




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>

TESIS DOCTORAL

**MOVILIZACIÓN PRECOZ, IMPACTO EN UNA UNIDAD DE
CUIDADOS INTENSIVOS**

Presentada por
Sergio Delgado Hita

para optar al grado de doctor

Directoras:
Dra. Judith Marín Corral
Dra. Ester Marco Navarro

Tutor:
Dr. Oriol Roca Gas

Programa de doctorado en Medicina
Departamento de Medicina
Barcelona, 2025

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, por su apoyo incondicional y comprensión durante todo el proceso de realización de esta tesis. Su ánimo constante y confianza han sido un pilar fundamental para llegar hasta aquí.

A mis dos directoras que me ayudaron a realizar en todo momento este trabajo.

Mi gratitud especial a Judith Marín, por su guía experta, apoyo constante, paciencia infinita y por acompañarme en cada etapa de este camino. Su dedicación y confianza han sido esenciales para superar los retos que surgieron.

También quiero agradecer a Cristina Climent, por su ayuda desinteresada y por motivarme en los momentos difíciles. Su apoyo me brindó la fuerza necesaria para continuar y avanzar en el doctorado.

Además, quiero agradecer a mis compañeros del equipo de Rehabilitación y de la Unidad de Cuidados Intensivos, cuyo trabajo, colaboración y apoyo han enriquecido esta experiencia y han contribuido de manera fundamental al desarrollo de este proyecto.

LISTADO DE ABREVIATURAS

CMAP:	Potencial de acción muscular compuesto
DAUCI:	Debilidad adquirida en la unidad de cuidados intensivos
EMG:	Electromiografía
EMS:	Electroestimulación
MP:	Movilización precoz
MPC:	Miopatía del paciente crítico
MRC:	Medical Research Council
NCS:	Estudios de conducción nerviosa
PICS:	Post-intensive care síndrome
PPC:	Polineuropatía del paciente crítico
SWB:	Subjective well-being
TCAE:	Técnicos auxiliares de cuidados de enfermería
UCI:	Unidad de cuidados intensivos
VM:	Ventilación mecánica
VMNI:	Ventilación mecánica no invasiva
RI:	Realidad Inmersiva
RIS:	Síndrome de respuesta inflamatoria sistémica
RV:	Realidad Virtual

INDICE

9	RESUMEN
11	SUMMARY
13	INTRODUCCIÓN
15	1.1 Paciente crítico
15	1.2 Síndrome post-UCI (PICS)
16	1.2.1 Deterioro psíquico
17	1.2.2 Deterioro cognitivo
17	1.2.3 Deterioro físico
18	1.3 Debilidad adquirida en la UCI (DAUCI)
18	1.3.1 Incidencia
18	1.3.2 Fisiopatología
21	1.3.3 Factores de riesgo
23	1.3.4 Signos clínicos
24	1.3.5 Diagnóstico
30	1.3.6 Pronóstico
30	1.3.7 Prevención y tratamiento de la DAUCI
33	1.4 Movilización precoz (MP)
39	1.4.1 Indicaciones y contraindicaciones
40	1.4.2 Otras estrategias para promover la actividad muscular
40	1.4.2.1 Cicloergometría
42	1.4.2.2 Realidad virtual o inmersiva
44	1.4.3 Implementación de protocolos de MP
49	2. HIPÓTESIS
51	2.1 JUSTIFICACIÓN
51	2.2 HIPÓTESIS
53	3. OBJETIVOS
55	3.1 OBJETIVO PRIMARIO (OP)
55	3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS (OS)
57	4. METODOLOGÍA
59	4.1 Introducción
59	4.2 Estudio sobre la implementación de un protocolo de MP
59	4.2.1 Diseño
59	4.2.2 Población y período de estudio
60	4.2.3 Intervención
61	4.2.4 Recogida de Datos
62	4.2.5 Análisis Estadístico
62	4.2.6 Aspectos Éticos

62	4.3. Creación de un protocolo de Movilización Precoz en la UCI
63	4.3.1 Detección de la necesidad e identificación del problema
64	4.3.2 Creación del equipo interdisciplinar
65	4.3.3 Revisión de la evidencia científica
66	4.3.4 Diseño del protocolo
66	4.3.5 Adquisición de recursos
67	4.3.6 Formación y capacitación
68	4.3.7 Implementación piloto
68	4.3.8 Evaluación y ajustes
69	4.4 Implementación de un programa piloto de cicloergometría asociada a realidad 360° en pacientes críticos
69	4.4.1 Identificación de estrategias para promover la actividad muscular
69	4.4.2 Selección y adquisición de materiales
70	4.4.3 Evaluación de la factibilidad e implementación del cicloergómetro con realidad inmersiva
70	4.4.4 Fase piloto de evaluación clínica y operativa
71	4.5 Diseño de un ensayo clínico aleatorizado para evaluar el impacto de la cicloergometría asociada a realidad 360° en pacientes graves
71	4.5.1 Contexto y génesis del proyecto
72	4.5.2 Diseño del proyecto
72	4.5.3 Innovación metodológica: evaluación integral y multidisciplinar
75	5. RESULTADOS
77	5.1 Estudio 1: Implementación de un protocolo de Movilización Precoz en pacientes críticos
77	5.1.1 Población
78	5.1.2 Características generales de la población de estudio
81	5.1.3 Características clínicas de los pacientes con indicación de RHB
85	5.1.4 Análisis específico de los pacientes que realizaron RHB
88	5.1.5 Evaluación de la Intervención
89	5.1.6 Difusión de resultados
90	5.1.7 Síntesis de los resultados

90	5.2 Creación de un protocolo de Movilización Precoz en la UCI
90	5.2.1 Protocolo
102	5.2.2 Síntesis de los resultados
102	5.3 Implementación de un programa piloto de cicloergometría asociada a realidad 360° en pacientes críticos
102	5.3.1 Búsqueda bibliográfica
103	5.3.1.1 Introducción
103	5.3.1.2 Realidad Virtual y Entornos Interactivos
104	5.3.1.3 Ejercicio Asistido: Cicloergometría y Estimulación Muscular
105	5.3.1.4 Estrategias Innovadoras de Movilización Precoz
106	5.3.1.5 Conclusiones
107	5.3.2 Adquisición de materiales y colaboración
108	5.3.3 Evaluación de factibilidad e implementación
110	5.3.4 Fase Piloto de evaluación clínica y operativa
110	5.3.4.1 Evaluación inicial de la cicloergometría
111	5.3.4.2 Implementación de la intervención combinada con realidad inmersiva
113	5.3.4.3 Ajustes y aprendizajes derivados de la fase piloto
113	5.3.5 Difusión de resultados
114	5.3.6 Síntesis de los resultados
115	5.4 Estudio 2: Diseño de un ensayo clínico aleatorizado para evaluar el impacto de la cicloergometría asociada a realidad 360° en pacientes graves
115	5.4.1 Diseño del Estudio
116	5.4.2 Población y periodo de estudio
116	5.4.3 Intervención
117	5.4.4 Recogida de Datos
119	5.4.5 Análisis Estadístico
120	5.4.6 Aspectos Éticos
120	5.4.7 Síntesis de resultados

123	6. DISCUSIÓN
125	6.1 Implementación de un protocolo de Movilización Precoz en la UCI
128	6.2 Implementación de un programa piloto de cicloergometría asociada a realidad 360° en pacientes críticos
130	6.3 Diseño de un ensayo clínico aleatorizado para evaluar el impacto de la cicloergometría asociada a realidad 360° en pacientes graves
131	6.4 Reflexión personal y profesional del fisioterapeuta
133	6.5 Fortalezas del estudio
134	6.6 Limitaciones del estudio
137	7. CONCLUSIONES
141	8. LÍNEAS DE FUTURO
145	9. BIBLIOGRAFÍA
167	10. ANEXOS
169	10.1 Anexo 1: Cobertura mediática del proyecto de cicloergometría con realidad inmersiva
170	10.2 Anexo 2: Presentación a congresos
171	10.3 Anexo 3: Abstract presentado en: 35th Annual Congress European Society of Intensive Care Medicine

RESUMEN

La debilidad adquirida en la unidad de cuidados intensivos (DAUCI) es una complicación frecuente y grave en pacientes críticos, relacionada con el síndrome post-UCI (PICS), y caracterizada por una pérdida de fuerza muscular generalizada que afecta tanto a músculos periféricos como respiratorios. Su prevención y tratamiento son prioritarios en el manejo del paciente crítico, siendo la movilización precoz (MP) una estrategia prometedora. La hipótesis de esta tesis doctoral es que la implementación de un protocolo estructurado de MP en una UCI polivalente podría ser factible y segura, además de generar beneficios clínicos cuantificables en esta población. Asimismo, se plantea que el uso de estrategias innovadoras como la cicloergometría y la realidad inmersiva (RI) puede potenciar dichos beneficios y facilitar la adherencia del paciente.

Para demostrar esta hipótesis, se diseñó una tesis doctoral compuesta por partes. En la primera parte, se trabajó para la implementación de un protocolo de MP en la UCI del Hospital del Mar de Barcelona y se realizó un estudio de carácter observacional y prospectivo, en el que se compararon dos cohortes de pacientes críticos, antes y después de la implementación del protocolo (Estudio 1). Se analizaron variables demográficas, clínicas y funcionales, y se evaluó el impacto del protocolo en la evolución de los pacientes. En la segunda parte, se trabajó para instaurar en la misma unidad estrategias como la cicloergometría y la RI 360° asociadas al programa de MP. En este contexto, se diseñó y se implementó un programa piloto combinando ambas actividades y se diseñó un ensayo clínico aleatorizado con el objetivo de evaluar su viabilidad, seguridad y beneficios clínicos (Estudio 2).

Los resultados de la primera parte con el estudio 1 mostraron que la implementación del protocolo de MP fue factible y segura, mejorando parámetros clínicos como la duración de la ventilación mecánica, la estancia en UCI y la funcionalidad al alta. Los resultados de la segunda parte demostraron que la implementación de estrategias innovadoras complementarias a la MP es factible y segura en una UCI. En este contexto se diseñó el segundo estudio, el cual obtuvo financiación competitiva mediante la concesión de una Beca FIS y está actualmente en desarrollo. Resultados preliminares que han sido presentados en dos congresos nacionales, sugieren que la integración de tecnologías como la RI podría aumentar la motivación de los pacientes y potenciar los efectos positivos de la MP.

En conclusión, esta tesis respalda la importancia de implementar protocolos de MP en UCI como herramienta efectiva para mejorar la recuperación funcional de los pacientes críticos. Además, introduce nuevas herramientas y tecnologías como estrategias complementarias prometedoras, cuya efectividad debe seguir investigándose. Esta investigación abre nuevas líneas para optimizar el abordaje integral del paciente crítico, centrándose en la rehabilitación temprana y personalizada y en el marco de la humanización de los cuidados intensivos, poniendo al paciente en el centro de la asistencia.

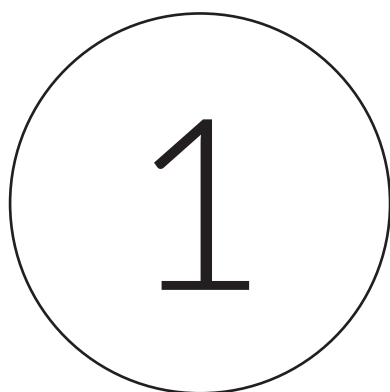
SUMMARY

Acquired weakness in the intensive care unit (ICU) is a frequent and serious complication in critically ill patients, associated with post-intensive care syndrome, and characterized by a generalized loss of muscle strength affecting both peripheral and respiratory muscles. Its prevention and treatment are priorities in the management of critically ill patients, with early mobilization (EM) being a promising strategy. The hypothesis of this doctoral thesis is that the implementation of a structured EM protocol in a polyvalent ICU could be feasible and safe, in addition to generating quantifiable clinical benefits in this population. It is also proposed that the use of innovative strategies such as cycle ergometry and immersive reality (IR) may enhance these benefits and facilitate patient adherence.

