Varios estudios realizados en unidades de cuidados críticos han demostrado que el uso de diversos indicadores visuales de alarma de ruido pueden ser útiles en disminuir los niveles sonoros en estas áreas [33–36].

### **3.5. Definición y alteraciones del sueño**

El sueño se define como un estado, natural y reversible, de una disminución de la respuesta a estímulos externos y relativa inactividad, acompañado de una pérdida de la conciencia. Es fundamental para el bienestar emocional, físico y cognitivo [37] y ocupa alrededor de un tercio de la vida de una persona. Ocurre en intervalos regulares y se regula homeostáticamente, una pérdida de horas de sueño resulta en un sueño prolongado posterior [38]. Permite que el cuerpo humano se recupere tras la actividad diaria, asegurando un funcionamiento óptimo subsecuente. El sueño ininterrumpido es esencial para un correcto funcionamiento psicológico y mental en individuos sanos [39]. El sueño contribuye significativamente al restablecimiento y mantenimiento molecular y celular, al equilibrio del sistema inmune y a la recuperación de la enfermedad y la lesión [40–46].

La privación del sueño y las interrupciones del sueño causan problemas cognitivos y emocionales [47,48], así como anomalías hormonales [49]. La evidencia epidemiológica asocia la falta de sueño con mayor riesgo de diabetes, hipertensión arterial y marcadores de riesgo cardiovascular [50] y ha demostrado inducir intolerancia a la glucosa y resistencia a la insulina [51]. Además, una falta de sueño aumenta las concentraciones nocturnas de hormonas adrenérgicas y del cortisol [49] y aumenta la respuesta inflamatoria [52,53].

Las principales alteraciones al sueño son la dificultad para conciliar el sueño, los despertares frecuentes, despertarse demasiado pronto y alteraciones en las fases del sueño y en la profundidad del mismo, especialmente una reducción en el sueño REM [54].

El ruido ambiental es una de las mayores causas de las alteraciones del sueño [55]. Se sabe, por ejemplo, que un ruido continuo por encima de 30 dB(A) altera el sueño tanto en cantidad, por ejemplo, retrasando la conciliación del sueño 20 min, como en calidad, pasando menos tiempo en sueño profundo y reparador [56–58]. En cuanto a los ruidos

intermitentes, la probabilidad de despertarse aumenta con el número de sucesos ruidosos por la noche.

Aparte de los efectos sobre el propio sueño, el ruido durante el sueño causa incrementos en la presión arterial, aumento de la frecuencia cardíaca, vasoconstricción, cambios en la respiración, arritmias cardíacas y mayores movimientos corporales [59]. Algunos de estos efectos, como por ejemplo los despertares, disminuyen con la exposición repetida, pero otros, particularmente la respuesta cardiovascular, no lo hacen [14]. Las secuelas al día siguiente incluyen fatiga, ánimo deprimido y malestar y una disminución del rendimiento.

### **3.6. Calidad del sueño de los pacientes en las unidades de cuidados crítico e intervenciones para su mejoría**

Los pacientes ingresados en las unidades de cuidados intensivos describen la alteración del sueño como uno de los mayores problemas durante su estancia en la UCI y a menudo atribuyen el ruido como causa principal [22,60,61].

En los últimos años, se ha destacado la importancia de la disrupción del sueño en pacientes ingresados en unidades de cuidados críticos [19,62]. Se ha visto que en estos pacientes está reducido, fragmentado, no sigue el ritmo circadiano regular y contiene mayores fases N1-N2 en detrimento de N3 y sueño REM (rapid eye movement) [59]. Las consecuencias deletéreas de las alteraciones del sueño en pacientes que están ingresados en unidades de cuidados críticos cada vez son más visibles. Un mal descanso nocturno es un factor de riesgo para la aparición del delirio [63], para el fracaso de la ventilación mecánica no invasiva [64] y es un estresor intrínseco de la UCI para los pacientes [65], que a su vez podría verse involucrado en mecanismos que propicien el estrés postraumático [66]. Además, se ha visto que los ciclos de sueño están muy fragmentados, siendo de una media de 20 minutos y con hasta 6 despertares por hora [22,67,68]. El sueño fragmentado contribuye a cambios en el ritmo circadiano e inhibe la capacidad de adquirir un sueño consolidado [69]. Los estudios de polisomnografía en

pacientes ingresado en cuidados críticos habitualmente muestran una mala calidad del sueño con actividad electroencefalográfica anormal y con una arquitectura del sueño sin fases de sueño REM ni sueño de ondas lentas [62,70,71]. La ausencia de estas dos fases del sueño es muy significativa, ya que proporcionan los componentes restaurativos del sueño, mejorando el bienestar cognitivo y fisiológico.

Por ello, la mejoría del sueño en la unidades de cuidados críticos se ha convertido en un objetivo asistencial [72]. El desafío actual es tratar de desarrollar intervenciones que reduzcan de forma eficiente el impacto del ruido en los pacientes, que faciliten el sueño y el mantenimiento de los ritmos circadianos para así optimizar el proceso de recuperación.

Una ventaja de las intervenciones para disminuir el ruido es el potencial beneficio tanto para pacientes como para el personal sanitario. A lo largo de los años, se han intentado protocolos de cambios de comportamiento, protocolos de “*Quiet time*” y concienciación del personal sanitario. Hay estudios en los que algunas o varias intervenciones han conseguido disminuir los niveles de ruido [73,74], mientras que otros no lo han conseguido [75–77]. La mayoría de los estudios tienen considerable variabilidad en cuanto a la medición del ruido, dependen de un cambio de comportamiento en el personal y no sabemos si esos cambios después consiguen mantener en el tiempo.





## **4. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO E HIPÓTESIS DEL ESTUDIO**

---

### **4.1 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO**

Los niveles de ruido en las unidades de cuidados críticos se sitúan muy por encima de los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud.

Los pacientes ingresados en las unidades de cuidados críticos refieren la alteración del descanso nocturno y la falta de sueño como uno de los mayores problemas y recuerdo más traumático tras su ingreso.

Por tal motivo, se pensó que la implementación de estrategias para disminuir los niveles de ruido en las unidades de cuidados críticos podría proporcionar una mejoría en la calidad del sueño de nuestros pacientes.

### **4.2 HIPÓTESIS DEL ESTUDIO**

- Los sistemas visuales de aviso de ruido son efectivos en conseguir una reducción sostenida en el tiempo en los niveles de ruido.
- Una reducción en los niveles de ruido en unidades de cuidados críticos puede mejorar el descanso nocturno de los pacientes.



## 5. OBJETIVOS

---

1. Valorar el efecto de la implementación de un sistema visual de aviso de ruido en los niveles sonoros en una unidad de cuidados críticos.
2. Determinar si una reducción en los niveles sonoros en una unidad de cuidados críticos puede mejorar el descanso nocturno de los pacientes.
3. Cuantificar y establecer la relación entre los niveles sonoros nocturnos y el descanso nocturno de los pacientes en una unidad de cuidados críticos.



## 6. PACIENTES Y MÉTODOS

---

Para este trabajo se incluyeron 2 artículos.

### 6.1. Artículo 1

Título: **“Effectiveness of a visual noise warning system on noise levels in a surgical ICU. A quality improvement programme”**

Autores: **María Guisasola Rabés, Berta Solà Enríquez, Andrés Vélez Pereira y Miriam de Nadal.**

Artículo publicado: **Eur J Anaesthesiology, 2019; 36:857-862.**  
DOI:**10.1097/EJA.0000000000001038**

Factor de impacto: **4.5**

## **6.2. Artículo 2**

Título: **“Noise levels and sleep in a surgical ICU”**




Autores: **María Guisasola Rabés, Berta Solà Enríquez, Andrés Vélez Pereira y Miriam de Nadal.**

Artículo publicado: **Journal of Clinical Medicine. 2022, 11(9), 2328. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm11092328>.**

Factor de impacto: **4.964**

Article

# Noise Levels and Sleep in a Surgical ICU

Maria Guisasola-Rabes <sup>1,\*</sup>, Berta Solà-Enriquez <sup>1</sup>, Andrés M. Vélez-Pereira <sup>2</sup> and Miriam de Nadal <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Anaesthesiology Department, Hospital Vall d'Hebron, Universitat Autònoma de Barcelona, Passeig de la Vall d'Hebrón 119-129, 08035 Barcelona, Spain; bsola@vhebron.net (B.S.-E.); minadal@vhebron.net (M.d.N.)

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Tarapacá, Avenue 18 de Septiembre 2222, Arica 1000007, Chile; avelezp@academicos.uta.cl

\* Correspondence: mguisasola@vhebron.net; Tel.: +34-932746004

**Abstract:** Sleep is disturbed in critically ill patients and is a frequently overlooked complication. The aim of our study is to evaluate the impact of sound levels in our surgical ICU on our patients' sleep on the first night of admission. The study was performed in a tertiary care university hospital, in a 12-bed surgical ICU. Over a 6-week period, a total of 148 adult, non-intubated and non-sedated patients completed the study. During this six-week period, sound levels were continuously measured using a type II sound level meter. Sleep quality was evaluated using the Richards–Campbell Sleep Questionnaire (RCSQ), which was completed both by patients and nurses on the first morning after admission. A non-significant correlation was found between night sound levels and sleep quality in the overall sample ( $r = -1.83$ , 95% CI:  $-4.54$  to  $0.88$ ,  $p = 0.19$ ). After multivariable analysis, a correlation was found between higher sound levels at night and lower RCSQ evaluations ( $r = -3.92$ , 95% CI:  $-7.57$  to  $-0.27$ ,  $p = 0.04$ ). We found a significant correlation between lower sound levels at night and a better quality of sleep in our patients; for each 1 dBA increase in LAFeq sound levels at night, patients scored 3.92 points lower on the sleep questionnaire.

**Keywords:** sleep; noise; perioperative care



**Citation:** Guisasola-Rabes, M.; Solà-Enriquez, B.; Vélez-Pereira, A.M.; de Nadal, M. Noise Levels and Sleep in a Surgical ICU. *J. Clin. Med.* **2022**, *11*, 2328. <https://doi.org/10.3390/jcm11092328>

Academic Editor: Nathaniel Watson

Received: 17 March 2022

Accepted: 17 April 2022

Published: 22 April 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

We know that sleep is disturbed in critically ill patients, both in quantity and quality [1–5]. The cause for these sleep disturbances in the ICU are thought to be multifactorial, with environmental factors probably being the most important. The environmental factor most often cited in the literature as a sleep disturbing factor is noise [2,6–8]. Other contributing factors include but are not limited to: the administration of sleep altering medications, how the intensive care unit (ICU) environment is structured and the effects of acute illness [9]. Sleep, sometimes an undervalued element, is in fact a physiological human need that plays a vital role in maintaining good health and is necessary for human survival.

A frequently overlooked complication in ICU patients is the lack of adequate sleep. Over 50% of these patients may experience some form of sleep disturbance [10], consisting of reductions in several sleep stages, marked sleep fragmentation, circadian rhythm disorganization, and daytime sleepiness [11]. Several studies have demonstrated that poor sleep quality can lead to physical and psychological symptoms [12–14]. Although many consequences of sleep deprivation are probably unknown, we know that a lack of sleep elicits adverse effects on the cardiovascular, metabolic and respiratory systems, as well as immune function disturbances and neuropsychological impairment, leading to poor cooperation and cognitive dysfunction [15]. These negative effects can hinder our efforts in treating critical patients, as they make weaning from assisted ventilation difficult, delay patient recovery and ultimately decrease the chances for a positive outcome [16–18].