To test this hypothesis, a multi-part doctoral thesis was designed. In the first part, efforts were focused on the implementation of an EM protocol in the ICU of Hospital del Mar in Barcelona, and an observational and prospective study was conducted, comparing two cohorts of critically ill patients before and after the protocol's implementation (Study 1). Demographic, clinical, and functional variables were analyzed, and the impact of the protocol on patient outcomes was evaluated. In the second part, work was done to introduce strategies such as cycle ergometry and 360° IR in the same unit, associated with the EM program. In this context, a pilot program combining both activities was designed and implemented, and a randomized clinical trial was planned to assess its feasibility, safety, and clinical benefits (Study 2).

The results of the first part (Study 1) showed that the implementation of the EM protocol was feasible and safe, improving clinical parameters such as the duration of mechanical ventilation, ICU length of stay, and functional status at discharge. The results of the second part demonstrated that the implementation of innovative strategies complementary to EM is feasible and safe in an ICU setting. Based on this, the second study was designed, which received competitive funding through a FIS Grant and is currently ongoing. Preliminary results, presented at two national congresses, suggest that the integration of technologies such as IR may increase patient motivation and enhance the positive effects of EM.

In conclusion, this thesis supports the importance of implementing EM protocols in the ICU as an effective tool to improve the functional recovery of critically ill patients. Furthermore, it introduces new tools and technologies as promising complementary strategies, whose effectiveness should continue to be explored. This research opens new avenues to optimize the comprehensive management of critically ill patients, focusing on early and personalized rehabilitation within the framework of the humanization of intensive care, placing the patient at the center of care.



INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

1.1 Paciente crítico

El paciente crítico se define como aquel que se encuentra en una situación clínica en la cual se ven alteradas una o varias funciones o sistemas vitales poniéndole así en potencial o real compromiso vital, requiriendo soporte de funciones vitales avanzado y una evaluación clínica estricta. Este paciente se caracteriza además de por una situación basal de extrema gravedad, por el elevado número de instrumentaciones, manipulaciones e implantaciones de dispositivos que requiere para su monitorización, con fines diagnósticos o para facilitar el manejo terapéutico [1].

Los pacientes críticos ingresados en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) están expuestos a múltiples complicaciones que se derivan de la propia enfermedad subyacente y de las circunstancias que conlleva [2-4]. Los principales factores de riesgo que presentan estos pacientes incluyen el desarrollo de sepsis, inflamación sistémica, disfunciones metabólicas y vasculares, y la inmovilidad, todo ello derivando en la prolongación de las estancias en UCI y hospitalarias[5].

Los avances tecnológicos y biomédicos en los últimos años se han correlacionado con una mejora en la tasa de supervivencia de los pacientes críticos. Sin embargo, esto no se ha visto acompañado de una mejora en la calidad de vida cuando se van de alta de nuestras unidades y deben reemprender su vida en sus domicilios. Así pues, teniendo en cuenta que la esperanza de vida aumenta y que siguen las innovaciones en los tratamientos de soporte vital, es previsible que todas las complicaciones descritas se sigan presentando o incluso aumentando, dejando importantes secuelas en los pacientes que deben ingresar en estado grave en las UCI con una afectación importante en su calidad de vida posterior, fenómeno que se ha descrito como Síndrome post-UCI o en inglés "Post-intensive care syndrom" (PICS) [6].

1.2 Síndrome post-UCI (PICS)

El PICS se ha reconocido como una entidad clínica que presentan un número importante de enfermos críticos (30-50%), caracterizado por secuelas psíquicas (depresión, ansiedad, estrés y/o síndrome de estrés postraumático), cognitivas

(alteraciones de la memoria y de la atención), y físicas (principalmente respiratorias y neuromusculares) que se mantienen y perduran al alta de UCI impactando de forma negativa en su calidad de vida [6].

Estas consecuencias persisten a largo plazo no solo en los pacientes y sus familias, sino en toda la sociedad. Muchos de los pacientes no pueden reincorporarse a nivel laboral y presentan una pérdida de independencia significativa con altas cargas económicas relacionadas con sus cuidados [7].

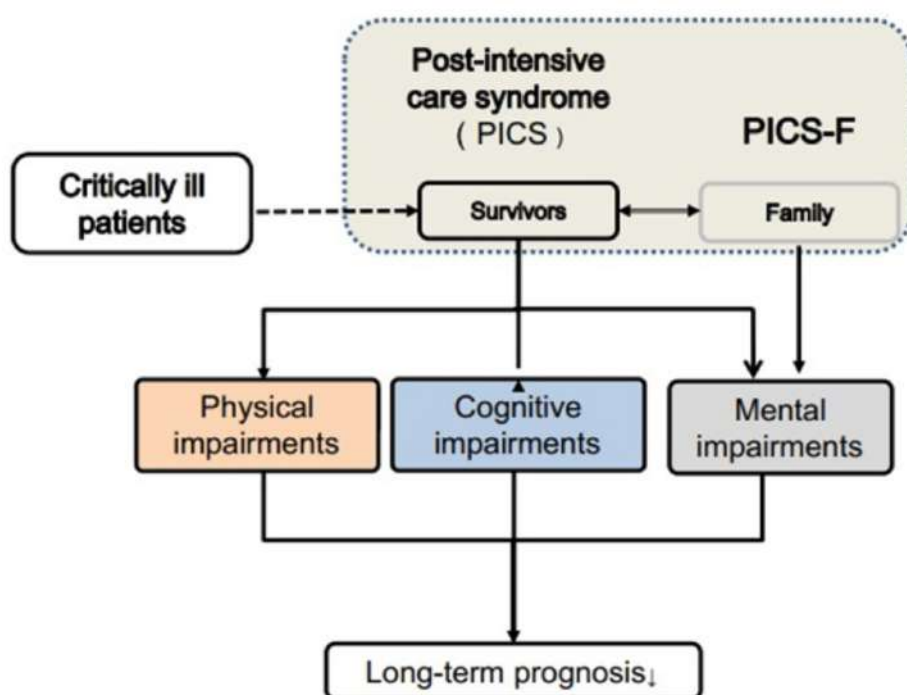


Fig. 1. Marco conceptual del síndrome Post-UCI. PICS-F, PICS – family. (Inoue et al., J Intensive Care, 2019) [8].

1.2.1 Deterioro psíquico

La depresión, la ansiedad y el trastorno de estrés postraumático son las principales enfermedades mentales que componen el PICS.

Los pacientes en estado crítico presentan elevados niveles de estrés tanto físico como psicológico durante su ingreso. Entre los factores estresantes que

cualquier paciente podría experimentar durante su ingreso en la UCI, se han descrito los procesos invasivos, el fracaso respiratorio, el estado inflamatorio, la sedación, la reducción de la autonomía, las barreras comunicativas o el delirium [9]. Se estima que entre los supervivientes podrían presentar depresión un 30% de los pacientes, ansiedad un 70%, y estrés postraumático entre un 10-50% de ellos, incluyendo pesadillas nocturnas, insomnio, recuerdos angustiosos, malestar psicológico con esfuerzos por evitar el recuerdo entre otros, que pueden persistir hasta 14 años tras el alta (9).

1.2.2 Deterioro cognitivo

Las experiencias estresantes físicas y psicológicas también pueden dar lugar a deterioro cognitivo en pacientes con PICS. Éste incluye deterioro de la memoria, de la función ejecutiva, el lenguaje, la atención y las capacidades visuales-espaciales. Puede persistir durante meses o años después del alta, y se asocia con un funcionamiento diario pobre y una calidad de vida reducida [10,11].

La hipoglicemia, hiperglicemia o fluctuaciones en los niveles de glucosa, el delirium, y los síntomas de estrés agudo intrahospitalario se han identificado como posibles factores de riesgo de deterioro cognitivo persistente [12–14]. Existe evidencia sólida de que los pacientes con delirio en la UCI tienen un mayor riesgo de presentar peores resultados a largo plazo en cuanto a disfunción cognitiva ([13,15,16]. Además, la demencia es una enfermedad relevante dentro de la disfunción cognitiva y varios estudios han objetivado la relación entre la demencia y el tratamiento recibido en la UCI, sobre todo el invasivo [17]. Por otro lado, el deterioro cognitivo preexistente en los pacientes de UCI está muy extendido [18], y debe tenerse en cuenta también cuando se evalúa la función cognitiva en el PICS.

1.2.3 Deterioro físico

La debilidad muscular generalizada, que se desarrolla durante el ingreso en la UCI y para la cual no se puede identificar otra causa además de la enfermedad aguda o su tratamiento, ha tomado mucha relevancia en los últimos años entendiéndose actualmente como una entidad propia en estos pacientes. Se denomina “debilidad adquirida en la unidad de cuidados intensivos” (DAUCI) y es la patología principal que investiga esta tesis doctoral.

1.3 Debilidad adquirida en la UCI (DAUCI)

La DAUCI es una complicación frecuente de las enfermedades críticas y se asocia con una alta morbilidad y mortalidad. Puede afectar tanto a los músculos periféricos como a los respiratorios. La pérdida de fuerza y masa muscular en pacientes con infecciones potencialmente mortales fue ya descrita en el siglo XIX [19]. Sin embargo, pasó otro siglo antes de que se comprendiera que la DAUCI puede ser provocada por una polineuropatía del paciente crítico (PPC), por una miopatía del paciente crítico (MPC) o por ambas, durante el curso de una enfermedad crítica [20,21]. Datos recientes han revelado que la DAUCI puede tener consecuencias a largo plazo, más allá de la fase de hospitalización, siendo uno de los factores más importantes en la aparición del PICS [6].

1.3.1 Incidencia

La DAUCI es un problema frecuente. La incidencia informada varía según la población de pacientes estudiada y el momento de la evaluación. Se ha objetivado que entre el 26% y el 65% de los pacientes que son ventilados mecánicamente durante 5 a 7 días, presentan debilidad al despertar, y el 25% de estos pacientes permanecen con debilidad durante al menos otros 7 días después de despertar [22,23]. Además, entre los pacientes con ventilación mecánica (VM) prolongada (>10 días), se han registrado tasas de DAUCI hasta en un 67% [24]. Otros estudios reflejan que el 11% de los pacientes ingresados en la UCI durante al menos 24 horas desarrollan DAUCI [25], y cuando la estancia en UCI aumenta y es entre 7 a 10 días, está presente en el 24-55% de pacientes al despertar [25-27]. En pacientes con síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA), se ha registrado una incidencia de la DAUCI del 60% en el momento del despertar [28], y del 36% al alta hospitalaria [29].

1.3.2 Fisiopatología

Los mecanismos subyacentes a la DAUCI son complejos e implican alteraciones funcionales y estructurales tanto en los músculos como en los nervios.

En la PPC, se trata de una degeneración axonal [30]. La patogénesis de dicha degeneración axonal aún no se comprende completamente, lo que se explica en parte por el carácter invasivo de las biopsias nerviosas. Los factores que

influyen son los cambios microvasculares en la endoneuro provocados por la sepsis [31], que promueven la permeabilidad vascular y permiten la penetración de factores tóxicos en las terminaciones nerviosas [32]. El edema endoneural resultante del aumento de la permeabilidad puede afectar el suministro de energía al axón, seguido de la muerte axonal. Los efectos tóxicos directos y la disfunción mitocondrial provocada por la hiperglucemia pueden contribuir a este proceso [33–35].

En la MPC, se cree que varios factores influyen al afectar negativamente la estructura y función de los músculos, y todos interactúan de manera compleja [36]. Los mediadores y los mecanismos moleculares involucrados han sido descritos en la literatura [37]. En primer lugar, la atrofia muscular puede ocurrir en etapas tempranas durante la enfermedad crítica [38]. Ésta se produce por una mayor degradación y una menor síntesis de proteínas musculares [38,39]. Varios procesos durante una enfermedad crítica pueden promover tal gasto de proteína muscular, que involucra preferentemente a la miosina [39,40]. Estos factores incluyen la inflamación, la inmovilización, las respuestas endocrinas al estrés, el rápido desarrollo del déficit nutricional, la alteración de la microcirculación y la denervación [36,41,42]. Además de la atrofia muscular, otros factores pueden contribuir a la disminución de la función muscular. La inexcitabilidad de la membrana muscular inducida por la disfunción del canal de sodio es un hallazgo temprano en la MPC [43] y predice el desarrollo de debilidad muscular [44]. También se ha demostrado que una homeostasis del calcio intracelular alterada afecta el acoplamiento excitación-contracción, contribuyendo en la reducción de la contractilidad en animales con sepsis [45,46]. La autofagia, que es un sistema de limpieza celular que media en la eliminación de grandes orgánulos dañados y agregados de proteínas, es un factor también importante en el mantenimiento de la integridad de las fibras musculares [47]. En este sentido, una autofagia deficiente puede tener un papel crucial en el desarrollo de la DAUCI. Finalmente, cabe destacar que, aunque la atrofia muscular es uno de los factores más importantes asociados con el desarrollo de debilidad muscular, ambos conceptos no son sinónimos [36]. De hecho, la calidad muscular podría ser incluso más importante que la masa muscular a la hora de determinar la función muscular y el desarrollo de la DAUCI [47,48].

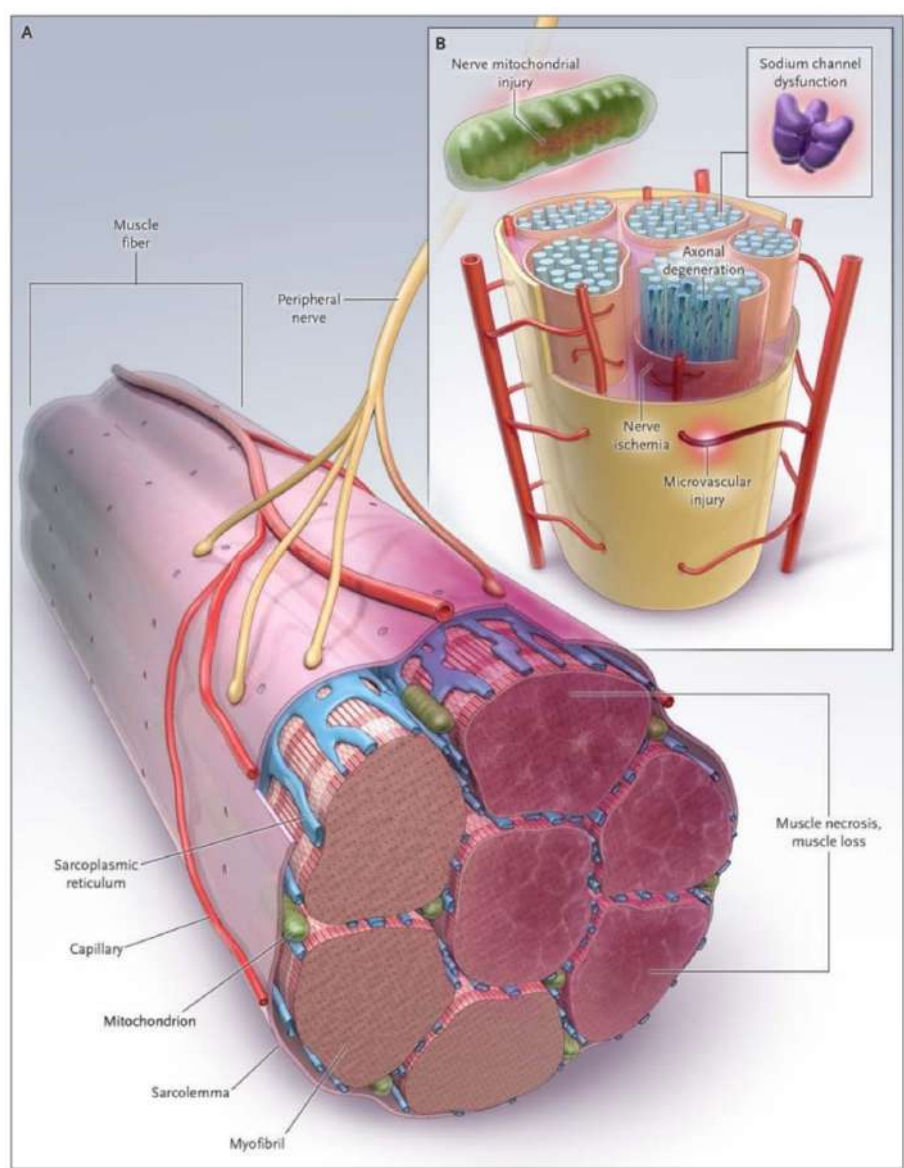


Fig. 2. Representación anatómica y de las alteraciones estructurales en el músculo y nervio periférico, en el contexto de la DAUCI. Panel A: Ilustración de la organización estructural del músculo esquelético, incluyendo fibras musculares, sarcolema, retículo sarcoplásmico, mitocondrias, capilares y su inervación por nervios periféricos. Panel B: Ilustración donde se observa la estructura del nervio periférico junto sus estructuras asociadas, destacando la microvasculatura y componentes axonales. Se señalan alteraciones estructurales como la degeneración axonal, la disfunción mitocondrial y la lesión microvascular, que representan hallazgos vinculados con la polineuropatía y la miopatía del paciente crítico. (Hermans et al., N Engl J Med, 2014) [49]

1.3.3 Factores de riesgo

Se han objetivado diversos factores de riesgo para el desarrollo de complicaciones neuromusculares en pacientes en la UCI. En el momento que se describió por primera vez la PPC, se consideraba que la sepsis, el síndrome de respuesta inflamatoria sistémica (SRIS) y la disfunción multiorgánica (DMO) desempeñaban un papel clave. De hecho, en los primeros informes de casos, la sepsis estaba frecuentemente presente [20,50]. En este contexto, estudios posteriores se centraron en pacientes con sepsis y en pacientes con DMO e informaron de una alta incidencia de complicaciones neuromusculares [51–53]. Así pues, inicialmente se consideró que la DAUCI, era el componente periférico de una insuficiencia general de órganos provocado por la sepsis, siendo la encefalopatía séptica el componente central [54]. Posteriormente, varios estudios prospectivos sugirieron un papel independiente para la sepsis [48], la bacteriemia [25,55], el SRIS [53,56] y la DMO [23]. Indirectamente, el papel de la sepsis y la DMO en el desarrollo de complicaciones neuromusculares en pacientes críticos se vio respaldado aún más cuando se identificaron otros factores de riesgo independientes, como el uso de vasopresores [55,57] o aminoglucósidos [25] y ciertos mediadores de la inflamación [57][52]. También se encontró que la hiperglucemia es un factor de riesgo independiente para los signos electrofisiológicos [51] y clínicos [25] de la DAUCI, y se objetivó que el aumento de la dosis de insulina reducía los signos de la DAUCI [58]. En un estudio, la duración del reposo que debía realizar el paciente en la cama fue el único factor consistentemente asociado a la debilidad entre los 3 y 24 meses después del alta de la UCI [29]. Tras el primer informe de un caso de debilidad pronunciada en un paciente tratado con corticoesteroides y bloqueantes neuromusculares [59] siguieron muchos otros. En un estudio experimental, se observó que los animales tratados con esteroides y denervados mostraban cambios musculares similares a los observados en pacientes críticamente enfermos [60]. De hecho, algunos estudios prospectivos sugirieron que los corticosteroides [48,61,62] y los bloqueantes neuromusculares (en uso prolongado) [33,48,52] pueden contribuir a la PPC y a la MPC y así a la DAUCI. Sin embargo, otros estudios prospectivos, algunos de los cuales eran ensayos clínicos controlados y aleatorizados, no pudieron confirmar el papel de los corticosteroides [25,28,29,33,52,53,56–58] o de los bloqueadores neuromusculares [29,63]. Estos hallazgos aparentemente contradictorios sugieren que la relación entre estos fármacos y las complicaciones neuromusculares es más compleja y depende de otros factores como la dosis,

el momento y el control glucémico concomitante [33]. La edad también se ha identificado como un factor de riesgo independiente para la DAUCI [48,58]. Esto puede reflejar hasta cierto punto la importancia de la reserva muscular fisiológica, aunque el estado funcional real está determinado por muchos otros factores. Sin embargo, el estado funcional suele ser difícil de documentar debido a la naturaleza no planificada de los ingresos en la UCI. Otro estudio identificó la nutrición parenteral como un factor de riesgo para la PPC. Finalmente, otros factores han sido encontrados en estudios puntuales, pudiendo ser hallazgos incidentales (sexo femenino) [61] o estar relacionados con otros factores de riesgo (hiperosmolaridad [52], hipoalbuminemia [51], terapia de reemplazo renal [55]) y están pendientes de dilucidar.

Sólo unos pocos estudios han abordado los factores de riesgo específicos de la debilidad respiratoria en la UCI. Estos estudios demostraron que la debilidad de los músculos respiratorios se asocia con infección o sepsis [64–66], gravedad de la enfermedad [66] y debilidad periférica [64]. El nervio frénico y el diafragma también muestran anomalías electrofisiológicas similares a las de los nervios y músculos periféricos [67], por lo que estos datos sugieren que la debilidad respiratoria es de hecho parte de la DAUCI [64,66]. Además, en pacientes ventilados, la duración y la modalidad de la VM tiene un papel muy importante en la debilidad [68,69] y la atrofia del diafragma [69,70]. Por este motivo, la disfunción específica del músculo diafragma en pacientes sometidos a VM se conoce como disfunción asociada a la VM (VIDD, del inglés *ventilator-induced diaphragm dysfunction*) y merece ser tratada independientemente por presentar otras particularidades [71].

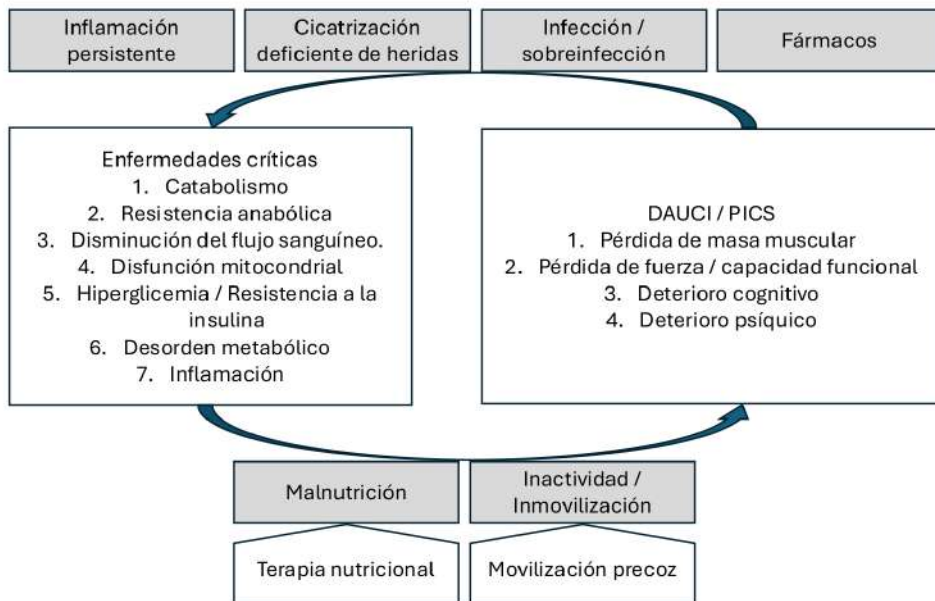


Fig. 3. Modificado de Inoue et al., este esquema representa la asociación entre la enfermedad crítica y el desarrollo de debilidad adquirida en UCI (DAUCI) y síndrome post-UCI (PICS). La malnutrición y la inactividad contribuyen a la pérdida de masa y funcionalidad muscular, acelerando el desarrollo del PICS. La terapia nutricional y la rehabilitación temprana son pilares fundamentales para su prevención. (Inoue et al., *Acute Med Surg*, 2019) [8].

1.3.4 Signos clínicos

La DAUCI se caracteriza por una debilidad simétrica y flacidez de las extremidades, pronunciándose más en los músculos proximales que en los distales [61,72]. Los músculos faciales y oculares suelen quedar intactos [73]. Los pacientes con DAUCI, suelen responder a los estímulos dolorosos con muecas faciales y con una mínima respuesta muscular o nula de las extremidades. Los reflejos tendinosos generalmente están reducidos, aunque pueden ser normales. En el caso de aparecer PPC, pueden presentarse síntomas sensoriales, incluyendo una sensibilidad reducida o ausencia al dolor, temperatura y vibraciones. Sin embargo, un examen sensorial suele ser difícil en pacientes críticos.