Environmental noise has often been addressed as a relevant contributing factor to the alteration of sleep in the ICU, but the relative contribution of noise to sleep disturbance



is often debated when compared to other disrupting factors. In fact, a recent systematic review concluded that it is currently not possible to be able to correctly quantify the extent to which noise is a contributor to sleep disruption in ICU patients [19]. The most frequent sources of sound disruption have been reported as being due to staff conversations, alarms and those related to patient care interventions [20,21].

According to the guidelines from the World Health Organization (WHO), sound levels should not rise above 35 A-weighted decibels (dBA) in hospital areas where patients are treated or observed, allowing for a maximum night level below 40 dBA in order to ensure proper sleep. Several ICU studies have reported sound levels with mean values of 53–59 dBA, with peak sound levels of up to 67–86 dBA [2,21]. ICU noise has been demonstrated to contribute to patients' lack of REM sleep [2].

Quality of sleep can be evaluated using a variety of means, including both objective and subjective techniques. Within the objective techniques, the gold standard for the measurement of sleep is polysomnography (PSG).

When compared to other measures of sleep, the use of subjective methods for sleep assessment, such as sleep questionnaires, which can be filled in by patients or nurses, is simple, inexpensive and practical. The Richards–Campbell Sleep Questionnaire (RCSQ) was developed for this purpose. The RCSQ is a five-item visual analogue scale that is widely used to evaluate the quality of sleep among intensive care patients. This scale has been tested and found reliable and valid in various studies, including ICU patient populations [22–24]. The questionnaire can be filled in by both patients or nurses.

Many studies have used interventions to improve patients' quality of sleep which usually comprises a mix of interventions, including reducing the levels of both light and noise or listening to soft music. The aim of our study was to assess the impact of sound levels in our ICU on our patients' sleep on their first night of admission. We also looked at the difference between the patient's and nurse's perception of quality of sleep.

## 2. Materials and Methods

After obtaining local ethical approval (PR(AG)258/2017), we conducted a prospective single-centre study. The study took place in the surgical ICU of a tertiary university hospital, which consisted of a 12-bed unit, during a six week period [25]. Our surgical ICU operated in three shifts: a morning shift (8.00–15.00), an afternoon shift (15.00–22.00), and a night shift (22.00–8.00). During the period between the 8th of November and the 21st of December of 2017, 154 consecutive patients were included in the study. Exclusion criteria were as follows: patients under mechanical ventilation and/or sedation requirement at ICU admission, those undergoing cranial neurosurgery or with a Glasgow Coma Scale score less than 14 and patients who were unable to read or understand a sleep questionnaire. Patients who had already been enrolled in the study and returned to ICU for another reason were also excluded.

The study had an analytical and observational design. Over the six-week period, sound levels were continuously measured using a type II sound level meter (SC420, CESVA Instruments, Barcelona, Spain). We recorded the following data every 1 s with the filter frequency in A-weighting and Fast mode: noise equivalent level (LAFeq) to establish the noise level, the maximum level (LAFmax) in order to establish the maximum value, and the minimum level (LAFmin), which is used to analyse temporary variations in noise in the unit. Additionally, the 90th percentile (LAF90) and the peak noise levels (LApeak) were also recorded in order to establish the background noise levels and the dynamic of peak times or random noises, respectively [26,27]. The sound level meter was positioned following the recommendations of Fortes-Garrido [28], in an attempt to achieve the sound level samples that would be the most representative of the sound levels in our surgical ICU. We placed the sound level meter in the centre of the surgical unit, 55 cm from the ceiling and 110 cm from the wall. We also took into account the internal ICU dynamics, in order to try to interfere as little as possible with daily clinical activity [25].

Sleep quality was evaluated using the Richards–Campbell Sleep Questionnaire (RCSQ) [29], which was completed by the patients and the assigned nurse. Patients were asked to mark, with a pen, on a scale of 0–100 mm, their perception of quality of sleep in response to 5 questions (Appendix A). In this validated assessment instrument, higher scores indicate better sleep. Over the 6-week study period, on a daily basis, between 7.00 and 8.00 h, patients and nurses completed the questionnaire. To prevent adaptation to noise, we only analysed the RCSQ results from the patients' first night of ICU stay. In addition, other factors that could influence the patients' sleep were recorded: age, sex, body mass index (BMI), type of surgery (elective or urgent), hourly visual analogue scale (VAS) for pain intensity and number of hours with a VAS score higher than 3. Other factors that might influence the patients' sleep, such as nasogastric tube or urinary catheter insertion, overnight postural and/or drain change and hypnotic drug prescription, were also recorded (Table 1).

**Table 1.** Patient characteristics on inclusion.

Characteristic	Patient included ( <i>n</i> = 148)
Patient characteristics	
Male sex ( <i>n</i> ; %)	89; 60.1%
Age (mean ± SD)	63 ± 15 year
Weight (mean ± SD)	73 ± 16.8 kg
Height (mean ± SD)	170 ± 8.9 cm
Type of surgery	
Abdominal (%)	44.59
Urologic (%)	14.86
Vascular: extremities/carotid (%)	13.51
Other (%)	10.81
Thoracic (%)	9.46
Spinal (%)	5.41
ENT or maxillofacial (%)	1.35
Surgery characteristics	
Urgent surgery, yes (%)	23.7
Nasogastric tube, yes (%)	22.3
Urinary catheter, yes (%)	88.6
Medical care	
Drain changes, yes (%)	39.2
Hypnotic drug administration, yes (%)	36.5
Initiate drinking water, yes (%)	53.4
Night hygiene, yes (%)	71.0
Postural changes, yes (%)	33.4
VAS pain score	
Maximum (mean ± SD)	(2.5 ± 2.8)
Minimum (mean ± SD)	(0.2 ± 0.6)
No. of hours VAS was >3 (mean ± SD)	(0.9 ± 1.5)

VAS: Visual analogue scale. ENT: ear, nose and throat.

#### Statistical Analysis

We performed a descriptive analysis of the demographic variables. Continuous variables were expressed as mean ± SD, and categorical variables were expressed as absolute values and percentages. Quantitative data were compared with a one-way analysis of variance (ANOVA) test for data showing normal distribution and the Kruskal–Wallis test was used for categorical variables for data that were not normally distributed. Testing for normal distribution of the data was performed by the Kolmogorov–Smirnov test. Noise measurement data (LAFeq, LApeak, LAFmin, LAFmax and LAF90) were aggregated and summarized from seconds to hours and day periods (morning, afternoon and night) and analysed using a linear regression model adjusted by hours and periods. We also performed a subgroup analysis to study sound measurements during the nighttime.

To determine which factors were associated with a poor response on the RCSQ, we conducted an analysis to determine the relationship between sleep (dependent variable) and sound level indicators (independent variable) and used patient characteristics (shown in Table 1) as incidence covariables. The association between RCSQ values and noise levels was tested using Pearson's correlation, whereas the association between RCSQ values obtained by nurses and patients was analysed using Pearson's correlation and Bland-Altman plots. The distribution and dispersion of data were examined before inferential analyses were performed.

Data analyses were carried out using the R version 3.4.1 statistical software package (R Foundation for Statistical computing, Vienna, Austria) and a value of  $p < 0.05$  was considered to be statistically significant.

### 3. Results

During the study period, 148 patients were included in our study (Table 1); six patients with inclusion criteria were discharged to a hospital ward before they could complete the questionnaire. A total of 60.14% were male and the mean age of all patients was  $63 \pm 15$  years. The mean duration of ICU stay was  $26.2 \pm 2.3$  h. The average nighttime (from 22:00–08:00 h) sound levels in the 6-week study period are shown in Table 2.

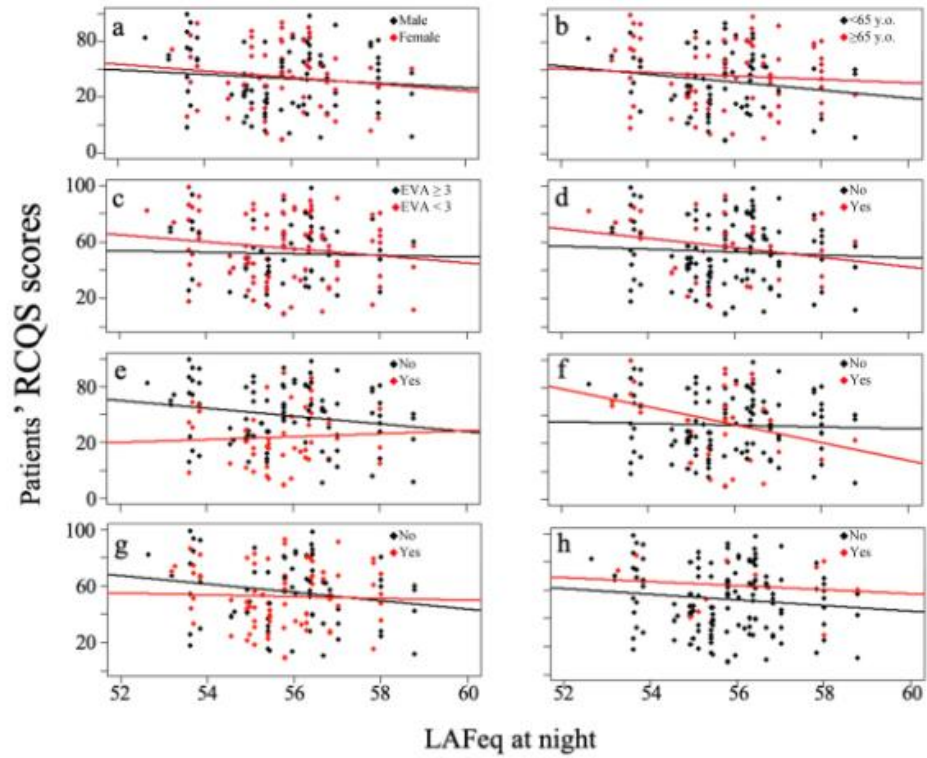
**Table 2.** Sound levels during the 6-week period.

	LAFeq	LAFpeak	LAFmin	LAF90	LAFmax
Mean	57.3 dB	75.6 dB	52.1 dB	52.7 dB	61.6 dB
Median	58.3 dB	76.6 dB	52.7 dB	53.3 dB	62.7 dB

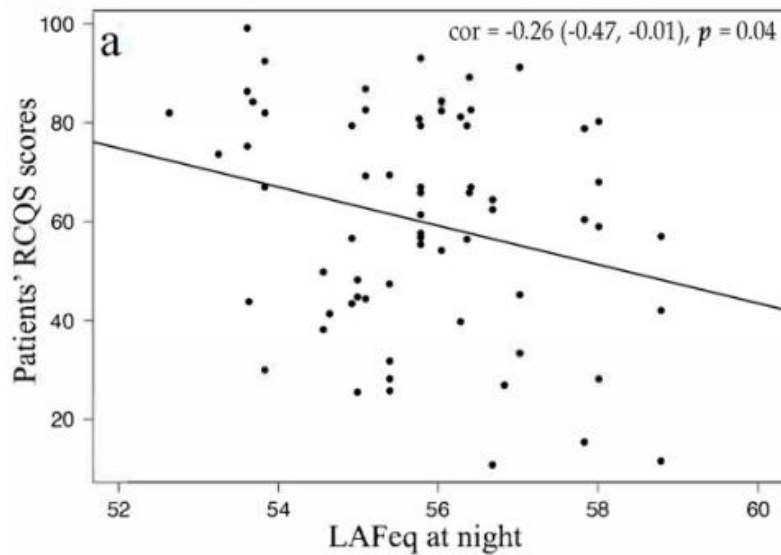
The reason for ICU admission was elective surgery in 111 patients (75%), with general surgery being the most frequent type. A total of 45 patients (30.41%) reported a VAS for a pain score higher than 3 during 2 or more hours and 54 patients (36.48%) received hypnotic drugs to aid sleep.