Como se ha comentado, cuando está presente la DAUCI, los músculos respiratorios suelen verse afectados [64] pero en pacientes ventilados es difícil discernir el papel de ambas entidades, DAUCI y VIDD. En cualquier caso, la debilidad muscular contribuye al retraso en el destete de la VM (*weaning* prolongado),

que suele ser un problema clínico con consecuencias pronósticas. Pese a todo, la disfunción diafragmática que se produce en la DAUCI puede no estar asociada con el grado de debilidad de las extremidades [74]. En pacientes con VM, la debilidad respiratoria neuromuscular puede presentarse con volúmenes corrientes bajos que puede conducir a taquipnea para el mantenimiento de una ventilación minuto adecuada, o la necesidad de altos niveles de presión de soporte en el modo espontáneo de VM. La insuficiencia respiratoria puede no ser evidente de inmediato cuando se cambia a los pacientes de una modalidad asistida-controlada a una modalidad espontánea de VM, pero puede desarrollarse horas más tarde. Además, los pacientes extubados con debilidad respiratoria pueden desarrollar los síntomas clásicos de insuficiencia respiratoria neuromuscular, incluyendo taquipnea, taquicardia, diaforesis, interrupción del habla, ortopnea o respiración paradójica [75]. La insuficiencia respiratoria puede ser más pronunciada durante la noche y la ventilación no invasiva puede ser útil durante el día y particularmente por la noche [76,77].

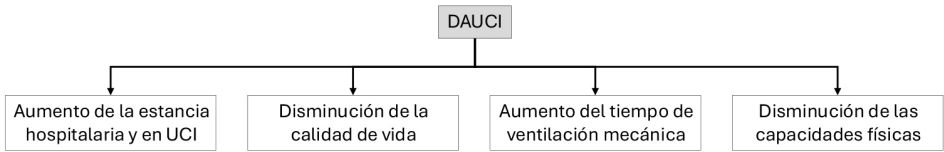


Fig 4: Consecuencias clínicas de la DAUCI.

1.3.5 Diagnostico

El diagnóstico de la DAUCI se realiza clínicamente mediante un examen neurológico y motor estandarizado que evalúa y puntúa la fuerza de los grupos musculares proximales, medios y distales de cada extremidad (superiores e inferiores, izquierdas y derechas) utilizando la escala del Medical Research Council (MRC). Esta escala evalúa cada grupo muscular de forma individualizada puntuando del 0 al 5 cada grupo muscular evaluado (Puntuación máxima 60 puntos). Una puntuación sumada de menos de 48 puntos o una puntuación promedio de 4 se considera diagnóstica de DAUCI en los pacientes críticos. La Tabla 1 muestra la gradación del puntaje para cada evaluación.

Tabla 1: Escala del MRC para evaluación muscular manual. Fuente: Medical Research Council (MRC)

Grado	Descripción clínica
0	Sin contracción visible ni palpable.
1	Contracción visible o palpable, pero sin generar movimiento.
2	Movimiento presente únicamente cuando se elimina el efecto de la gravedad.
3	Movimiento que vence la gravedad, aunque con recorrido articular limitado.
4	Movimiento que vence la gravedad y una resistencia moderada.
5	Movimiento que vence la gravedad y una resistencia completa (fuerza muscular normal).

Cómo realizar la exploración se detalla a continuación [78]:

Antes de la evaluación:

- Posicionar el cabezal de la cama entre 30-45°
- Retirar todos los obstáculos físicos que dificulten la movilidad del paciente (Bajar las barandillas, vigilar catéteres,...)

Durante la evaluación:

- Se evaluará de forma bilateral los grupos musculares que intervienen en la abducción de hombro, flexión de codo, flexión dorsal de muñeca, flexión de cadera, extensión de rodilla y flexión dorsal de tobillo.
- La evaluación siempre se iniciará desde un grado MRC de 3 y seguirá hacia un grado 2 o 4 dependiendo del resultado.
- El movimiento se realizará primero de forma pasiva, para a continuación pedir al paciente que haga el movimiento de forma activa.

- Debe evaluarse bilateralmente un grupo muscular para poder pasar al siguiente.
- Se pueden realizar hasta 3 intentos por grupo muscular. Quedándose con el mejor intento.

1. Extremidades superiores:

Tabla 2: Evaluación clínica de la fuerza muscular en extremidades superiores mediante la escala MRC

Movimiento	Músculos Evaluados	Posición del Paciente	Instrucciones al Paciente	Colocación del Evaluador
Flexión del codo	Biceps braquial, braquial anterior	<ul style="list-style-type: none">• Decúbito supino• Brazos apoyados sobre la cama• Codo extendido y palma hacia arriba	"Doble el codo y trate de llevar la mano hacia el homlo. Si no vence la gravedad, usar plano horizontal (MRC 1 o 2)	<ul style="list-style-type: none">• Sujetar el brazo por el codo y muñeca• Aplicar resistencia en la muñeca (MRC 4 o 5)
Extensión de la muñeca	Extensor radial largo y corto el carpo	<ul style="list-style-type: none">• Antebrazo en pronación• Apoyado sobre la cama• Muñeca en el borde	"Doble muñeca hacia arriba, sin mover los dedos."	<ul style="list-style-type: none">• Una mano en el antebrazo• Otra aplicando resistencia en el dorso de la mano
Abducción de hombro	Deltoides medio, supraespinoso	<ul style="list-style-type: none">• Decúbito supino• Cabecera a 30-45° (semi-fowler)• Brazos neutros a los lados• Almohada bajo el codo	"Levante el brazo hacia un lado, alejándolo del cuerpo." Si no vence la gravedad, usar plano horizontal (MRC 1 o 2)	<ul style="list-style-type: none">• Una mano estabiliza el hombro• Otra aplica resistencia en el brazo (MRC 4 o 5)

2. Extremidades inferiores:

Tabla 3: Evaluación clínica de la fuerza muscular en extremidades inferiores mediante la escala MRC

Movimiento	Músculos Evaluados	Posición del Paciente	Instrucciones al Paciente	Colocación del Evaluador
Flexión de la cadera	Psoas mayor e ilíaco	<ul style="list-style-type: none">• Decúbito supino• Piernas relajadas• Almohada delgada bajo la rodilla si hay hipotonía	"Levante la pierna recta sin doblar la rodilla." Si no puede vencer la gravedad, usar una sábana para deslizar (MRC 1 o 2)	<ul style="list-style-type: none">• Mano en la cara anterior del muslo• Aplicar resistencia si MRC 4 o 5
Extensión de la rodilla	Recto femoral, vasto medial y lateral	<ul style="list-style-type: none">• Decúbito supino• Rodilla flexionada sobre un cojín	"Estire la pierna y manténgala recta." Si no puede vencer la gravedad, deslizar pierna sobre sábana (MRC 1 o 2)	<ul style="list-style-type: none">• Sujetar por el tobillo• Aplicar resistencia en la tibia si MRC 4 o 5
Dorsiflexión del tobillo	Tibial anterior	<ul style="list-style-type: none">• Decúbito supino• Pies relajados en flexión neutral	"Levante la punta del pie hacia arriba." Si no puede vencer la gravedad, deslizar el pie hacia arriba sin levantarlo (MRC 1 o 2)	<ul style="list-style-type: none">• Aplicar resistencia en el dorso del pie si MRC 4 o 5

Al final de la evaluación:

- Una vez finalizada la evaluación, se tiene que calcular el valor final, sumando el valor obtenido en cada extremidad. Siendo el valor máximo de 60 puntos (5 por 12 grupos musculares)
- En el caso de que un grupo muscular no se pueda evaluar se debe especificar la razón, siguiendo los siguientes ítems, para extrapolar la puntuación.
 - Hemiplejía post-ICTUS
 - Paraplejía o Lesión medular
 - Razones ortopédicas
 - Lesión del nervio periférico
 - Amputación
 - Otras: Especificar
- Para realizar la extrapolación, se considerará el resultado del lado contralateral substituyendo el resultado. Ejemplo: Si tenemos una amputación de la pierna derecha, no podremos valorar la dorsiflexión del tobillo derecho, pero se inferirá el resultado del tobillo izquierdo. Si el resultado es 3, el valor extrapolado será 3.

Aunque el diagnóstico de la DAUCI utilizando la escala del MRC está ampliamente aceptado en la literatura, esta definición tiene varias limitaciones. En primer lugar, el uso de la escala MRC requiere que los pacientes estén lo suficientemente alerta para colaborar con el examen, un requisito que más de la mitad de los pacientes no cumplen debido a encefalopatía, sedación o parálisis [79]. En segundo lugar, dado que se trata de una escala que utiliza una evaluación subjetiva, existe una variabilidad entre observadores al evaluar la fuerza en los pacientes. Además, la falta de conocimiento del estado neuromuscular del paciente a nivel basal, prehospitalario, o las fluctuaciones debido al delirio pueden confundir al examinador. Por otro lado, la definición no informa sobre la

causa de la debilidad. Finalmente, realizar una evaluación sobre la fuerza puede llevar tiempo, especialmente en pacientes parcialmente colaboradores. Pese a estas limitaciones, existen otras alternativas que se pueden utilizar en el entorno del paciente crítico y que pueden ayudar a realizar el diagnóstico de DAUCI.

El uso del Handgrip (fuerza de prensión manual) se ha propuesto como una prueba simple y rápida para diagnosticar la DAUCI. Los estudios han demostrado que la prueba tiene aproximadamente un 80% de sensibilidad y especificidad para el diagnóstico de la DAUCI utilizando la clasificación MRC como *gold standard*. Además, esta prueba tiene valor pronóstico, ya que se ha demostrado que está inversamente asociada con la mortalidad [22]. Sin embargo, sus limitaciones son similares a la prueba del MRC, requiriendo que el paciente coopere y no proporciona información sobre la etiología.

La electromiografía (EMG) y los estudios de conducción nerviosa (NCS) pueden confirmar el diagnóstico de la DAUCI al identificar la presencia del PPC y/o MPC pudiendo descartar, además, otros diagnósticos. Sin embargo, la realización de NCS en pacientes en la UCI puede verse interferida por edemas, interferencias eléctricas o cables de estimulación externos. La información de la EMG está muy limitada a menos que el paciente pueda contraer voluntariamente sus músculos y puede estar contraindicada en el contexto de una coagulopatía. En los NCS en pacientes con PPC y MPC, los potenciales de acción muscular compuesto (CMAP) se reducen drásticamente. La duración de las CMAP, en cambio, se prolonga en la MPC, hallazgo que se correlaciona con la conducción del impulso eléctrico a lo largo de la fibra muscular. Esto respalda la teoría de la inexcitabilidad muscular por la canalopatía del sodio como mecanismo fisiopatológico de la enfermedad [80,81]. Los potenciales de acción de los nervios sensoriales, en cambio, se reducen en la PPC, pero se preservan en la MPC. La EMG de los pacientes con PPC y MPC puede observar actividad espontánea anormal en reposo, aunque los pacientes con PPC generalmente tienen un reclutamiento reducido y unidades motoras grandes y prolongadas, mientras que los pacientes con MPC generalmente tienen un reclutamiento rápido y unidades motoras cortas. Sin embargo, los hallazgos electrofisiológicos son mixtos en la mayoría de los casos en los que están presentes tanto la PPC como la MPC. Debido a que la EMG o estudio de conducción nerviosa completo requiere tiempo, experiencia y costes, ha habido interés en desarrollar un estudio de conducción nerviosa abreviado que pueda diagnosticar con precisión la DAUCI. En este contexto, se

ha demostrado que la prueba del nervio peroneo, en la que solo se estimula y registra el nervio peroneo en el extensor corto de los dedos, es 100% sensible, aunque sólo alrededor del 80% específica para el diagnóstico de la DAUCI en comparación con la EMG o estudio de conducción nerviosa completa [82,83].

Tabla 4: Características electrofisiológicas de la debilidad adquirida en la UCI.

Características electrofisiológicas de la debilidad adquirida en la UCI
Polineuropatía del paciente crítico (PPC) Velocidad de conducción nerviosa normal a mínimamente reducida Amplitud CMAP reducida. Amplitud reducida del potencial de acción compuesto del nervio sensorial Miopatía por enfermedad crítica (MPC) Velocidad de conducción nerviosa normal a mínimamente reducida Amplitud CMAP reducida. Excitabilidad muscular reducida con estimulación directa. Mayor duración de CMAP Potencial de acción de los nervios sensoriales normal.

Adaptado de: Kress JP, Hall JB. ICU-acquired weakness and recovery from critical illness. N Engl J Med. 2014;370(17):1626–35 [49].

Otras pruebas utilizadas para diagnosticar la DAUCI incluyen la estimulación muscular directa, en la que el músculo se contrae cuando se estimula en la PPC (porque el impulso pasa por alto el nervio afectado) pero no en la MPC (porque el músculo es inexcitable). Sin embargo, este estudio requiere experiencia y capacitación adicionales y puede ser difícil de realizar e interpretar en el entorno y población de la UCI. También se ha demostrado que la atrofia muscular y la pérdida de arquitectura en la ecografía muscular se correlacionan con la necrosis de miofibrillas en la biopsia, tiene buena confiabilidad entre evaluadores, no es invasiva y puede ayudar en el diagnóstico de la DAUCI. Pese a esto, se requieren más estudios antes de su implementación en la práctica habitual [84,85].

Por otro lado, la debilidad respiratoria se evalúa también con pruebas de la función pulmonar, radiografías de tórax, gasometrías arteriales y/o ecografía diafragmática [75].

Por último, vale la pena destacar el uso de los biomarcadores. Estos podrían permitir una mejor orientación de futuras terapias novedosas. La creatina quinasa puede aumentar en pacientes con DAUCI, pero no ha demostrado ser un buen biomarcador [61]. Los niveles plasmáticos de neurofilamentos, que son biomarcadores de lesión axonal, también están elevados en pacientes con DAUCI [86]. Los niveles máximos de neurofilamentos han mostrado un buen poder discriminativo de la debilidad, pero este pico sólo se produce después de que los pacientes sean clínicamente evaluables y, por lo tanto, no permitiría un diagnóstico temprano [86]. Aunque actualmente no hay biomarcadores validados disponibles, la identificación de nuevos mediadores involucrados en el desarrollo de DAUCI, como el GDF-15, puede representar un futuro prometedor.

1.3.6 Pronóstico

La presencia de DAUCI se ha asociado con una estancia en UCI y hospitalaria prolongada, una duración prolongada de la VM (*weaning* prolongado) y un aumento de la mortalidad en la UCI, en el hospital y al alta hospitalaria pasado 1 año [23,26,87]. Aunque todavía se debate si el aumento de la mortalidad observado en pacientes con DAUCI refleja una mayor gravedad de la enfermedad crítica que la provoca, estudios que han evaluado cohortes de pacientes con enfermedades comparables, han observado la asociación independiente de DAUCI con la mortalidad. Un estudio de Hermans G et al evidenció un aumento de la mortalidad del 30% y del 13% al alta hospitalaria y al año del alta respectivamente, en pacientes con DAUCI respecto a pacientes sin DAUCI con enfermedades equiparables en cuanto a etiología y gravedad. El mismo estudio también encontró que la DAUCI se asoció con un 30% más de costos hospitalarios [26]. El subgrupo de pacientes críticos con DAUCI que parecen tener peor pronóstico son los pacientes con edad avanzada y los pacientes con PPC [88,89].

1.3.7 Prevención y tratamiento de la DAUCI

Para prevenir la progresión de la DAUCI, un diagnóstico y tratamiento precoz pueden ser decisivos [90]. La prevención de la DAUCI se centra en minimizar los factores de riesgo que conducen a su aparición en los enfermos críticos, aunque se dispone de pocos ensayos aleatorizados que los aborden. Así pues, el tratamiento agresivo de la sepsis se considera una piedra angular en la prevención. Aunque en los estudios que han evaluado las terapias antiinflamatorias en la

sepsis en general no se han estudiado los efectos neuromusculares específicamente, apuntar a mediadores inflamatorios implicados en la atrofia muscular, como el GDF-15, puede abrir nuevas perspectivas.

El tratamiento con insulina para normalizar la glucemia en comparación a tolerar hiperglucemias hasta el umbral renal, ha demostrado reducir significativamente la incidencia de signos electrofisiológicos de PPC y MPC, así como la necesidad de VM prolongada en pacientes de UCI médicos [33] y quirúrgicos [91] con largas estancias. Sin embargo, un ensayo multicéntrico posterior a estos estudios [92] encontró una mayor mortalidad en pacientes tratados con insulina para alcanzar normoglucemia estricta en comparación con aquellos que recibían insulina para alcanzar niveles de glucosa en sangre algo más altos. En consecuencia, el objetivo óptimo de glucosa en sangre sigue siendo un tema de debate y se están realizando esfuerzos continuos para un buen control de la glucosa y de forma más segura en la UCI [93].

La nutrición es otro de los factores importantes para la prevención de la DAU-CI, ya que se considera uno de los mayores contribuyentes a su desarrollo. En este sentido, inicialmente la corrección del déficit nutricional mediante la alimentación parenteral parecía evidente [20]. En cambio, este paradigma ha sido cuestionado, reportándose que una mayor entrega de proteínas durante la primera semana en la UCI se asocia con una atrofia muscular más pronunciada [38]. Además, evitar la nutrición parenteral durante la primera semana en la UCI, en comparación con el uso de suplementación temprana mediante alimentación enteral, reduce la incidencia de la debilidad y mejora la recuperación de la misma [48]. Este efecto beneficioso se podría dar debido a un mayor control de la autofagia en las fibras musculares, mientras que los marcadores de atrofia no parecen verse afectados. Estos hallazgos sugieren que la fase catabólica temprana durante una enfermedad crítica no puede evitarse mediante nutrición artificial. Ciertas vías catabólicas, en particular la autofagia, pueden ser cruciales para mantener la calidad y función de los músculos.

La reducción de la inmovilización es una de las estrategias más importantes a la hora de prevenir la DAUCI. Promover la movilización de estos enfermos en entornos seguros, no solo previene la DAUCI, sino también la aparición de otros problemas asociados con la inmovilización como las úlceras por decúbito a la vez que facilita el drenaje de secreciones o la apertura de zonas pulmonares entre

otros aspectos. En este sentido, las estrategias basadas en el ejercicio físico han demostrado ser factibles y seguras en el enfermo crítico, con mejoras en algunos resultados [94] Para reducir la inmovilización se recomienda marcar objetivos en cuanto a la sedación, priorizándose los niveles mínimos de tratamiento para el confort y seguridad del paciente obteniendo así efectos beneficiosos [94] [94]. Mantener niveles adecuados de sedación es importante para promover la movilización espontánea de los pacientes, así como para facilitar diversas estrategias de actividad física para las que se necesita tenerles despiertos y colaboradores.

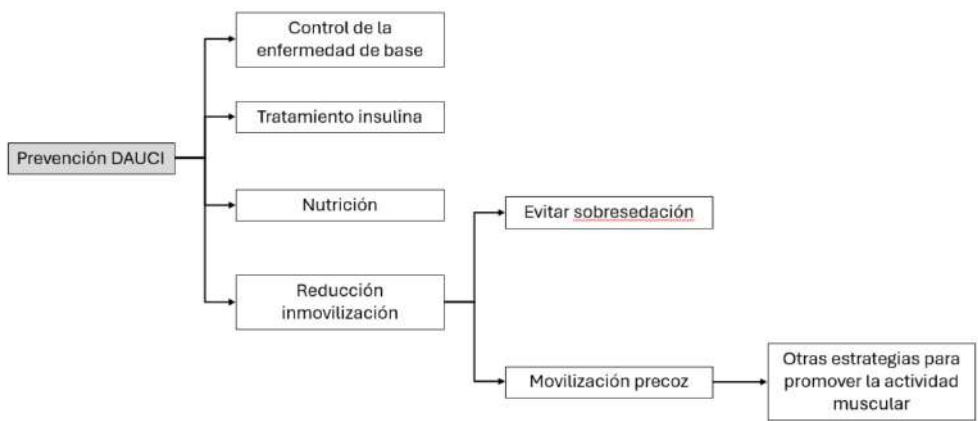


Fig. 5. Estrategias preventivas para la DAUCI.

Sin embargo, es conocido que existen diversos escenarios clínicos que requieren tener a pacientes inconscientes, para los cuales también existen estrategias de movilización que se recomiendan iniciar lo más precozmente posible. Así pues, la MP ajustada a la situación médica, es una estrategia que ha sido descrita y evaluada en la UCI con buenos resultados pese a los cuales todavía no ha sido implementada de manera generalizada en las UCI de nuestro entorno. También existen otras terapias que pueden ayudar a complementar los ejercicios de los pacientes incluidos en protocolos de MP como la cicloergometría [95]. Ésta es una estrategia de movilización usando una bicicleta estática adaptada para el uso de los pacientes ingresados en UCI y su objetivo es fomentar la movilidad de pacientes postrados en cama, tanto de forma pasiva como de forma activa o activa resistida. Sin embargo, todavía no existe suficiente evidencia científica que avale sus efectos o evidencie si éstos son más beneficiosos que los de las terapias convencionales. Poco a poco también se están observando nuevas tec-

nologías, como puede ser la realidad virtual (RV) o inmersiva, donde aún está pendiente evaluar la efectividad que pueden tener a nivel terapéutico, pudiendo incluirlo como un ejercicio extra o incluso como un aliciente a la realización del ejercicio.

Finalmente, se han descrito otras estrategias para promover la actividad muscular no centradas en la actividad física. La electroestimulación (EMS) es una técnica utilizada para potenciar los músculos, mejorar la circulación, disminuir el dolor y aumentar la fuerza muscular [96]. La teoría describe que se podría utilizar en pacientes de forma pasiva, ya que la misma estimulación eléctrica contrae el músculo en cuestión, pero, aunque en el ámbito del deporte hay evidencia que apoya su efecto sobre el músculo, no existe todavía evidencia en pacientes en la UCI, ni conscientes ni inconscientes.



Fig. 6. A la izquierda, paciente realizando cicloergometría. A la derecha, paciente realizando electroestimulación en el cuádriceps.

Así pues, es necesario realizar estudios que evalúen la efectividad de estas estrategias para generar evidencia suficiente para su implementación generalizada como parte del tratamiento integral al enfermo crítico.

1.4 Movilización precoz (MP)

La MP en la UCI se basa en un conjunto de ejercicios planificados y con una progresión definida, que se inician en las primeras 24-48 horas del ingreso, adaptándose a las capacidades y necesidades de cada paciente crítico. Esto incluye desde cambios posturales y lateralizaciones realizados de manera regular cada cierto

tiempo por personal de enfermería y TCAEs especializados en el paciente crítico con la ayuda de celadores también entrenados en el manejo del paciente crítico, hasta movilizaciones pasivas, activas, sedestación o deambulación guiadas o realizadas por fisioterapeutas también formados y especializados en este tipo de pacientes. La MP parece fisiológicamente lógica en pacientes que de otro modo permanecerían inmóviles, además de ser un proceso seguro y factible [97,98].

Está ampliamente demostrado de forma empírica, que la aplicación de protocolos de MP en pacientes críticos en las UCI, además de evitar graves secuelas, se asocia con diversos beneficios como la reducción de la estancia en UCI, la disminución de los días de VM con una mejoría de la mecánica pulmonar, la disminución de la incidencia del delirium, la mejoría de capacidad funcional disminuyendo las secuelas provocadas por la DAUCI, la disminución de los ingresos en la UCI, la reducción de comorbilidades asociadas al encamamiento y VM prolongada y la disminución del coste sanitario por paciente [99–104].

La MP de los enfermos críticos debe iniciarse en la propia cama, sobre todo en los pacientes sedados o con imposibilidad de moverse de manera autónoma. Así pues, los cambios posturales en los pacientes de la UCI son cruciales no sólo para prevenir las lesiones por presión sino también para mejorar los resultados a medio y largo plazo. Las investigaciones indican que el estándar debería ser realizar cambios posturales (decúbitos laterales) de forma rutinaria, especialmente en los enfermos completamente inmovilizados, cada 2 horas. Sin embargo, las cargas asistenciales reales y la falta de protocolos estandarizados hacen que muchos pacientes no reciban este nivel de atención en nuestro medio. Los estudios enfatizan la importancia de los cambios posturales, las estrategias de posicionamiento lentas y progresivas y los exámenes minuciosos de la piel durante el reposicionamiento para prevenir eficazmente las lesiones por presión [105]. Además de realizar cambios posturales, también se debe destacar la importancia de mantener un mínimo de inclinación del cabezal de la cama en los pacientes críticos, ya que juega un papel crucial en la optimización de la ventilación. Estudios han demostrado que una posición adecuada de la cabeza [106], puede mejorar la ventilación/minuto y el intercambio de gases en pacientes críticos. Además, la elevación de la cabecera al inclinar el ángulo de la cama, es importante para prevenir la neumonía asociada a la VM y mejorar la salud pulmonar en los pacientes críticos [107].