A non-significant correlation was found between night sound levels and sleep quality in the overall sample ( $r = -1.83$ , 95% CI;  $-4.54$  to  $0.88$ ,  $p = 0.19$ ). The correlation between RCSQ scores and sound levels at night depending on the covariables studied are shown in Figure 1. When conducting the multivariable analysis, we only found two variables that influenced patients' quality of sleep. Patients with a VAS score  $> 3$  (45 patients), that is, those that presented with VAS scores ranging from 4–10 during 2 or more hours, and those receiving hypnotic drugs (54 patients) showed the lowest RCSQ values ( $p = 0.05$  and  $p < 0.01$ , respectively). When patients with VAS scores  $> 3$  and those receiving hypnotic drugs were excluded from the analysis, a correlation was found between higher sound levels at night and lower RCSQ scores ( $r = -3.92$ , 95% CI;  $-7.57$  to  $-0.27$ ,  $p = 0.04$ ) (Figure 2a).

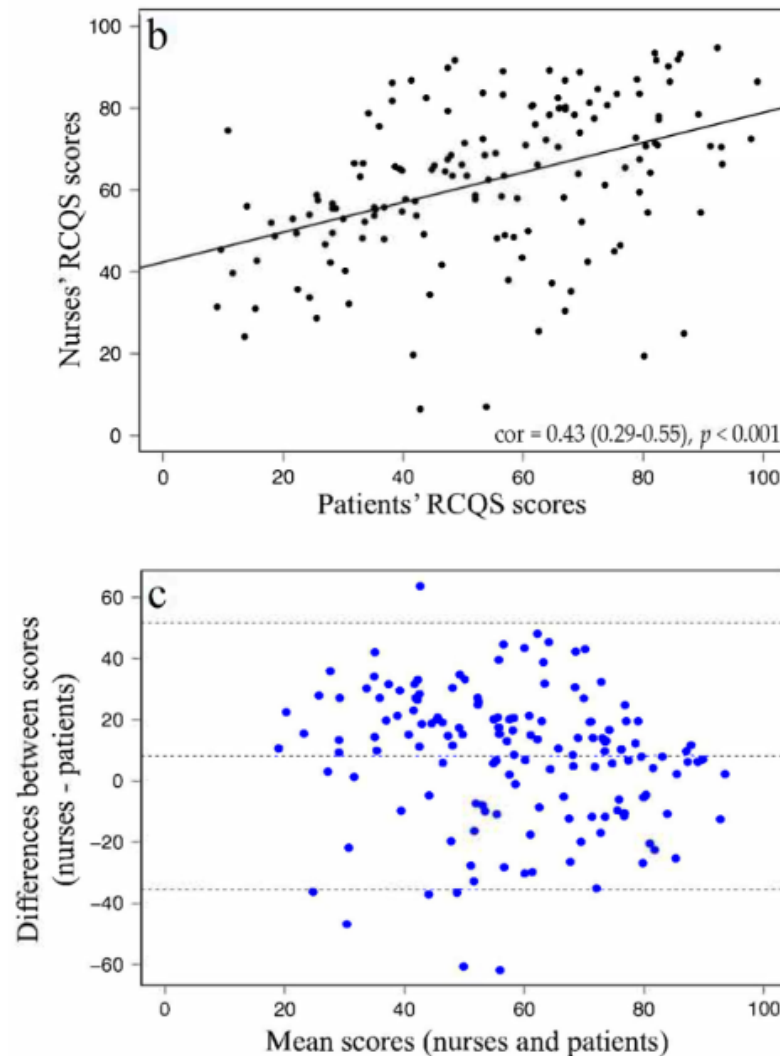
Regarding the nurses' and patients' perception of the patients' sleep, a correlation was found between the two RCSQ evaluations ( $r = 0.43$  (0.29–0.55),  $p < 0.001$ ) (Figure 2b). Despite this agreement, nurses tended to overestimate their patients' sleep by more than 8 points on the RCSQ score (Figure 2c). Nurse's RCSQ scores were used to compare them with patient's RCSQ scores and not as an independent measurement; thus, only a comparative analysis was performed between both results.



**Figure 1.** Correlation between patient RCSQ scores and LAFeq at nighttime depending on the covariables; (a) gender, (b) age, (c) VAS ≥ 3 during 2 or more hours, (d) urgent surgery, (e) hypnotic drug administration, (f) nasogastric tube, (g) water intake and (h) family visit.



**Figure 2.** Cont.



**Figure 2.** (a) RCSQ and mean sound levels at night; (b,c) nurses' perception of patients' sleep compared to the patients' perception.

**4. Discussion**

The acoustic status of our ICU, indicated by LAFeq values, was demonstrated to be similar to the situation described in other studies [30]. In our study, the results demonstrated that once potentially confounding factors such as pain had been excluded, lower sound levels led to better sleep quality, indicated by higher RCSQ scores.

Although it seems clear that noise has a negative effect on the quality of sleep of patients in the ICU, more studies are needed to quantify the effect of noise on sleep. Various studies include noise as a factor for sleep disturbance but say it is not the predominant factor, citing other factors such as pain or the inability to lie comfortably as major contributors [2,31], while other studies defend noise as the main factor for sleep disruption [1,32,33].

An important problem in ICU environments is that certain noises, such as those from ventilator or monitor alarms, as recorded by LApeak (the measure of the maximum instantaneous sound pressure value reached), are probably non-modifiable or very difficult to modify in an ICU environment. Aaron et al. demonstrated a significant correlation of sound peaks of over 80 dBA with arousals from patients' sleep [34]. At the same time, background noise (as measured by LAF90), has been demonstrated to also be negatively associated

with sleep and is often dependent on the building architecture; a recent multicentre study pointed out the importance of taking building properties into account when designing an ICU [26].

No interventions took place in our study to better aid sleep in our patients, but several studies have looked at interventions and mechanisms to promote sleep, with some demonstrating improvements in the quality of sleep [30,32,35–38]. The most common include the use of earplugs and eye masks, strategies for noise and light level reductions or the use of relaxing music [32,37–40]. Non-pharmacological interventions carried out by nurses could also prove useful in helping aid sleep, such as modifying the time of certain patient-care related activities [39].

It became apparent in our study that patients scoring a VAS  $\geq 3$  for a prolonged period and those receiving hypnotic drugs scored significantly lower. When these patients were excluded, a significant correlation was found between higher sound levels at night and poorer RCSQ scores the following morning. For each 1 dBA increase in LA<sub>Feq</sub>, patients' RCSQ scores were almost 4 points lower. It seems evident that pain is an important factor in sleep disruption, regardless of how noisy the ICU environment is, but patients who received hypnotic drugs (usually benzodiazepines) to aid sleep also scored worse on the sleep questionnaire. This may be because these patients already presented with sleep difficulties and had been prescribed hypnotic drugs at home, the reason for which these drugs were prescribed in our unit on admission. A patient with sleep difficulties at home is likely to score worse on a sleep questionnaire than those who do not have difficulty sleeping. An indication for the use of hypnotic drugs may be precisely that the patient demonstrates particular difficulty sleeping on the night of admission and requires medication to aid sleep, which could also be a reason for why these patients scored worse on the sleep questionnaire. One of our major limitations was that we did not identify the patients that already presented sleeping difficulties at home and we also did not account for patients presenting with obstructive sleep apnea syndrome (OSAS) or with pre-existing sleeping disorders. Age, sex, obesity, type of surgery and other factors that could influence a patient's sleep, such as nasogastric tube or urinary catheter insertion and overnight postural or drain change, did not correlate with a poorer RCSQ score. However, disease severity, as indicated by the APACHE score, was not taken into account when patients were selected, making this a limitation, as there is a possibility that beyond pain, disease severity may also disrupt sleep in ICU patients. Another limitation was that the sound level meter was not placed by the patient bedside; instead, it was placed in the centre of the ICU, very close to the nurses' station. This allows for closer recordings of staff activities and conversations rather than ventilator and monitor-related noise. Finally, we did not analyse sleepiness during the daytime, but only nighttime quality of sleep. Circadian rhythms in ICU patients are probably altered and daytime sleep should be taken into consideration. We also could have included a questionnaire to be filled in by patients about the perceived causes of sleep disruption during their ICU stay and could have looked at other contributing factors for sleep disturbance.

We also asked the nursing staff to express their perception of how the patient had slept the previous night by completing the RCSQ themselves, and the RCSQ demonstrated a correlation between the patients' and nurses' assessments. However, nurses tended to overestimate the quality of sleep. Therefore, it could be of value to inform the nursing staff about the results and impact of noise on the sleep quality of their patients so they become implicated in promoting sleep.

An alternative to polysomnography, the gold standard for sleep measurement, is actigraphy, a validated method for measuring total sleep time as well as sleep fragmentation [41]. However, when comparing actigraphy to nurse assessment, patient questionnaires and PSG, it tended to overestimate total sleep time and sleep efficiency [42] and awakenings were less frequently reported. Bispectral index (BIS), which is an EEG-derived method used to assess the depth of sedation, mainly used during general anaesthesia for patients undergoing surgery, has been evaluated as an alternative to assess the quality of sleep. A

recent study demonstrated that BIS monitors could be useful in providing a measure of the depth of sleep, particularly in situations such as intensive care units, and that it could serve as an alternative method for monitoring sleep [43]. The use of PSG in the ICU presents multiple challenges, such as the need for a skilled person to perform, interpret, and score the results. In addition, the use of PSG is expensive and inconvenient [39].

Although the RCSQ is a validated and reliable scale to assess patients' sleep, future studies should consider using more objective methods, such as the Bispectral Index (BIS), which are widely available, easy to interpret and could potentially prove to be an alternative to PSG.

Once confounding factors were excluded, we found a significant correlation between lower sound levels at night and a better quality of sleep in our patients; for each 1 dBA increase in LAFeq noise levels at night, patients scored 3.92 points lower on the sleep questionnaire.

**Author Contributions:** Conceptualization, M.G.-R. and M.d.N.; methodology, M.G.-R., B.S.-E. and M.d.N.; software, A.M.V.-P.; formal analysis, A.M.V.-P.; investigation, M.G.-R.; resources, M.d.N.; data curation, M.G.-R. and B.S.-E.; writing—original draft preparation, M.G.-R.; writing—review and editing, M.G.-R., M.d.N. and A.M.V.-P. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Institutional Review Board Statement:** The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, and approved by the Ethics Committee in the Clinical Investigation and Committee of Investigative Projects of the Vall d'Hebron University Hospital, Mireia Navarro Sebastian, with project number PR(AG)258/2017.

**Informed Consent Statement:** Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

**Data Availability Statement:** Not applicable.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## Appendix A

You are now ready to begin to answer the questions. Place your "X" **anywhere** on the answer line that you feel **best** describes your sleep last night.

1. My sleep last night was:

Deep Sleep \_\_\_\_\_ Light Sleep

2. Last night, the first time I got to sleep, I:

Fell Asleep \_\_\_\_\_ Just Never  
Almost Immediately \_\_\_\_\_ Could Fall Asleep

3. Last night I was:

Awake \_\_\_\_\_ Awake All  
Very Little \_\_\_\_\_ Night Long

4. Last night, when I woke up or was awakened, I:

Got Back \_\_\_\_\_ Couldn't  
To Sleep \_\_\_\_\_ Get Back To  
Immediately \_\_\_\_\_ Sleep

5. I would describe my sleep last night as:

A Good \_\_\_\_\_ A Bad  
Night's \_\_\_\_\_ Night's  
Sleep \_\_\_\_\_ Sleep

## References

- Hilton, B.A. Quantity and Quality of Patients' Sleep and Sleep-Disturbing Factors in a Respiratory Intensive Care Unit. *J. Adv. Nurs.* **1976**, *1*, 453–468. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Freedman, N.S.; Gazendam, J.; Levan, L.; Pack, A.I.; Schwab, R.J. Abnormal Sleep/Wake Cycles and the Effect of Environmental Noise on Sleep Disruption in the Intensive Care Unit. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* **2001**, *163*, 451–457. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Aurell, J.; Elmqvist, D. Sleep in the Surgical Intensive Care Unit: Continuous Polygraphic Recording of Sleep in Nine Patients Receiving Postoperative Care. *Br. Med. J. (Clin. Res. Ed.)* **1985**, *290*, 1029–1032. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Cooper, A.B.; Thornley, K.S.; Young, G.B.; Slutsky, A.S.; Stewart, T.E.; Hanly, P.J. Sleep in Critically Ill Patients Requiring Mechanical Ventilation. *Chest* **2000**, *117*, 809–818. [[CrossRef](#)]
- Broughton, R.; Baron, R. Sleep Patterns in the Intensive Care Unit and on the Ward after Acute Myocardial Infarction. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* **1978**, *45*, 348–360. [[CrossRef](#)]
- Bentley, S.; Murphy, F.; Dudley, H. Perceived Noise in Surgical Wards and an Intensive Care Area: An Objective Analysis. *Br. Med. J.* **1977**, *2*, 1503–1506. [[CrossRef](#)]
- Meyer, T.J.; Eveloff, S.E.; Bauer, M.S.; Schwartz, W.A.; Hill, N.S.; Millman, R.P. Adverse Environmental Conditions in the Respiratory and Medical ICU Settings. *Chest* **1994**, *105*, 1211–1216. [[CrossRef](#)]
- Redding, J.S.; Hargest, T.S.; Minsky, S.H. How Noisy Is Intensive Care? *Crit. Care Med.* **1977**, *5*, 275–276. [[CrossRef](#)]
- Telias, I.; Wilcox, M.E. Sleep and Circadian Rhythm in Critical Illness. *Crit. Care* **2019**, *23*, 2–5. [[CrossRef](#)]
- Beecroft, J.M.; Ward, M.; Younes, M.; Crombach, S.; Smith, O.; Hanly, P.J. Sleep Monitoring in the Intensive Care Unit: Comparison of Nurse Assessment, Actigraphy and Polysomnography. *Intensive Care Med.* **2008**, *34*, 2076–2083. [[CrossRef](#)]
- Friese, R.S.; Diaz-Arrostia, R.; McBride, D.; Frankel, H.; Gentilello, L.M. Quantity and Quality of Sleep in the Surgical Intensive Care Unit: Are Our Patients Sleeping? *J. Trauma Inj. Infect. Crit. Care* **2007**, *63*, 1210–1214. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Evans, J.C.; French, D.G. Sleep and Healing in Intensive Care Settings. *Dimens. Crit. Care Nurs.* **1995**, *14*, 189–199. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Edell-Gustafsson, U.M.; Gustavsson, G.; Yngman Uhlin, P. Effects of Sleep Loss in Men and Women with Insufficient Sleep Suffering from Chronic Disease: A Model for Supportive Nursing Care. *Int. J. Nurs. Pract.* **2003**, *9*, 49–59. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Korompeli, A.; Muurlink, O.; Kavrochorianou, N.; Katsoulas, T.; Fildissis, G.; Baltopoulos, G. Circadian Disruption of ICU Patients: A Review of Pathways, Expression, and Interventions. *J. Crit. Care* **2017**, *38*, 269–277. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Delaney, L.J.; Van Haren, F.; Lopez, V. Sleeping on a Problem: The Impact of Sleep Disturbance on Intensive Care Patients—A Clinical Review. *Ann. Intensive Care* **2015**, *5*, 3. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Grandner, M.A.; Hale, L.; Moore, M.; Patel, N.P. Mortality Associated with Short Sleep Duration: The Evidence, the Possible Mechanisms, and the Future. *Sleep Med. Rev.* **2010**, *14*, 191–203. [[CrossRef](#)]
- Gallicchio, L.; Kalesan, B. Sleep Duration and Mortality: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Sleep Res.* **2009**, *18*, 148–158. [[CrossRef](#)]
- Friese, R.S.; Bruns, B.; Sinton, C.M. Sleep Deprivation After Septic Insult Increases Mortality Independent of Age. *J. Trauma Inj. Infect. Crit. Care* **2009**, *66*, 50–54. [[CrossRef](#)]
- Horsten, S.; Reinke, L.; Absalom, A.R.; Tulleken, J.E. Systematic Review of the Effects of Intensive-Care-Unit Noise on Sleep of Healthy Subjects and the Critically Ill. *Br. J. Anaesth.* **2018**, *120*, 443–452. [[CrossRef](#)]
- Elbaz, M.; Léger, D.; Sauvet, F.; Champigneulle, B.; Rio, S.; Strauss, M.; Chennaoui, M.; Guilleminault, C.; Mira, J.P. Sound Level Intensity Severely Disrupts Sleep in Ventilated ICU Patients throughout a 24-h Period: A Preliminary 24-h Study of Sleep Stages and Associated Sound Levels. *Ann. Intensive Care* **2017**, *7*, 25. [[CrossRef](#)]
- Freedman, N.S.; Kotzer, N.; Schwab, R.J. Patient Perception of Sleep Quality and Etiology of Sleep Disruption in the Intensive Care Unit. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* **1999**, *159*, 1155–1162. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Kamdar, B.B.; Shah, P.A.; King, L.M.; Kho, M.E.; Zhou, X.; Colantuoni, E.; Collop, N.A.; Needham, D.M. Patient-Nurse Interrater Reliability and Agreement of the Richards-Campbell Sleep Questionnaire. *Crit. Care Eval.* **2012**, *21*, 261–269. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Boyko, Y.; Ørding, H.; Jennum, P. Sleep Disturbances in Critically Ill Patients in ICU: How Much Do We Know? *Acta Anaesthesiol. Scand.* **2012**, *56*, 950–958. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Aitken, L.M.; Elliott, R.; Mitchell, M.; Davis, C.; Macfarlane, B.; Ullman, A.; Wetzig, K.; Datt, A.; McKinley, S. Sleep Assessment by Patients and Nurses in the Intensive Care: An Exploratory Descriptive Study. *Aust. Crit. Care* **2017**, *30*, 59–66. [[CrossRef](#)]
- Guisasola-Rabes, M.; Solà-Enriquez, B.; Vélez-Pereira, A.M.; De Nadal, M. Effectiveness of a Visual Noise Warning System on Noise Levels in a Surgical ICU: A Quality Improvement Programme. *Eur. J. Anaesthesiol.* **2019**, *36*, 857–862. [[CrossRef](#)]
- Simons, K.S.; Verweij, E.; Lemmens, P.M.C.; Jelfs, S.; Park, M.; Spronk, P.E.; Sonneveld, J.P.C.; Feijen, H.-M.; van der Steen, M.S.; Kohlrausch, A.G.; et al. Noise in the Intensive Care Unit and Its Influence on Sleep Quality: A Multicenter Observational Study in Dutch Intensive Care Units. *Crit. Care* **2018**, *22*, 250. [[CrossRef](#)]
- Garrido Galindo, A.P.; Camargo Caicedo, Y.; Velez-Pereira, A.M. Noise Level in a Neonatal Intensive Care Unit in Santa Marta—Colombia. *Colomb. Med.* **2017**, *48*, 120–125. [[CrossRef](#)]
- Fortes-Garrido, J.; Velez-Pereira, A.; Gázquez, M.; Hidalgo-Hidalgo, M.; Bolívar, J. The Characterization of Noise Levels in a Neonatal Intensive Care Unit and the Implications for Noise Management. *J. Environ. Health Sci. Eng.* **2014**, *12*, 104. [[CrossRef](#)]
- Shahid, A.; Wilkinson, K.; Marcu, S.; Shapiro, C.M. *STOP, THAT and One Hundred Other Sleep Scales*; Richards-Campbell Sleep Questionnaire (RCSQ); Springer: New York, NY, USA, 2011; ISBN 978-1-4419-9892-7.



30. Le Guen, M.; Nicolas-Robin, A.; Lebard, C.; Arnulf, I.; Langeron, O. Earplugs and Eye Masks vs Routine Care Prevent Sleep Impairment in Post-Anaesthesia Care Unit: A Randomized Study. *Br. J. Anaesth.* **2014**, *112*, 89–95. [[CrossRef](#)]
31. Jones, J.; Hoggart, B.; Withey, J.; Donaghue, K.; Ellis, B.W. What the Patients Say: A Study of Reactions to an Intensive Care Unit. *Intensive Care Med.* **1979**, *5*, 89–92. [[CrossRef](#)]
32. Richardson, A.; Allsop, M.; Coghill, E.; Turnock, C. Earplugs and Eye Masks: Do They Improve Critical Care Patients' Sleep? *Nurs. Crit. Care* **2007**, *12*, 278–286. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
33. Hweidi, I.M. Jordanian Patients' Perception of Stressors in Critical Care Units: A Questionnaire Survey. *Int. J. Nurs. Stud.* **2007**, *44*, 227–235. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Aaron, J.N.; Carlisle, C.C.; Carskadon, M.A.; Meyer, T.J.; Hill, N.S.; Millman, R.P. Environmental Noise as a Cause of Sleep Disruption in an Intermediate Respiratory Care Unit. *Sleep* **1996**, *19*, 707–710. [[CrossRef](#)]
35. Sandoval, C.P. Nonpharmacological Interventions for Sleep Promotion in the Intensive Care Unit. *Crit. Care Nurse* **2017**, *37*, 100–102. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Hu, R.; Jiang, X.; Zeng, Y.; Chen, X.; Zhang, Y. Effects of Earplugs and Eye Masks on Nocturnal Sleep, Melatonin and Cortisol in a Simulated Intensive Care Unit Environment. *Crit. Care* **2010**, *14*, R66. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Hu, R.F.; Jiang, X.Y.; Hegadoren, K.M.; Zhang, Y.H. Effects of Earplugs and Eye Masks Combined with Relaxing Music on Sleep, Melatonin and Cortisol Levels in ICU Patients: A Randomized Controlled Trial. *Crit. Care* **2015**, *19*, 115. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
38. Arık, E.; Dolgun, H.; Hanalioglu, S.; Sahin, O.S.; Ucar, F.; Yazicioglu, D.; Dogan, I.; Yilmaz, E.R. Prospective Randomized Study on the Effects of Improved Sleep Quality After Craniotomy on Melatonin Concentrations and Inflammatory Response in Neurosurgical Intensive Care Patients. *World Neurosurg.* **2020**, *140*, e253–e259. [[CrossRef](#)]
39. Younis, M.B.; Hayajneh, F.; Batiha, A.M. Measurement and Nonpharmacologic Management of Sleep Disturbance in the Intensive Care Units: A Literature Review. *Crit. Care Nurs. Q.* **2019**, *42*, 75–80. [[CrossRef](#)]
40. Fang, C.S.; Wang, H.H.; Wang, R.H.; Chou, F.H.; Chang, S.L.; Fang, C.J. Effect of Earplugs and Eye Masks on the Sleep Quality of Intensive Care Unit Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Adv. Nurs.* **2021**, *77*, 4321–4331. [[CrossRef](#)]
41. Elysa, M.J.; Hinkley, N. NIH Public Access. *Bone* **2011**, *72*, 132–135. [[CrossRef](#)]
42. Schwab, K.E.; Ronish, B.; Needham, D.M.; To, A.Q.; Martin, J.L.; Kamdar, B.B. Actigraphy to Evaluate Sleep in the Intensive Care Unit: A Systematic Review. *Ann. Am. Thorac. Soc.* **2018**, *15*, 1075–1082. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
43. Giménez, S.; Romero, S.; Alonso, J.F.; Mañanas, M.Á.; Pujol, A.; Baxarias, P.; Antonijoan, R.M. Monitoring Sleep Depth: Analysis of Bispectral Index (BIS) Based on Polysomnographic Recordings and Sleep Deprivation. *J. Clin. Monit. Comput.* **2017**, *31*, 103–110. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

## 7. RESUMEN DE LOS RESULTADOS

---

### 7.1. Resultados del artículo 1: “Effectiveness of a visual noise warning system on noise levels in a surgical ICU. A quality improvement programme”.