Más allá de las movilizaciones en la cama, la actividad física en la MP de pacientes en la UCI debe presentar una curva escalonada de progreso y dificultad adaptada al estado y las capacidades del paciente. Además, estas actividades deben estar programadas dentro de la rutina habitual del trabajo en estas unidades y se deben iniciar tan pronto los pacientes presenten las condiciones hemodinámicas, ventilatorias y físicas adecuadas. La progresión de la terapia debe basarse en una combinación de ejercicios pasivos y activos, que van aumentando en intensidad y complejidad, tal y como se muestra en la figura 7



Figura 7: Pirámide de Niveles de movilización en el Paciente Crítico. Ramos Rodríguez JM. Debilidad adquirida en UCI y movilización precoz. Cádiz: Universidad de Cádiz; 2021 [108].

En primer lugar, la movilización pasiva está indicada en pacientes inconscientes y consiste en el movimiento de una articulación en todas las direcciones posibles, sin contracción muscular activa (realizado por el fisioterapeuta y no por el paciente) y de forma lenta, con el objetivo de mantener el balance articular, evitando rigideces y mejorando la circulación del paciente [109,110].



Fig. 8. Fisioterapeuta realizando movilización pasiva de la extremidad inferior izquierda, en un paciente ingresado en la UCI.

En segundo lugar, la movilización activa o los ejercicios activos se implementan en pacientes conscientes y colaboradores y consiste en la ejecución de movimientos donde el paciente es quien contrae el músculo de forma voluntaria para movilizar el segmento afectado. Se podría dividir en 1) Ejercicios activo-asistidos, donde el paciente realiza los movimientos con ayuda del fisioterapeuta o aparato; 2) Ejercicios activos, donde el paciente realiza el movimiento sin ningún tipo de ayuda y 3) Ejercicios activos resistidos, donde el paciente realiza el movimiento mientras el fisioterapeuta o aparato realiza una resistencia en el sentido contrario del movimiento para aumentar el reclutamiento de fibras musculares[110]. En tercer lugar, la sedestación se define como la posición en la que el ser humano mantiene la verticalidad a través del apoyo de su pelvis sobre la base de sustentación, total o parcial. La sedestación en el enfermo crítico se realiza con el objetivo de mantener al paciente el máximo tiempo posible en esta postura para conseguir un incremento de su tolerancia al esfuerzo y

forzar la conexión con el entorno, mejorando y facilitando también el trabajo ventilatorio [110]. Esta posición en pacientes en la UCI se puede realizar en camas articuladas de alta gama (posición silla) o en una silla o butaca adaptados al paciente crítico. El proceso para movilizar al paciente de la cama a la silla, llamado transferencia, se puede realizar de forma pasiva donde el equipo de la UCI mediante ayudas mecánicas o diferentes materiales realiza la transferencia sin que el paciente realice ningún tipo de esfuerzo, o de forma activa donde el paciente con o sin ayuda del fisioterapeuta realiza la transferencia mediante la bipedestación.



Fig. 9. Paciente en sedestación en la UCI.

Finalmente, la deambulaci3n se define como la necesidad y capacidad de caminar de los pacientes y no debe confundirse con el hecho de “dar un paseo”. La deambulaci3n en la UCI puede ser asistida o activa [111,112]. La asistida puede ser a trav3s de diferentes ayudas mec3nicas, donde la grúa de bipedestaci3n es la que m3s ayuda aporta al paciente, seguido del caminador y los bastones ingleses, o incluso la ayuda del fisioterapeuta. La deambulaci3n activa implica la autonom3a del paciente para la deambulaci3n con o sin la supervisi3n del personal sanitario.



Fig. 10. A la izquierda, grúa de bipedestaci3n de pacientes. A la derecha, paciente con intubaci3n orotraqueal, realizando deambulaci3n con grúa bipedestadora en la UCI.

1.4.1 Indicaciones y contraindicaciones

La MP en el paciente crítico, es una intervención compleja que requiere de una adecuada valoración, formación y manejo cuidadoso del paciente. Así mismo, es importante el establecimiento de protocolos, donde se cree una base para poder realizar una movilización segura y adecuada, a través de la colaboración y el entrenamiento de un equipo multidisciplinar [113].

Una de las principales barreras de la MP que se encuentran los profesionales a la hora de realizar esta terapia, es la preocupación por la prevención de todos los efectos adversos, temiendo el estado del paciente, tanto neurológico como cardiovascular y respiratorio o la presencia de material, como pueden ser los catéteres invasivos (catéteres venosos centrales, catéteres arteriales, cánulas venosas o arteriales), tubos respiratorios (intubación orotraqueal, traqueostomías, drenajes pleurales) u otros dispositivos (sensores para medir la presión intracraneal, drenajes). Estas barreras hacen a menudo que no se lleven a cabo estas terapias de forma eficaz o que se retrase su implementación de manera significativa. Sin embargo, la incidencia real de eventos adversos como la retirada accidental de dispositivos, o la hipotensión y desaturaciones durante la terapia [113] es muy baja y en la mayoría de los casos de fácil manejo, como el caso de la desaturación por ejercicio que se trata o se puede prevenir la mayoría de las veces aumentando la fracción de oxígeno administrado o F_{IO_2} [104].

En el año 2014, un grupo multidisciplinar de expertos internacionales, establecieron mediante consenso tras el análisis sistemático de la evidencia científica, una serie de recomendaciones sobre los criterios de seguridad en la movilización de los pacientes críticos [114]. En este artículo, el grupo de expertos diseñó una escala de colores (semáforo de colores), que identifica el grado de riesgo potencial que puede presentar la terapia de MP en diferentes situaciones específicas a las que pueden estar sometidos los pacientes críticos. Así pues, la escala de colores grada de más a menos segura la implementación de la MP según la patología del paciente, el soporte hemodinámico y/o ventilatorio, así como catéteres y otros dispositivos. Estas recomendaciones, pueden ser una guía para el inicio y desarrollo de programas de MP en UCI, aunque es imprescindible estudiar y analizar cada paciente de forma individual con el equipo multidisciplinar encargado de dicha movilización a diario e incluso por turno teniendo en cuenta las características de los centros.

Así pues, siguiendo las recomendaciones previas, la indicación de la MP se basa en la valoración individualizada de los pacientes por parte de un equipo multidisciplinar que los conoce y tiene formación y experiencia en las movilizaciones de estos pacientes [114]. Este equipo incluye a los profesionales que establecen los criterios de inclusión o exclusión para cada momento. Como norma general la MP debe estar indicada en todos los pacientes ingresados en UCI con previsión de una estancia mayor de 48 horas, excepto para aquellos que presenten alguna contraindicación. Las contraindicaciones para la MP serán aquellos escenarios clínicos en los que se aconseja un reposo absoluto, en los que podemos encontrar situaciones de SDRA severo, inestabilidad hemodinámica importante o hipertensión intracraneal de difícil control.

1.4.2 Otras estrategias para promover la actividad muscular

1.4.2.1 Cicloergometría

El cicloergómetro es una herramienta versátil utilizada en una amplia gama de pacientes, desde aquellos sedados hasta los conscientes. Su diseño permite diferentes formas de aplicación, como se indica en la figura 11, siendo posible un uso tanto pasivo como activo, con posibilidad de ajustar la intensidad mediante diferentes niveles de resistencia. Esta adaptabilidad facilita su aplicación sin necesidad de movilizar al paciente, ya que puede instalarse directamente en camas hospitalarias o de UCI.

Desde el punto de vista fisiológico, la cicloergometría activa la musculatura periférica, favoreciendo el retorno venoso, mejorando la perfusión tisular y estimulando la función cardiorrespiratoria. En pacientes sedados, su aplicación pasiva puede contribuir a la prevención de la atrofia muscular, mantener la movilidad articular, prevenir la rigidez y preservar el trofismo muscular.

El uso del cicloergómetro en pacientes críticos ha sido estudiado por sus potenciales beneficios dentro del marco de la MP. La literatura sugiere que esta estrategia puede mejorar la capacidad funcional, preservar la fuerza y la morfología muscular, optimizar la función respiratoria y facilitar la movilización temprana [115,116]. Algunos estudios indican efectos positivos como una mejoría en la fuerza muscular periférica, asistencia en la movilización, optimización cardiovascular, reducción de la estancia hospitalaria y una recuperación funcional más

rápida. Sin embargo, revisiones sistemáticas recientes señalan que, a pesar de su seguridad, no se han observado mejoras estadísticamente significativas en variables como la función física, duración de la VM, estancia hospitalaria, calidad de vida o mortalidad en comparación con los tratamientos convencionales. Cabe destacar que estas conclusiones deben interpretarse con cautela, ya que los estudios disponibles presentan importantes limitaciones metodológicas: tamaños muestrales reducidos, heterogeneidad en los diseños y protocolos de intervención, y ausencia de ensayos clínicos aleatorizados bien estructurados. Por tanto, la falta de evidencia concluyente no implica que el cicloergómetro no sea efectivo, sino que aún no contamos con datos suficientemente sólidos como para demostrarlo con rigor científico.

Así pues, pese a la falta de evidencia, su aplicación se considera generalmente segura, incluso en pacientes ventilados y sedados, con una incidencia de eventos adversos muy baja (0,16%) mayormente relacionada con asincronías con el ventilador o activaciones ineficaces del trigger [117].

Comparado con otras estrategias de MP, como las movilizaciones pasivas, ejercicios terapéuticos activos o resistidos y la EMS, el cicloergómetro presenta la ventaja de ser una técnica automatizada y repetible, lo que facilita su estandarización en entornos como la UCI. No obstante, en cuanto a resultados clínicos, su eficacia no parece superior a la de estas técnicas.

Actualmente, se están explorando enfoques combinados que integran la cicloergometría con la EMS. Esta combinación busca generar un estímulo metabólico y neuromuscular más completo al sumar el movimiento pasivo o activo del cicloergómetro con la contracción inducida por la estimulación eléctrica. Estudios preliminares sugieren beneficios potenciales, como la preservación de la masa muscular y una mejoría en la fuerza [118].

En resumen, la evidencia actual respalda la seguridad del cicloergómetro en pacientes críticos, aunque sus beneficios sobre variables clínicas relevantes siguen siendo limitados. Se requieren estudios más rigurosos y de mayor calidad para confirmar su eficacia frente a otras estrategias convencionales de movilización [119].

MODALIDAD	TIPO DE PACIENTE	BENEFICIOS ESPERADOS	LIMITACIONES
Cicloergometría pasiva	Sedado, inmovilizado	Prevención atrofia, movilidad articular	Bajo estímulo metabólico
Cicloergometría activa	Consciente, colaborador	Mejora fuerza, retorno venoso	Mayor monitoreo necesario
Combinada con electroestimulación	Variable	Mayor activación muscular	Tecnología limitada, escasa evidencia

Fig. 11. Modalidades de cicloergometría utilizadas en pacientes críticos y sus principales características.

1.4.2.2 Realidad virtual o inmersiva

En los últimos años, la RV ha emergido como una herramienta innovadora en múltiples ámbitos, incluido el de la rehabilitación. Dentro del entorno hospitalario, su aplicación en pacientes críticos ingresados en la unidad de cuidados intensivos (UCI) ha comenzado a explorarse con creciente interés. La evidencia preliminar sugiere que la RV es una opción viable, segura y bien aceptada por los pacientes, sin que se hayan reportado rechazos significativos [120].

En cuanto a su viabilidad, varios estudios han demostrado que la rehabilitación mediante RV puede implementarse con facilidad en la UCI. Las sesiones suelen ser de corta duración, fáciles de programar y llevar a cabo, y los pacientes manifiestan un alto nivel de satisfacción. Además, no se han reportado efectos adversos relevantes, y los profesionales sanitarios valoran positivamente la herramienta, a pesar de algunos inconvenientes técnicos menores [120,121]. Un aspecto especialmente relevante es que la RV puede utilizarse incluso en pacientes encamados, sin necesidad de esperar a que toleren la sedestación, lo que amplía su aplicabilidad en fases tempranas de la recuperación.