Los niveles de ruido medios pre-intervención, representados por los valores LAFeq, fueron de  $57.3 \pm 5.2$  dBA. Los niveles de ruido disminuyeron rápidamente durante el turno de noche hasta las 05.00 o 06.00 la mañana siguiente, y esta dinámica se mantuvo durante las tres fases del estudio. El ruido de fondo, que se obtuvo comparando LAFmin y LAF90 (que fueron prácticamente iguales) demostró que los niveles más bajos fueron de  $52.1 \pm 5$  y  $52.7 \pm 5$  dBA, respectivamente. Finalmente, los niveles de ruido pico (LApeak) fueron considerablemente más altos que LAFmax ( $75.6 \pm 5.6$  y  $61.6 \pm 5.3$  dBA, respectivamente).

En global, tras ajustar para la variación de ruido durante el día, los niveles de ruido LAFeq disminuyeron en 1.35 dBA (IC 95%, 0.63 a 2.08,  $p < 0.001$ ) tras la implementación de *SoundEar II*. Al comparar la fase pre-intervención (fase I) y post-intervención (fase III), los niveles de ruido mostraron una reducción en 0.86 dBA (IC 95%, 0.16 a 1.56,  $p = 0.02$ ). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la fase II y la fase III (cuando el dispositivo *SoundEar II* estaba activado y cuando estaba apagado), aunque la tendencia fue a que los niveles de ruido aumentaran en 0.5 dBA (IC 95%, -0.13 a 1.13,  $p = 0.12$ ) entre las fases II y III.

Los niveles de ruido tuvieron un patrón similar independientemente de la medida utilizada. La fase pre-intervención registró los niveles más altos de ruido (con la única excepción siendo los valores pico por la mañana), que disminuyeron durante la implementación del *SoundEar II* (a excepción de LAFmax y LApeak). Los niveles de ruido mostraron pocas diferencias una vez el dispositivo se apagó, pero se observó una disminución significativa en LAF90 y LAFmin cuando se compararon la fase I con la fase III.

## 7.2. Resultados del artículo 2: “Noise levels and sleep in a surgical ICU”

Se encontró una correlación no significativa entre los niveles sonoros por la noche y la calidad del sueño en la muestra total ( $r = -1.83$ , 95% CI; -4.54 a 0.88,  $p = 0.19$ ). Al realizar el análisis multivariable, sólo encontramos dos variables que influenciaban la calidad del sueño de los pacientes. Los pacientes con una puntuación de EVA  $> 3$  (45 pacientes), es decir, aquellos pacientes con puntuaciones EVA para el dolor entre 4-10 durante 2 o más horas, y aquellos pacientes que recibieron medicación hipnótica (54 pacientes) presentaron las puntuaciones más bajas en el RCSQ ( $p = 0.05$  y  $p < 0.01$ , respectivamente). Cuando se excluyeron del análisis a los pacientes que puntuaban  $> 3$  en la escala visual analógica del dolor y aquellos a los que se les administró medicación hipnótica, se encontró una correlación significativa entre niveles sonoros mayores por la noche y resultados menores en la encuesta RCSQ ( $r = -3.92$ , 95% CI; -7.57 a -0.27,  $p = 0.04$ ).

En cuanto a la percepción de la calidad del sueño de los pacientes y su valoración por enfermería, se encontró una correlación entre las dos evaluaciones de la encuesta RCSQ ( $r = 0.43$  (0.29-0.55),  $p < 0.001$ ). A pesar de esta concordancia, la tendencia fue a sobreestimar la calidad del sueño de los pacientes por parte de enfermería por 8 puntos en el cuestionario RCSQ. Las puntuaciones del RCSQ de enfermería se utilizaron para compararlas con las puntuaciones del RCSQ de los pacientes y no como medida independiente; por tanto, sólo se realizó un análisis comparativo entre ambos resultados.

## 8. DISCUSIÓN

---

Los resultados de nuestro trabajo sugieren que la reducción del ruido en una unidad de cuidados críticos puede mejorar el descanso nocturno de los pacientes. Este trabajo demuestra en primer lugar que la implementación de un sistema visual de aviso de ruido puede reducir los niveles sonoros a lo largo del día y sobre todo por la noche; y, por otro lado, que los pacientes refieren un mejor descanso nocturno cuando los niveles sonoros nocturnos son menores.

### **8.1. Los niveles sonoros a lo largo del día en nuestra unidad de cuidados críticos**

En nuestro trabajo, observamos que el ambiente acústico basal de nuestra unidad de cuidados críticos, representado por los valores LAFeq, era similar al descrito en otros trabajos [78]. Los mayores niveles sonoros se registraron en la fase previa a la intervención con independencia del momento del día y de la medida sonora estudiada; y los valores sonoros más bajos se registraron cuando el sistema visual de aviso de ruido estaba encendido. Los niveles sonoros más altos fueron registrados durante la mañana en las tres fases, siendo el registro de los niveles sonoros más bajos por la noche, también en las tres fases del estudio.

Se han reportado de forma consistente niveles de ruido en unidades de críticos a niveles muy por encima de aquellos recomendados por la OMS y a niveles sonoros que probablemente puedan tener efectos adversos sobre la salud de tanto los pacientes como sobre el personal sanitario, tanto de forma directa como indirecta. Aunque por ahora aún no hay evidencia sólida de que una disminución en los niveles de ruido esté directamente asociada con un beneficio clínico en los pacientes, varios estudios sugieren que el uso de diversas estrategias podría ayudar a disminuir los niveles de ruido en las unidades de cuidados críticos y que ello podría ayudar a mejorar el bienestar de los mismos y disminuir los efectos secundarios, incluido el delirio [69].

Los niveles de ruido podrían clasificarse como modificables y no modificables o poco modificables. Hablamos de ruido modificable generalmente al referirnos a las conversaciones que mantiene el personal sanitario, tanto en cantidad como en intensidad, o al movimiento de material sanitario realizado también por el personal sanitario. En cuanto al ruido no modificable o poco modificable en una unidad de cuidados críticos, nos referimos principalmente a aquel generado por las alarmas de los monitores y los ventiladores. Se han reportado más de 150 alarmas por paciente por día en una unidad de cuidados críticos, incluyendo las alarmas de ventiladores, de bombas de medicación endovenosa, de nutriciones o de monitores [79]. Sin embargo, estudios han demostrado que hasta un 85-99% de estas alarmas no requieren intervención clínica [80]. Todas estas alarmas contribuyen a la llamada “fatiga por alarma” del personal que trabaja en estas unidades. Este fenómeno ocurre en el personal sanitario que se desensibiliza a las alarmas sonoras debido a la gran cantidad de estas y por su omnipresencia en las UCI. Varios estudios han reportado el cansancio mental que producen estas alarmas, muchas de las cuales no pueden procesarse [81–86]. Esta sobreexposición a alarmas que no somos capaces de procesar resulta en un menor estado de alerta y por tanto menores tasas de acierto en cuanto a tratar los problemas realmente urgentes [87] y que de forma subconsciente podrían ser ignoradas. Estos ruidos se ven representados por los valores LApeak en nuestro trabajo, donde también se observó un número elevado de ruidos correspondientes a alarmas de monitores y ventiladores, similar a lo ya descrito en la literatura.

Por otro lado, nuestro trabajo mostró que, en cuanto al ruido de fondo, representado por LAF90, sólo se consiguió una reducción discreta, lo cual indica que probablemente este es el nivel más bajo alcanzable y que para conseguir mayores reducciones en los niveles de ruido, sería necesario realizar cambios arquitectónicos al edificio. Un estudio multicéntrico reportaba que el ruido de fondo está asociado negativamente con el sueño y subrayaba la importancia de tener en cuenta las propiedades de construcción de los edificios a la hora de diseñar una unidad de cuidados críticos [93].

## **8.2. Eficacia de la implementación de estrategias para disminuir los niveles de ruido**

La implementación de un sistema visual de aviso de ruido (SoundEar II) en una unidad de cuidados postoperatorios consiguió una reducción significativa en los niveles de ruido. La reducción de estos niveles se mantuvo hasta cierto grado incluso después de que el dispositivo se apagara, lo cual sugiere que se realizaron cambios en el comportamiento y en la forma de actuar del personal y que estos cambios de conducta perduraron incluso tras apagar el dispositivo. Esto probablemente fue debido gracias a la reducción del ruido modificable, como las conversaciones del personal; y estas modificaciones se mantuvieron una vez se apagó el dispositivo. Sin embargo, se observó que la tendencia de los niveles sonoros tras apagar el dispositivo fue al alza, lo cual sugiere que el efecto de la presencia del SoundEar se pierde parcialmente una vez este se ha apagado.

El dispositivo funcionó como una intervención aislada para disminuir los niveles sonoros ambientales (LAFeq), pero no consiguió disminuir otros parámetros, como por ejemplo los niveles pico (LApeak). Los niveles de ruido ambientales corresponden a factores modificables de ruido, como pueden ser las conversaciones del personal sanitario, tanto en cantidad como en intensidad. Es plausible que esta mayor disminución en los niveles sonoros ambientales estuviera directamente relacionada con el “feedback” visual directo de los niveles de ruido a través del dispositivo SoundEar. Sin embargo, los niveles de LApeak no obtuvieron esta reducción debido a que el dispositivo tiene menor influencia sobre el ruido no modificable o poco modificable, como aquel producido por dispositivos médicos como las alarmas de los monitores, de los ventiladores o ruidos no intencionados al cerrar una puerta o mover material.

En nuestro estudio, no se avisó al personal de la introducción del dispositivo en la unidad y tampoco se les informó de que se registrarían los niveles de ruido utilizando un sonómetro. Por tanto, se trataba de una intervención aislada, en vez de formar parte de un programa de reducción de ruido o modificación medioambiental. Con esta intervención aislada, se consiguieron disminuir los niveles de ruido simplemente con su

presencia, sin requerir educar al personal sanitario. Aunque no se recogieron datos sobre cómo el personal sanitario modificó su comportamiento una vez se implementó el dispositivo SoundEar, los trabajadores nos mencionaron que la presencia del dispositivo les recordaba disminuir el volumen al hablar. Además de nuestro trabajo, existe otro estudio que también demostró disminuir los niveles de ruido nocturnos únicamente implementando el dispositivo, en este caso el SoundEar 3 [33].

Se podría teorizar que un abordaje multimodal podría aumentar la eficiencia y obtener una mayor reducción de ruido, ya que a pesar de la disminución en los niveles de ruido en nuestro trabajo, estos siguieron estando muy por encima de aquellos recomendados por la OMS. Por ello, y ya que existen varios estudios que han demostrado obtener una disminución en los niveles ambientales de ruido aplicando distintas estrategias [69,88–92], una combinación de diversas estrategias sumadas a la implementación de un sistema visual de aviso de ruido podría obtener reducciones marcadas en los niveles sonoros en las unidades de cuidados críticos.

Basándonos en nuestros resultados, creemos que los sistemas visuales de aviso de ruido podrían ser útiles en unidades de cuidados críticos.

### **8.3. Calidad del descanso nocturno de los pacientes**

En nuestro trabajo, la calidad del sueño de los pacientes fue evaluada utilizando la cuestionario de sueño “Richards Campbell Sleep Questionnaire” (RCSQ). Al compararlo con otros métodos para evaluar el sueño, el uso de este cuestionario subjetivo es un método simple, de bajo coste y práctico. El RCSQ se desarrolló para esta utilidad. Se trata de una escala visual analógica de 5 ítems testada y validada para evaluar el sueño en pacientes ingresados en unidades de cuidados críticos. El cuestionario lo pueden rellenar tanto los pacientes como enfermería, y en nuestro trabajo el cuestionario fue rellenado por ambos en la primera noche de ingreso en el hospital, para así prevenir la adaptación al ruido.

Aunque parezca obvio que el ruido tiene un impacto negativo sobre la calidad del sueño de los pacientes en las UCI, hacen falta más estudios para cuantificar de manera más exacta el efecto del ruido sobre el sueño. Existen varios estudios que, entre otros muchos factores, incluyen el ruido como un factor de alteración del sueño, pero no lo

citan como el elemento perturbador predominante, sino que citan otros, como el dolor o la incapacidad de estar tumbado de forma cómoda, como contribuyentes principales al mal descanso nocturno de los pacientes [22,94]. Por otro lado, otros estudios defienden el ruido como principal causante de la interrupción del sueño [91,95,96].

Como hemos comentado, uno de los principales problemas en las unidades de cuidados críticos es que hay ciertos ruidos, como aquellos que provienen de alarmas del ventilador o de los monitores, los registrados como LApeak, que probablemente no sean modificables o sean muy difíciles de modificar en estas unidades. Aaron et al. demostraron una correlación significativa entre los niveles de ruido pico mayores a 80 dBA con los despertares del sueño de los pacientes [97].

En nuestro trabajo, utilizamos un sistema visual de aviso de ruido con el objetivo de intentar disminuir los niveles de ruido en nuestra unidad y ver si eso afectaba a la calidad del descanso nocturno de los pacientes, pero no realizamos ninguna otra intervención para fomentar el sueño de los pacientes. Hay varios estudios que han realizado intervenciones para promover el sueño y algunas de ellas han demostrado mejorar la calidad del sueño de los pacientes [89–92,98,99]. Las intervenciones más comunes que se han realizado son el uso de tapones para los oídos y antifaces, la administración de melatonina nocturna, reducir el nivel de luz ambiental y el uso de música relajante [91,92,99–101]. También se han descrito intervenciones no farmacológicas, como por ejemplo modificar los horarios de ciertas actividades, como algunas curas o higienes de los pacientes por parte de enfermería, que han demostrado ser útiles en ayudar al descanso nocturno de los pacientes [100]. Por tanto, existen multitud de opciones y estrategias que pueden ayudar a mejorar el descanso nocturno de los pacientes pero que nosotros no llevamos a cabo, ya que uno de nuestros objetivos era cuantificar exclusivamente el efecto del ruido sobre el descanso nocturno de los pacientes.

A pesar de la disminución de los niveles sonoros tanto durante el día como por la noche tras la implementación del sistema visual de aviso de ruido, los resultados del cuestionario RCSQ en la muestra total fueron similares en las tres fases del estudio. Sin embargo, observamos que aquellos pacientes que puntuaban un EVA > 3 en la escala del dolor durante periodos prolongados y aquellos pacientes a los que se les había



administrado fármacos hipnóticos (en su mayoría benzodiazepinas), tenían puntuaciones significativamente peores al resto de los pacientes. Al excluir a estos pacientes de la muestra, se encontró una correlación significativa entre mayores niveles de ruido por la noche y peores resultados en el cuestionario. Por cada aumento de 1 dBA en los valores de LAFeq, los pacientes puntuaban casi 4 puntos menos en el cuestionario de sueño.

Parece evidente que el dolor es un factor importante en la disrupción del sueño, independientemente de lo ruidosa que sea la UCI, pero lo que nos sorprendió fueron los pacientes a los que se les había administrado medicación hipnótica precisamente para ayudar al descanso nocturno y sin embargo puntuaron peor en el cuestionario de sueño. Creemos que esto puede ser debido a que se trataba de pacientes que ya presentaban dificultades y alteraciones del sueño previo a su ingreso y que por tanto tenían esta medicación recetada en domicilio, motivo por el cual se pautaron y administraron en nuestra unidad. Un paciente con problemas para dormir en casa es probable que puntúe peor en un cuestionario de sueño que aquellos que no tienen dificultades para dormir en casa. La administración de fármacos hipnóticos puede también ser un factor de confusión, ya que una indicación para administrar medicación hipnótica puede ser precisamente que el paciente presenta una dificultad particular para dormir y requiere medicación para ayudarlo a dormir, por lo que podría ser una razón por la cual estos pacientes puntuaron peor en el cuestionario. El resto de factores que registramos que podrían influenciar la calidad del sueño de los pacientes, no se correlacionaron con una peor puntuación en el RCSQ.

En nuestro trabajo, también pedimos al equipo de enfermería de noche que rellenaran el cuestionario según su percepción de cómo había descansado el paciente la noche anterior. Los resultados nos demostraron una correlación entre la evaluación de los pacientes y la de enfermería, aunque el equipo de enfermería tendió a sobreestimar la calidad del sueño de los pacientes. Sería valioso informar a los equipos de enfermería de los resultados y de la importancia del ruido sobre el descanso de los pacientes, para así poder implicarse en promover el sueño de estos.

El “gold standard” para la medición del sueño es la polisomnografía. Sin embargo, el uso de la misma en las UCI es complejo ya que requiere la presencia de un experto para realizarlo, interpretarlo y apuntar los resultados. Además, tiene un alto coste y es incómodo [100]. Una alternativa a la polisomnografía es la actigrafía, un método validado para medir tanto el tiempo total del sueño como la fragmentación del mismo [102]. Sin embargo, al comparar la actigrafía a los cuestionarios rellenos por los pacientes y por enfermería y con la polisomnografía, se tendía a sobreestimar la calidad del sueño y se reportaban menos despertares [103]. El índice bispectral (BIS), un método derivado del electroencefalograma (EEG) utilizado para medir el grado de sedación, sobre todo utilizado en pacientes bajo anestesia general en quirófano, se ha evaluado como una alternativa para valorar la calidad del sueño. Un estudio reciente demostró que los monitores BIS podrían ser útiles en proporcionar una medida de la profundidad del sueño, particularmente en lugares como unidades de cuidados intensivos, y que podría ser un método alternativo para monitorizar el sueño [104].



## 9. LIMITACIONES

---

En nuestro trabajo, el sonómetro se colocó en la unidad antes que el dispositivo SoundEar II. No se informó al personal sanitario de cuál era la función del sonómetro, pero este era visible (se trata de un dispositivo con forma de micrófono), por lo que probablemente esto hizo sospechar que se estaban midiendo los niveles de ruido y al sentirse observados, viendo que estaban siendo grabados, los niveles sonoros que consideramos como basales quizás fueron más bajos que los niveles sonoros habituales. Tampoco evaluamos la respuesta del personal tanto al sonómetro como al dispositivo SoundEar II.

Una limitación importante la marcó la distribución de nuestra UCI. El sonómetro no se colocó directamente en el cabecero del paciente sino en el centro de la UCI, muy cercano al control de enfermería, por lo que el registro del ruido sería más parecido al ruido en esta zona y no se registraría con tanta exactitud el ruido que provenía de las alarmas cercanas a la cama del paciente. Por tanto, los niveles y las características del ruido registrados serían distintos a aquellos percibidos por el paciente.

Otra limitación importante de nuestro trabajo fue que no registramos que pacientes ya tomaban medicación hipnótica en casa, previo al ingreso. Tampoco anotamos la hora de administración de la medicación hipnótica que nos hubiera podido orientar en el motivo de administración; una administración temprana podría indicar una pauta de medicación previa en domicilio y una administración tardía podría ser debida a una imposibilidad en conciliar el sueño en pacientes que no toman esta medicación en domicilio.

Tampoco tuvimos en cuenta el sueño diurno de los pacientes, únicamente nos centramos en el descanso nocturno. Cabe tener en cuenta que los ritmos circadianos en estos pacientes muy probablemente se encuentren alterados y también duermen durante el día.



## 10. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS

---

Nuestro trabajo utilizaba una única intervención con el objetivo de disminuir el ruido en las unidades de cuidados críticos y de identificar la importancia del factor del ruido en el descanso nocturno de los pacientes. Sin embargo, un abordaje multimodal, que incluyera los sistemas visuales de aviso de ruido y añadiendo nuevas medidas para promover unos niveles sonoros menores y así favorecer el descanso de los pacientes; podría ser considerado para obtener una mejoría en el bienestar de los pacientes, con resultados clínicos significativos.

En cuanto a la evaluación de la calidad de sueño de los pacientes, aunque el cuestionario RCSQ está validado para valorar la calidad del sueño de los pacientes, estudios futuros podrían considerar la utilización de métodos más objetivos, como por ejemplo el índice bispectral (BIS), que se encuentra ampliamente disponible, es fácil de interpretar y podría potencialmente ser una alternativa a la polisomnografía.



## 11. CONCLUSIONES

---

1. La implementación de un sistema visual de aviso de ruido logró una reducción mantenida en los niveles de ruido medios en nuestra unidad de cuidados críticos.
2. En cuanto al descanso nocturno de los pacientes, una vez excluidas las variables de confusión, encontramos una correlación significativa entre menores niveles sonoros nocturnos y una mejor calidad del sueño en nuestros pacientes.
3. Por cada aumento de 1dBA en los niveles sonoros de LAFeq nocturnos, los pacientes puntuaban 3.92 puntos menos en la encuesta del sueño.





## 12. BIBLIOGRAFÍA

---

1. Babisch W. Noise and health. *Environ Health Perspect* [Internet]. 2005 Jan;113(1):A14-5. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15631951>
2. Hahad O, Bayo Jimenez MT, Kuntic M, Frenis K, Steven S, Daiber A, et al. Cerebral consequences of environmental noise exposure. *Environ Int* [Internet]. 2022;165(April):107306. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107306>
3. Ising H, Kruppa B. Health effects caused by noise: evidence in the literature from the past 25 years. *Noise Health*. 2004;6(22):5–13.
4. Goines L, Hagler L. Noise pollution: A modern plague. *South Med J*. 2007;100(3):287–94.
5. Stansfeld S, Haines M, Brown B. Noise and health in the urban environment. *Rev Environ Health* [Internet]. 15(1–2):43–82. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10939085>
6. World Health Organization (2001). 2001.
7. Babisch W. Stress hormones in the research on cardiovascular effects of noise. *Noise Health* [Internet]. 5(18):1–11. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12631430>
8. Pitts AF, Samuelson SD, Meller WH, Bissette G, Nemeroff CB, Kathol RG. Cerebrospinal fluid corticotropin-releasing hormone, vasopressin, and oxytocin concentrations in treated patients with major depression and controls. *Biol Psychiatry* [Internet]. 1995 Sep 1;38(5):330–5. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7495928>
9. Mason D. Genetic variation in the stress response: susceptibility to experimental allergic encephalomyelitis and implications for human inflammatory disease. *Immunol Today*. 1991;12(2):57–60.