En determinadas poblaciones, como pacientes con lesiones cerebrales adquiridas o accidentes cerebrovasculares, se ha observado que la RV puede favorecer tanto la recuperación motora como la cognitiva. Las intervenciones con RV que estimulan los ejercicios con las extremidades superiores han mostrado mejoras en la atención, la memoria y la ejecución motora, lo que evidencia su potencial como herramienta neurorehabilitadora [122,123].

En el ámbito de la rehabilitación cardíaca y pulmonar, también se han iniciado estudios que relacionan el uso de la RV con un aumento de la capacidad de ejercicio, mayor motivación y adherencia a la terapia, así como con beneficios psicológicos como la reducción del dolor, la ansiedad, el estrés y la depresión [124–126]. Durante la pandemia de COVID-19, esta tecnología se utilizó en pacientes aislados para mitigar los efectos del aislamiento social y los síntomas psicológicos, mostrando ser segura y logísticamente factible en entornos hospitalarios [125].

Los pacientes que han participado en estos programas de rehabilitación con RV refieren una experiencia positiva, mostrando altos niveles de satisfacción y disposición a recomendarla a otros. La naturaleza inmersiva e interactiva de la RV parece potenciar la motivación y la implicación del paciente en el proceso terapéutico, aspectos clave en la recuperación, especialmente en pacientes con estancias prolongadas en UCI [125].

Con la evidencia actual, podemos afirmar que la RV representa una opción prometedora, segura y atractiva para apoyar la rehabilitación de pacientes críticos. No obstante, es importante matizar que bajo el término “realidad virtual” se engloban distintas tecnologías, con características y aplicaciones diferenciadas. La RV tradicional recrea entornos digitales interactivos mediante ordenador, mientras que la realidad inmersiva (RI) 360° se basa en la proyección envolvente de entornos reales grabados con cámaras especializadas. En el contexto del paciente crítico, esta última opción puede ofrecer ventajas específicas: permite trasladar al paciente a escenarios reales —naturales o familiares— sin aislarlo completamente del entorno clínico, lo que puede favorecer su orientación, confort y motivación.

Pese a su potencial, la investigación en este campo aún se encuentra en una fase incipiente. Las limitaciones metodológicas de los estudios disponibles —como tamaños muestrales reducidos, heterogeneidad en los protocolos, falta de estandarización y escaso seguimiento a largo plazo— dificultan extraer conclusiones firmes sobre su eficacia. Por ello, se hace necesario seguir profundizando en esta línea de trabajo para clarificar el impacto real de estas tecnologías, definir protocolos óptimos de aplicación y evaluar sus beneficios sostenidos en el tiempo en el contexto de los cuidados intensivos.

1.4.3 Implementación de protocolos de MP

Para poder implementar de manera correcta la MP en pacientes críticos ingresados en una UCI existen varios factores a tener en cuenta. En primer lugar, es una estrategia que requiere de un trabajo en equipo y multidisciplinar incluyendo no sólo a fisioterapeutas sino también a médicos especialistas en Medicina intensiva y Rehabilitación, y de manera importante al equipo de enfermería, TCAE y celadores de estas unidades. Así pues, para la implementación de esta estrategia es necesario desarrollar protocolos de trabajo estandarizados adaptados a cada centro, pero también unir estos protocolos a dinámicas de trabajo específicas para lograr su mayor beneficio. En este sentido es necesaria una implantación de protocolos de sedación y despertar adecuados, que promuevan una sedación consciente, en la que el paciente pueda participar y realizar una movilización activa [102] así como garantizar niveles de analgesia óptimos, dado que la MP puede ser dolorosa para los pacientes. También es de vital importancia un trabajo coordinado con los cuidados de enfermería, así como la evaluación integral e individualizada diaria de los pacientes entre los equipos tratantes (médicos, enfermeras y fisioterapeutas) para indicar el inicio o detenimiento de las terapias de movilización, así como el tipo de actividad a realizar según el estado clínico o las exploraciones o procedimientos necesarios durante el día. En este punto, el fisioterapeuta guiará el desarrollo de la terapia de movilización, siendo el operador e instructor del equipo tratante en el tipo de terapias a aplicar de forma segura [127].

La falta de implementación de protocolos de MP en las UCIs españolas es un problema identificado en varios estudios. Según un estudio observacional multicéntrico en España, se encontró una escasa implementación de protocolos de MP en las UCIs del país, lo que puede estar relacionado con la falta de integración de protocolos de analgosedación, control del delirio y fisioterapia en dichas unidades [102]. Otro artículo destaca que solo un 14% de las 86 UCIs encuestadas en España tenían implementados protocolos o algoritmos de MP, lo que puede estar condicionado por diferentes barreras, como el miedo a las caídas [128]. La falta de adherencia a los protocolos de MP en pacientes que recibieron VM también ha sido analizada en la práctica clínica [129].

Un elemento a tener en cuenta en la MP, es que la introducción de dichas terapias requiere un cambio en la mentalidad de los profesionales y en las rutinas

habituales arraigadas desde hace años en las UCIs. Para ello en 2018, se llevó a cabo un artículo donde publicaron una serie de recomendaciones y consideraciones para implementar un protocolo de rehabilitación y MP en la UCI, con medidas institucionales, clínicas y relacionadas con el paciente [130].

En primer lugar, una correcta implantación de estas estrategias debe ir precedida de un plan de formación y concienciación sobre la importancia de dichas medidas. Este plan debe estar dirigido a todos los profesionales que conforman el equipo, con el objetivo de promover un cambio cultural en la unidad. También se debe llevar a cabo un análisis de la situación real de la unidad, en cuanto a recursos materiales y humanos. Durante este proceso, es importante que participen todos los miembros de la UCI (médicos, enfermeras, TCAE), incluyendo al equipo rehabilitador y a la dirección del centro, trabajando de forma conjunta, aportando cada uno su punto de vista, desde su visión y sus recursos. Este grupo de trabajo es quien debe observar y analizar todos los factores facilitadores y las barreras existentes, diseñando un proyecto de implantación donde se desarrollen estrategias que sirvan para eliminar o disminuir dichas barreras [130].

En segundo lugar, las medidas de formación inter-profesional, deben ser un punto esencial a la hora de implementar el proyecto. Educando al equipo y haciendo hincapié en las recomendaciones de seguridad de la movilización, diseñando un proyecto de formación donde se contemplen técnicas de movilización seguras, así como la manera de poder anticiparse y reaccionar a posibles eventos adversos que pudieran surgir [130]. En este sentido, el uso de simulaciones clínicas es una herramienta de formación segura y con buenos resultados [131].

Por último, un elemento muy importante para la ejecución exitosa de un protocolo de MP es la comunicación entre el equipo. Así pues, es muy importante la coordinación entre todos los profesionales, la realización de reuniones diarias para evaluar a los pacientes, decidir quiénes pueden iniciar las terapias de rehabilitación, quiénes deben suspenderlas o en quiénes deben adecuarse por cambios clínicos o en las modalidades de VM, por ejemplo.

Todos estos nuevos aspectos en la dinámica de una UCI, de manera inevitable, van a generar una cierta resistencia al cambio, generándose barreras que pueden obstaculizar la implementación de un protocolo de MP [132]. Es de vital importancia detectar y gestionar de forma adecuada estas barreras, evitando

la resistencia al cambio y potenciando la información y la motivación de los profesionales. La obtención de evidencias acerca de los beneficios de los programas de MP tanto en los pacientes, como en sus familiares e incluso en los profesionales, es importante también como facilitador de esta transición.

Cabe destacar que, para una implementación efectiva, se debe trabajar en 4 bloques de actividades [132], que incluyen:

1. Involucrar a todos los profesionales implicados.
2. Establecer estrategias de formación apropiadas, donde se consiga impartir la importancia de la MP para los pacientes, potenciando la motivación de los profesionales.
3. Adaptar los cambios necesarios de manera flexible a la organización de la unidad.
4. Planificar todas las actividades y hacer el seguimiento de las mismas.

Igual de importante debe ser también diseñar estudios de investigación que permitan objetivar los beneficios reales de estas estrategias y prever la difusión de los resultados a la comunidad científica.

Tabla 5: Barreras y facilitadores para la movilización precoz.

FACTORES RELACIONADOS CON EL PACIENTE	
Barreras <ul style="list-style-type: none"> • Inestabilidad clínica (hemodinámica, respiratoria, neurológica) • Sedación • Baja puntuación en escala de coma de Glasgow • Delirio/agitación Estado Psicológico • Dolor • Procedimientos médicos • Negativa del paciente/ansiedad 	Facilitadores <ul style="list-style-type: none"> • Manejo de la inestabilidad clínica • Manejo de la sedación y el delirio • Descanso y sueño • Diagnóstico y manejo del delirio • Analgesia antes de la movilización • Objetivos del paciente • Empoderamiento de la familia y educación
FACTORES RELACIONADOS CON EL EQUIPO DE CUIDADOS INTENSIVOS	
Barreras <ul style="list-style-type: none"> • Cultura pobre • Déficit de comunicación • Déficit de liderazgo • Desconexión de los miembros del equipo • Inexperiencia del personal • Déficit de planificación y coordinación • Expectativas poco claras • Riesgo para los rehabilitadores • Catéteres femorales • Transferencia temprana de sala • Anticipación a los riesgos 	Facilitadores <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de una cultura positiva de equipo • Rondas de sala, reuniones multidisciplinares de equipo • Planificación de equipo y comunicación • Formación y mejora de equipo • Detección de pacientes adecuados • Miembros del equipo flexibles y colaboradores • Utilización de criterios de seguridad en la movilización de pacientes en ventilación mecánica • Beneficios anticipados
FACTORES RELACIONADOS CON LA ORGANIZACIÓN	
Barreras <ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de fondos • Limitaciones de tiempo • Déficit de equipamiento y recursos • Ocupación de camas 	Facilitadores <ul style="list-style-type: none"> • Valorar la contratación de personal adicional valorando la relación coste/beneficio para la organización • Recursos y equipamientos apropiados • Personal dedicado • Protocolo/guía de movilidad • Entrenamiento con equipamiento adecuado

Ramos Rodríguez JM. Debilidad adquirida en UCI y movilización precoz. Cádiz: Universidad de Cádiz; 2021 [108].



HIPÓTESIS

HIPÓTESIS

2.1 JUSTIFICACIÓN

La MP de los pacientes críticos ingresados en la UCI es una estrategia de prevención y tratamiento de la DAUCI que ha sido evaluada en diferentes estudios de manera heterogénea. Aunque se describe como una práctica factible y segura, no existe suficiente evidencia en cuanto a su efectividad y su implementación no está generalizada en nuestro ámbito. La instauración de protocolos permite identificar los problemas de salud de los pacientes, planificar y llevar a cabo los cuidados necesarios en las UCI siendo una herramienta de calidad de la atención que repercute sobre el paciente, la familia y la comunidad. La implementación de un protocolo de MP y la evaluación de sus efectos en pacientes ingresados en UCI podría generar nueva evidencia clínica y facilitar la implementación de iniciativas similares adecuadas a otros centros.

2.2 HIPÓTESIS

La hipótesis de la presente tesis doctoral es que la aplicación de un protocolo de MP en la UCI polivalente del Hospital del Mar de Barcelona podría tener efectos beneficiosos cuantificables en los enfermos críticos demostrando ser una práctica segura y factible en este contexto. Asociar nuevas tecnologías a estas estrategias es factible y podría facilitar su aceptación entre los pacientes y potenciar sus beneficios.



OBJETIVOS

OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO PRIMARIO (OP)

OP: Describir el impacto de la implementación de un protocolo de MP en pacientes graves ingresados en una UCI.

3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS (OS)

OS1: Crear e implementar un protocolo de MP en la UCI polivalente del Hospital del Mar de Barcelona.