10. HENKIN RI, KNIGGE KM. Effect of sound on the hypothalamic-pituitary-adrenal axis. *Am J Physiol* [Internet]. 1963 [cited 2022 Oct 15];204:701–4. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13953735/>
11. Selander J, Bluhm G, Theorell T, Pershagen G, Babisch W, Seiffert I, et al. Saliva Cortisol and Exposure to Aircraft Noise in Six European Countries. *Environ Health Perspect* [Internet]. 2009 Nov [cited 2022 Oct 15];117(11):1713. Available from: </pmc/articles/PMC2801169/>
12. Frankenhaeuser M, Lundberg U. Immediate and delayed effects of noise on performance and arousal. *Biol Psychol*. 1974 Jan 1;2(2):127–33.
13. Moriyama S, Okamoto K, Tabira Y, Kikuta K, Kukita I, Hamaguchi M, et al. Evaluation of oxygen consumption and resting energy expenditure in critically ill patients with systemic inflammatory response syndrome. *Crit Care Med* [Internet]. 1999 [cited 2022 Oct 15];27(10):2133–6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10548194/>
14. Öhström E, Björkman M. Effects of noise-disturbed sleep—A laboratory study on habituation and subjective noise sensitivity. *J Sound Vib*. 1988;122(2):277–90.
15. Falk SA, Woods NF. Hospital Noise — Levels and Potential Health Hazards. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJM197310112891504> [Internet]. 2010 Jan 19 [cited 2022 Oct 15];289(15):774–81. Available from: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJM197310112891504>
16. Berglund B, Lindvall T, Schwela D. Guidelines for Community Noise. World Health Organization [Internet]. Vol. 31, Noise & Vibration Worldwide. 1995. p. 1–141. Available from: <http://multi-science.metapress.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.1260/0957456001497535>
17. Litton E, Elliott R, Thompson K, Watts N, Seppelt I, Webb SAR. Using Clinically Accessible Tools to Measure Sound Levels and Sleep Disruption in the ICU: A Prospective Multicenter Observational Study. *Crit Care Med* [Internet]. 2017 [cited 2022 Oct 15];45(6):966–71. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28362644/>

18. Delaney LJ, Currie MJ, Huang HCC, Lopez V, Litton E, Van Haren F. The nocturnal acoustical intensity of the intensive care environment: An observational study. *J Intensive Care* [Internet]. 2017 Jul 11 [cited 2022 Oct 15];5(1):1–8. Available from: <https://jintensivecare.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40560-017-0237-9>
19. Elliott R, McKinley S, Cistulli P, Fien M. Characterisation of sleep in intensive care using 24-hour polysomnography: an observational study. *Crit Care* [Internet]. 2013 Mar 18 [cited 2018 Jun 29];17(2):R46. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23506782>
20. Xie H, Kang J, Mills GH. Clinical review: The impact of noise on patients' sleep and the effectiveness of noise reduction strategies in intensive care units. *Crit Care* [Internet]. 2009 [cited 2018 Jun 29];13(2):208. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19344486>
21. Cooper AB, Thornley KS, Young GB, Slutsky AS, Stewart TE, Hanly PJ. Sleep in critically ill patients requiring mechanical ventilation. *Chest* [Internet]. 2000;117(3):809–18. Available from: <http://dx.doi.org/10.1378/chest.117.3.809>
22. FREEDMAN NS, GAZENDAM J, LEVAN L, PACK AI, SCHWAB RJ. Abnormal Sleep/Wake Cycles and the Effect of Environmental Noise on Sleep Disruption in the Intensive Care Unit. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2001 Feb [cited 2018 Jun 29];163(2):451–7. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11179121>
23. Gloag D. Noise: hearing loss and psychological effects. *Br Med J* [Internet]. 1980 Nov 11 [cited 2022 Oct 15];281(6251):1325. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1714795/>
24. Woo JM, Postolache TT. The impact of work environment on mood disorders and suicide: Evidence and implications. *Int J Disabil Hum Dev* [Internet]. 2008 [cited 2022 Oct 15];7(2):185. Available from: </pmc/articles/PMC2559945/>

25. Arvidsson O, Lindvall T. Subjective annoyance from noise compared with some directly measurable effects. *Arch Environ Health* [Internet]. 1978 [cited 2022 Oct 15];33(4):159–67. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/686841/>
26. Harris CM. *Handbook of noise control*. Second edition. 1979;
27. Paine CW, Goel V V., Ely E, Stave CD, Stemler S, Zander M, et al. Systematic Review of Physiologic Monitor Alarm Characteristics and Pragmatic Interventions to Reduce Alarm Frequency. *J Hosp Med* [Internet]. 2016 Feb 1 [cited 2022 Oct 15];11(2):136–44. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26663904/>
28. Ruskin KJ, Hueske-Kraus D. Alarm fatigue: impacts on patient safety. *Curr Opin Anaesthesiol* [Internet]. 2015 [cited 2022 Oct 15];28(6):685–90. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26539788/>
29. McCullagh MC, Xu J, Dickson VV, Tan A, Lusk SL. Noise Exposure and Quality of Life Among Nurses. *Workplace Health Saf* [Internet]. 2022 Apr 1 [cited 2022 Nov 9];70(4):207–19. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34915786/>
30. Topf M, Dillon E. Noise-induced stress as a predictor of burnout in critical care nurses. *Heart Lung* [Internet]. 1988 [cited 2022 Nov 9];17(5):567–73. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3417467/>
31. Terzi B, Azizoğlu F, Polat Ş, Kaya N, İşsever H. The effects of noise levels on nurses in intensive care units. *Nurs Crit Care* [Internet]. 2019 Sep 1 [cited 2022 Nov 9];24(5):299–305. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30815931/>
32. Garrido Galindo AP, Camargo Caicedo Y, Vélez-Pereira AM. [Equivalent continuous noise level in neonatal intensive care unit associated to burnout syndrome]. *Enferm intensiva* [Internet]. 2015 Jul 1 [cited 2022 Nov 9];26(3):92–100. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26187519/>
33. Plummer NR, Herbert A, Blundell JE, Howarth R, Baldwin J, Laha S. *SoundEar* noise warning devices cause a sustained reduction in ambient noise in

- adult critical care. *J Intensive Care Soc* [Internet]. 2018 Apr 17 [cited 2018 Jun 29];175114371876777. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1751143718767773>
34. Degorre C, Ghyselen L, Barcat L, Dégrugilliers L, Kongolo G, Leké A, et al. Nuisances sonores en réanimation néonatale : impact d'un outil de monitoring. *Arch Pediatr*. 2017 Feb 1;24(2):100–6.
  35. Chang YJ, Pan YJ, Lin YJ, Chang YZ, Lin CH. A noise-sensor light alarm reduces noise in the newborn intensive care unit. *Am J Perinatol*. 2006 Jul;23(5):265–71.
  36. Joussetme C, Vialet R, Jouve E, Lagier P, Martin C, Michel F. Efficacy and mode of action of a noise-sensor light alarm to decrease noise in the pediatric intensive care unit: A prospective, randomized study. *Pediatr Crit Care Med*. 2011;12(2).
  37. Hirshkowitz M, Whiton K, Albert SM, Alessi C, Bruni O, DonCarlos L, et al. National sleep foundation's sleep time duration recommendations: Methodology and results summary. *Sleep Heal* [Internet]. 2015;1(1):40–3. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sleh.2014.12.010>
  38. Borb AA, Achermann P. Sleep Homeostasis and Models of Sleep Regulation. *J Biol Rhythms*. 1999;14(6):559–70.
  39. Hobson JA. *Sleep* (Scientific American Library). W.H. Freeman and Company, New York; 1989.
  40. Moldofsky H, Lue FA, Davidson JR, Gorcznski R. Effects of sleep deprivation on human immune functions. *Faseb J*. 1989;3(8):1972–7.
  41. Hudson Walter P. Sleep, the Athlete, and Performance. *Strength Cond J*. 2002;24(2):17–24.
  42. Nadler SF, Steiner DJ, Petty SR, Erasala GN, Hengehold DA, Weingand KW. Overnight use of continuous low-level heatwrap therapy for relief of low back pain. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003;84(3 SUPPL. 1):335–42.
  43. Samuels C. Sleep, Recovery, and Performance: The New Frontier in High-Performance Athletics. *Neurol Clin*. 2008;26(1):169–80.

44. Abel T, Havekes R, Saletin JM, Walker MP. Sleep, plasticity and memory from molecules to whole-brain networks. *Curr Biol* [Internet]. 2013;23(17):R774–88. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2013.07.025>
45. Vyazovskiy V V., Harris KD. Sleep and the single neuron: The role of global slow oscillations in individual cell rest. *Nat Rev Neurosci* [Internet]. 2013;14(6):443–51. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/nrn3494>
46. Copenhaver EA, Diamond AB. The value of sleep on athletic performance, injury, and recovery in the young athlete. *Pediatr Ann*. 2017;46(3):e106–11.
47. Brown LK. Can sleep deprivation studies explain why human adults sleep? *Curr Opin Pulm Med*. 2012;18(6):541–5.
48. Vandekerckhove M, Cluydts R. The emotional brain and sleep: An intimate relationship. *Sleep Med Rev* [Internet]. 2010;14(4):219–26. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.smr.2010.01.002>
49. Schüssler P, Uhr M, Ising M, Weikel JC, Schmid DA, Held K, et al. Nocturnal ghrelin, ACTH, GH and cortisol secretion after sleep deprivation in humans. *Psychoneuroendocrinology*. 2006;31(8):915–23.
50. Knutson KL. Sleep duration and cardiometabolic risk: A review of the epidemiologic evidence. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*. 2010;24(5):731–43.
51. Leproult R, Van Cauter E. Role of sleep and sleep loss in hormonal release and metabolism. *Endocr Dev*. 2009;17:11–21.
52. van Leeuwen WMA, Lehto M, Karisola P, Lindholm H, Luukkonen R, Sallinen M, et al. Sleep restriction increases the risk of developing cardiovascular diseases by augmenting proinflammatory responses through IL-17 and CRP. *PLoS One*. 2009;4(2).
53. Vgontzas AN, Zoumakis E, Bixler EO, Lin HM, Follett H, Kales A, et al. Adverse Effects of Modest Sleep Restriction on Sleepiness, Performance, and Inflammatory Cytokines. *J Clin Endocrinol Metab*. 2004;89(5):2119–26.

54. Pavlova M. Circadian Rhythm Sleep-Wake Disorders. Continuum (Minneapolis, Minn) [Internet]. 2017 Aug 1 [cited 2022 Oct 16];23(4, Sleep Neurology):1051–63. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28777176/>
55. Berglund B, Lindvall T, Schwela D. Guidelines for Community Noise. 1999 [cited 2018 Jun 29]; Available from: <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>
56. Cavallazzi R, Saad M, Marik PE. Delirium in the ICU: an overview. Ann Intensive Care [Internet]. 2012 [cited 2022 Oct 16];2(1):1–11. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23270646/>
57. Johansson L, Bergbom I, Wayne KP, Ryherd E, Lindahl B. The sound environment in an ICU patient room--a content analysis of sound levels and patient experiences. Intensive Crit care Nurs [Internet]. 2012 Oct [cited 2022 Oct 16];28(5):269–79. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22537478/>
58. Muzet A. Environmental noise, sleep and health. Sleep Med Rev [Internet]. 2007 Apr [cited 2022 Oct 16];11(2):135–42. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17317241/>
59. Demoule A, Carreira S, Lavault S, Pallanca O, Morawiec E, Mayaux J, et al. Impact of earplugs and eye mask on sleep in critically ill patients: A prospective randomized study. Crit Care. 2017;21(1):1–9.
60. Elbaz M, Léger D, Sauvet F, Champigneulle B, Rio S, Strauss M, et al. Sound level intensity severely disrupts sleep in ventilated ICU patients throughout a 24-h period: a preliminary 24-h study of sleep stages and associated sound levels. Ann Intensive Care. 2017;7(1):1–9.
61. Horsten S, Reinke L, Absalom AR, Tulleken JE. Systematic review of the effects of intensive-care-unit noise on sleep of healthy subjects and the critically ill. Br J Anaesth [Internet]. 2018;120(3):443–52. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.bja.2017.09.006>
62. Pisani MA, Friese RS, Gehlbach BK, Schwab RJ, Weinhouse GL, Jones SF, et al. Sleep in the Intensive Care Unit Concise Clinical Review American



Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Am J Respir Crit Care Med. 2015;191(203):731–8.

63. Weinhouse GL, Schwab RJ, Watson PL, Patil N, Vaccaro B, Pandharipande P, et al. Bench-to-bedside review: delirium in ICU patients - importance of sleep deprivation. Crit Care [Internet]. 2009 [cited 2018 Jun 29];13(6):234. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20053301>
64. Campo FR, Drouot X, Thille AW, Galia F, Cabello B, D'Ortho MP, et al. Poor sleep quality is associated with late noninvasive ventilation failure in patients with acute hypercapnic respiratory failure. Crit Care Med. 2010;38(2):477–85.
65. De Miranda S, Pochard F, Chaize M, Megarbane B, Cuvelier A, Bele N, et al. Postintensive care unit psychological burden in patients with chronic obstructive pulmonary disease and informal caregivers: A multicenter study. Crit Care Med. 2011;39(1):112–8.
66. Wulff K, Gatti S, Wettstein JG, Foster RG. Sleep and circadian rhythm disruption in psychiatric and neurodegenerative disease. Nat Rev Neurosci. 2010;11(8):589–99.
67. Friese RS, Diaz-Arrastia R, McBride D, Frankel H, Gentilello LM. Quantity and Quality of Sleep in the Surgical Intensive Care Unit: Are Our Patients Sleeping? J Trauma Inj Infect Crit Care [Internet]. 2007 Dec [cited 2018 Jun 29];63(6):1210–4. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18212640>
68. Chen HI, Tang YR. Sleep loss impairs inspiratory muscle endurance. Am Rev Respir Dis [Internet]. 1989 [cited 2022 Oct 16];140(4):907–9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2802378/>
69. Delaney L, Litton E, Van Haren F. The effectiveness of noise interventions in the ICU. Curr Opin Anaesthesiol. 2019;32(2):144–9.
70. Drouot X, Quentin S. Sleep Neurobiology and Critical Care Illness. Sleep Med Clin [Internet]. 2016 [cited 2022 Oct 16];11(1):105–13. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26972037/>

71. Knauert MP, Redeker NS, Yaggi HK, Bennick M, Pisani MA. Creating Naptime: An Overnight, Nonpharmacologic Intensive Care Unit Sleep Promotion Protocol. *J patient Exp* [Internet]. 2018 Sep [cited 2022 Oct 16];5(3):180–7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30214923/>
72. Kamdar BB, King LM, Collop NA, Sakamuri S, Colantuoni E, Neufeld KJ, et al. The effect of a quality improvement intervention on perceived sleep quality and cognition in a medical ICU. *Crit Care Med* [Internet]. 2013 Mar [cited 2022 Oct 16];41(3):800–9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23314584/>
73. van de Pol I, van Iterson M, Maaskant J. Effect of nocturnal sound reduction on the incidence of delirium in intensive care unit patients: An interrupted time series analysis. *Intensive Crit care Nurs* [Internet]. 2017 Aug 1 [cited 2022 Oct 16];41:18–25. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28351551/>
74. Monsén MG, Edéll-Gustafsson UM. Noise and sleep disturbance factors before and after implementation of a behavioural modification programme. *Intensive Crit care Nurs* [Internet]. 2005 Aug [cited 2022 Oct 16];21(4):208–19. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16039958/>
75. Basner M, Babisch W, Davis A, Brink M, Clark C, Janssen S, et al. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet (London, England)* [Internet]. 2014 [cited 2022 Oct 16];383(9925):1325–32. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24183105/>
76. Nannapaneni S, Lee SJ, Kashiouris M, Elmer JL, Thakur LK, Nelson SB, et al. Preliminary noise reduction efforts in a medical intensive care unit. *Hosp Pract (1995)* [Internet]. 2015 [cited 2022 Oct 16];43(2):94–100. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25687293/>
77. Konkani A, Oakley B, Penprase B. Reducing hospital ICU noise: a behavior-based approach. *J Healthc Eng* [Internet]. 2014 [cited 2022 Oct 16];5(2):229–46. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24918185/>

78. Darbyshire JL, Young JD. An investigation of sound levels on intensive care units with reference to the WHO guidelines. *Crit Care* [Internet]. 2013 Sep 3 [cited 2018 Jun 29];17(5):R187. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24005004>
79. Scott JB, Vaux L De, Dills C, Strickland SL. Mechanical Ventilation Alarms and Alarm Fatigue. *Respir Care* [Internet]. 2019 Oct 1 [cited 2022 Dec 12];64(10):1308–13. Available from: <https://rc.rcjournal.com/content/64/10/1308>
80. Medical device alarm safety in hospitals - PubMed [Internet]. [cited 2022 Dec 12]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23767076/>
81. Lawless S. Crying wolf: false alarms in a pediatric intensive care unit - PubMed. *Crit Care Med* [Internet]. 1994 [cited 2022 Dec 12];22(6):981–5. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8205831/>
82. Chambrin MC, Calvelo-Aros D, Jaborska A, Chopin C, Ravaux P, Boniface B. Multicentric study of monitoring alarms in the adult intensive care unit (ICU): a descriptive analysis. *Intensive Care Med* [Internet]. 1999 [cited 2022 Dec 12];25(12):1360–6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10660842/>
83. Görges M, Markewitz BA, Westenskow DR. Improving alarm performance in the medical intensive care unit using delays and clinical context. *Anesth Analg* [Internet]. 2009 [cited 2022 Dec 12];108(5):1546–52. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19372334/>
84. Siebig S, Kuhls S, Imhoff M, Gather U, Schölmerich J, Wrede CE. Intensive care unit alarms--how many do we need? *Crit Care Med* [Internet]. 2010 [cited 2022 Dec 12];38(2):451–6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20016379/>
85. Bonafide CP, Zander M, Graham CS, Weirich Paine CM, Rock W, Rich A, et al. Video methods for evaluating physiologic monitor alarms and alarm responses. *Biomed Instrum Technol* [Internet]. 2014 [cited 2022 Dec 12];48(3):220–30. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24847936/>

86. Drew BJ, Harris P, Zègre-Hemsey JK, Mammone T, Schindler D, Salas-Boni R, et al. Insights into the problem of alarm fatigue with physiologic monitor devices: a comprehensive observational study of consecutive intensive care unit patients. *PLoS One* [Internet]. 2014 Oct 22 [cited 2022 Dec 12];9(10). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25338067/>
87. Bridi AC, Louro TQ, Da Silva RCL. Alarmas clínicas en terapia intensiva: implicaciones de la fatiga de alarmas para la seguridad del paciente. *Rev Lat Am Enfermagem* [Internet]. 2014 [cited 2022 Dec 12];22(6):1034–40. Available from: <http://www.scielo.br/j/rlae/a/vQYFSrz4mMWMhnZTcpcTCjsh/?lang=es>
88. Patel J, Baldwin J, Bunting P, Laha S. The effect of a multicomponent multidisciplinary bundle of interventions on sleep and delirium in medical and surgical intensive care patients. *Anaesthesia*. 2014;
89. Sandoval CP. Nonpharmacological interventions for sleep promotion in the intensive care unit. *Critical Care Nurse*. 2017.
90. Le Guen M, Nicolas-Robin A, Lebard C, Arnulf I, Langeron O. Earplugs and eye masks vs routine care prevent sleep impairment in post-anaesthesia care unit: A randomized study. *Br J Anaesth*. 2014;
91. Richardson A, Allsop M, Coghill E, Turnock C. Earplugs and eye masks: do they improve critical care patients' sleep? *Nurs Crit Care* [Internet]. 2007 Nov [cited 2018 Jul 2];12(6):278–86. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1478-5153.2007.00243.x>
92. Hu RF, Jiang XY, Hegadoren KM, Zhang YH. Effects of earplugs and eye masks combined with relaxing music on sleep, melatonin and cortisol levels in ICU patients: A randomized controlled trial. *Crit Care*. 2015;
93. Simons KS, Verweij E, Lemmens PMC, Jelfs S, Park M, Spronk PE, et al. Noise in the intensive care unit and its influence on sleep quality: a multicenter observational study in Dutch intensive care units. *Crit Care* 2018 221 [Internet]. 2018;22(1):250. Available from: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-018-2182-y>

94. Jones J, Hoggart B, Withey J, Donaghue K, Ellis BW. What the patients say: A study of reactions to an intensive care unit. *Intensive Care Med.* 1979;5(2):89–92.
95. Hilton BA. Quantity and quality of patients' sleep and sleep-disturbing factors in a respiratory intensive care unit. *J Adv Nurs* [Internet]. 1976 Nov [cited 2018 Jul 2];1(6):453–68. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1050357>
96. Hweidi IM. Jordanian patients' perception of stressors in critical care units: A questionnaire survey. *Int J Nurs Stud.* 2007;44(2):227–35.
97. Aaron JN, Carlisle CC, Carskadon MA, Meyer TJ, Hill NS, Millman RP. Environmental noise as a cause of sleep disruption in an intermediate respiratory care unit. *Sleep.* 1996;19(9):707–10.
98. Hu R, Jiang X, Zeng Y, Chen X, Zhang Y. Effects of earplugs and eye masks on nocturnal sleep, melatonin and cortisol in a simulated intensive care unit environment. *Crit Care* [Internet]. 2010 [cited 2018 Jun 29];14(2):R66. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20398302>
99. Arik E, Dolgun H, Hanalioglu S, Sahin OS, Ucar F, Yazicioglu D, et al. Prospective Randomized Study on the Effects of Improved Sleep Quality After Craniotomy on Melatonin Concentrations and Inflammatory Response in Neurosurgical Intensive Care Patients. *World Neurosurg* [Internet]. 2020;140:e253–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.05.017>
100. Younis MB, Hayajneh F, Batiha AM. Measurement and nonpharmacologic management of sleep disturbance in the intensive care units: A literature review. *Crit Care Nurs Q.* 2019;42(1):75–80.
101. Fang CS, Wang HH, Wang RH, Chou FH, Chang SL, Fang CJ. Effect of earplugs and eye masks on the sleep quality of intensive care unit patients: A systematic review and meta-analysis. *J Adv Nurs.* 2021;77(11):4321–31.
102. Marco Jill Elysa; Hinkley N. 基因的改变 NIH Public Access. *Bone.* 2011;72(2):132–5.

103. Schwab KE, Ronish B, Needham DM, To AQ, Martin JL, Kamdar BB. Actigraphy to evaluate sleep in the intensive care unit: A systematic review. *Ann Am Thorac Soc*. 2018;15(9):1075–82.
104. Giménez S, Romero S, Alonso JF, Mañanas MÁ, Pujol A, Baxarias P, et al. Monitoring sleep depth: analysis of bispectral index (BIS) based on polysomnographic recordings and sleep deprivation. *J Clin Monit Comput*. 2017;31(1):103–10.