OS2: Crear e implementar un programa piloto de cicloergometría asociada a realidad 360° para pacientes críticos en la misma UCI

OS3: Diseñar un ensayo clínico aleatorizado para evaluar el impacto de la cicloergometría asociada a realidad 360° en pacientes graves ingresados en la misma UCI



METODOLOGÍA

METODOLOGÍA

4.1 Introducción

La presente tesis doctoral se compone de dos partes. En la primera parte, se trabajó para la implementación de un protocolo de MP en la UCI del Hospital del Mar de Barcelona (OS1) y se realizó un estudio de carácter observacional y prospectivo, en el que se compararon dos cohortes de pacientes críticos, antes y después de la implementación del protocolo (OP, Estudio 1). Los resultados de este estudio se encuentran actualmente en fase de publicación.

En la segunda parte, se trabajó para instaurar en la misma unidad estrategias como la cicloergometría y la RI 360° asociadas al programa de MP. En este contexto, se diseñó y se implementó un programa piloto combinando ambas actividades (OS2) y se diseñó un ensayo clínico aleatorizado con el objetivo de evaluar su viabilidad, seguridad y beneficios clínicos (OS3, Estudio 2) que está actualmente en fase de desarrollo.

A continuación, se describen en detalle los métodos empleados para responder a cada uno de los objetivos.

4.2 Estudio sobre la implementación de un protocolo de MP

El OP de este estudio (Estudio 1) fue describir el impacto de la implementación de un protocolo de MP en pacientes graves ingresados en una UCI.

4.2.1 Diseño

Estudio de cohortes observacional y prospectivo en la UCI médico-quirúrgica polivalente del Servicio de Medicina Intensiva del Hospital del Mar (Barcelona, España) en colaboración con el Servei de Medicina Física y Rehabilitació.

4.2.2 Población y período de estudio

Para la realización del estudio se incluyeron dos cohortes consecutivas de pacientes críticos ingresados en la UCI del Hospital del Mar, antes y después de la implementación de un protocolo de MP en la Unidad. La cohorte incluida anteriormente a la implementación del protocolo de MP (PRE) se incluyó del

01 de Enero del 2018 hasta el 30 de Mayo de 2018, mientras que la cohorte incluida tras la implementación del protocolo (POST) se incluyó del 01 de Enero del 2020 hasta el 20 de Mayo del 2020. De Junio de 2018 hasta Diciembre de 2019 se diseñó, se creó, se aprobó y se implementó el protocolo en la Unidad.

Criterios de inclusión

La población a estudio debía cumplir los siguientes criterios para ser incluidos en el estudio:

- Edad igual o superior a 18 años.
- Ingreso en UCI por cualquier tipo de patología.

Criterios de exclusión

Los pacientes que presentaron alguno de los siguientes criterios fueron excluidos del estudio:

- Duración de estancia en UCI menor a 48 horas.

4.2.3 Intervención

El protocolo de MP implementado fue diseñado y elaborado por un equipo multidisciplinar (grupo de trabajo de MP del Hospital del Mar) e incluyó a los siguientes equipos asistenciales relacionados con el paciente crítico en sus diferentes etapas: camilleros, técnicos auxiliares de cuidados de enfermería, enfermeras, fisioterapeutas y médicos (intensivistas y rehabilitadores). Para el diseño del protocolo se consideraron diversas esferas como los hallazgos publicados en la literatura previa, la organización y la arquitectura de la Unidad, así como los recursos disponibles. Todos los miembros del grupo de trabajo fueron capacitados en sus tareas específicas dentro del protocolo durante 6 meses mediante sesiones de docencia virtual y presencial y simulaciones antes de la implementación del protocolo. Posteriormente y durante un mes después de su implementación, se recopilaban limitaciones y propuestas de mejora por parte del equipo sanitario. Después de la inclusión de pequeñas modificaciones,

el protocolo se desarrolló durante un año antes de que se incluyera la cohorte POST para garantizar una implementación generalizada y homogénea.

4.2.4 Recogida de Datos

Para la recogida de información se diseñó un cuaderno de recogida de datos (CRD) que incluía datos generales al ingreso en UCI como demográficos (edad y sexo), presencia de comorbilidades, hábitos tóxicos, puntaje APACHE II (del inglés, Acute Physiology and Chronic Health Assessment II) como índice de gravedad y motivo de ingreso en UCI.

Además, los datos sobre la movilización de los pacientes, así como procedimientos o variables de evolución durante los turnos de enfermería de mañana y tarde también se recogieron de forma manual y prospectiva dos veces al día para cada paciente durante todo el ingreso en UCI. Estos datos incluyeron características básicas como realización de rehabilitación (sí/no) y aspectos específicos de la movilización estratificados en 5 niveles: 1) cambios posturales (incluyendo lateralizaciones y elevaciones de la cabecera de la cama), 2) movilizaciones pasivas, 3) movilizaciones activas, 4) sedestación en una silla o butaca y 5) bipedestación.

Las variables de evolución incluían la necesidad de soporte ventilatorio (VM, ventilación mecánica no invasiva (VMNI) y cánula nasal de alto flujo o CNAF), motivo de las terapias ventilatorias, necesidad de soporte vasoactivo, necesidad de terapia de reemplazo renal (TRR), necesidad de bloqueadores neuromusculares (BNM), aparición de úlcera o delirio y mortalidad en UCI. A partir de estas características, se pudieron calcular las siguientes variables: días desde el ingreso a la UCI hasta que el inicio de la terapia de rehabilitación, días de fisioterapia y número de sesiones, hitos de rehabilitación alcanzados y tiempo transcurrido hasta su consecución, duración de las estrategias de ventilación, estancia en UCI y estancia hospitalaria.

4.2.5 Análisis Estadístico

Los análisis se realizaron de manera independiente para los grupos PRE y POST en toda la población, y en dos estratificaciones más: aquellos pacientes que presentaron indicación para recibir rehabilitación y aquellos pacientes que la recibieron. Se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para evaluar si los datos presentaban una distribución normal. La estadística descriptiva incluyó frecuencias absolutas y relativas para las variables categóricas, medias y desviación estándar (DE) para las variables cuantitativas continuas que presentaban una distribución normal y medianas y rangos intercuartílicos (percentil 25-75) para las variables cuantitativas continuas con distribución no normal. Las variables dicotómicas se compararon mediante la prueba de chi-cuadrado (χ^2) o la prueba exacta de Fisher, según procedía. La comparación de variables continuas se realizó mediante la prueba t de Student para aquellas variables que presentaron una distribución normal o la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney cuando no se pudo demostrar normalidad. Se aceptaron como significativas diferencias con valores $p < 0,05$. El análisis estadístico se realizó mediante SPSS v.23.0 (SPSS Inc, Chicago, IL)

4.2.6 Aspectos Éticos

Durante el estudio se siguieron las directrices nacionales (Código deontológico del Colegio Oficial de Médicos) e internacionales en este respecto (Declaración de Helsinki Fortaleza, Brasil, octubre 2013). Se garantizó la confidencialidad de los datos de acuerdo con la normativa vigente: Ley Orgánica 3/2018, de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales y Reglamento (UE) nº 2016/679 del Parlamento europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016 de Protección de Datos (RGPD). El presente proyecto obtuvo la aprobación del Comité de Ética e Investigación Clínica (CEIC) del PSMAR (Número de CEIC: 2019/8868).

4.3. Creación de un protocolo de Movilización Precoz en la UCI

El OS1 se centró en crear e implementar un protocolo de MP en la UCI polivalente del Hospital del Mar de Barcelona.

4.3.1 Detección de la necesidad e identificación del problema

A principios del año 2017, se llevó a cabo una evaluación interna con referentes externos acerca de las prácticas de movilización de los pacientes ingresados en la UCI del Hospital del Mar. Así pues, esta revisión se realizó con el acompañamiento y asesoramiento de profesionales con experiencia en otras unidades, lo que permitió identificar áreas de mejora en nuestro propio contexto. A través de este análisis crítico, se pusieron de manifiesto diversas oportunidades para optimizar el abordaje de la movilización del paciente crítico, lo cual evidenció la necesidad de impulsar una intervención orientada a transformar y estructurar las prácticas existentes. Las principales áreas de mejora detectadas fueron clasificadas en dos dimensiones: prácticas clínicas de movilización y recursos humanos.

En términos de movilización, se identificaron varios aspectos susceptibles de mejora:

- **Cambios posturales:** En pacientes encamados y sedados, no se aplicaban de forma sistemática cambios posturales protocolizados, lo cual suponía un factor de riesgo evitable en relación con la aparición de úlceras por presión y sus complicaciones asociadas.
- **Sedestación:** La sedestación se reservaba habitualmente a pacientes autónomos y próximos al alta, lo que limitaba su aplicación terapéutica en fases más tempranas del ingreso.
- **Deambulaci3n:** No se promovía de forma regular la bipedestaci3n ni la deambulaci3n, incluso dentro del box, lo cual restringía el potencial de intervenci3n precoz.
- **Camas:** Se observ3n una disponibilidad limitada de camas adaptables que facilitaran la variaci3n postural o la sedestaci3n en cama.
- **Inclinaci3n del cabezal:** Aunque formaba parte del manejo clínic3n del paciente crítico, la posici3n del cabezal no se consideraba de manera sistemática.

- **Retraso en la rehabilitación:** La rehabilitación solía iniciarse después de las primeras 48 horas, y en algunos casos no se iniciaba hasta el traslado del paciente a planta.

En cuanto a recursos humanos:

- **Fisioterapeutas:** La intervención del fisioterapeuta requería una interconsulta previa al Servicio de Medicina Física y Rehabilitación, ya que no formaba parte del equipo asistencial estable de la UCI. Además, debía atender a pacientes en otras áreas del hospital, lo cual limitaba el tiempo disponible por paciente y retrasaba la atención.
- **Enfermería:** No existía un protocolo específico sobre la frecuencia ni la metodología de movilización, lo que condicionaba una menor intervención, especialmente en pacientes dependientes.
- **Equipo médico:** La movilización no formaba parte sistemática de los objetivos asistenciales ni se contemplaba de forma activa durante las visitas clínicas o la planificación del tratamiento.

Estas observaciones pusieron de manifiesto el valor de replantear la estrategia de MP en la UCI, con el objetivo de reducir el riesgo de desarrollar disfunciones adquiridas y favorecer una recuperación más funcional y eficiente. A partir de esta reflexión, surgió la necesidad de constituir un equipo interdisciplinar que impulsara e implementara un protocolo específico, consensuado e integrado en la práctica clínica, con el fin de promover una movilización segura, precoz y adaptada a cada paciente crítico.

4.3.2 Creación del equipo interdisciplinar

Tras la detección de las principales áreas de mejora en la práctica clínica, se constituyó el primer grupo de trabajo en MP de la UCI del Hospital del Mar. Este equipo estuvo integrado por profesionales de todas las categorías implicadas directamente en la atención de los pacientes críticos, con el objetivo de diseñar e implementar un protocolo interdisciplinar.

El grupo estuvo formado por:

- 2 médicos intensivistas
- 1 médico rehabilitador
- 1 fisioterapeuta
- 3 enfermeras de UCI
- 3 TCAE

Cada integrante aportó su perspectiva profesional y asumió responsabilidades específicas en el desarrollo y aplicación del protocolo, asegurando así un enfoque integral, coordinado y adaptado a la realidad asistencial de la unidad.

4.3.3 Revisión de la evidencia científica

El primer paso del equipo interdisciplinar fue realizar una búsqueda bibliográfica exhaustiva en bases de datos especializadas como PubMed, con el objetivo de identificar y reunir la mejor evidencia disponible sobre MP en pacientes críticos. Esta búsqueda permitió al equipo fundamentar sus decisiones en datos actualizados y relevantes, asegurando una base científica sólida para el desarrollo del protocolo.

Paralelamente, se estableció contacto con hospitales que ya habían implementado protocolos similares, como el Hospital Universitario Joan XXIII. Este intercambio permitió conocer experiencias previas, identificar buenas prácticas y recoger ejemplos aplicables. Cabe destacar que uno de los médicos intensivistas del equipo se había formado en dicho centro, lo que facilitó el acceso a información práctica y contextualizada sobre la implementación de estrategias de MP.

Toda la información recopilada, tanto de la literatura científica como de la experiencia de otros centros, fue analizada y adaptada a la realidad organizativa asistencial del Hospital del Mar, considerando especialmente la disponibilidad de recursos humanos, materiales y estructurales. Este enfoque permitió diseñar un protocolo realista, aplicable y alineado con las capacidades y necesidades de la unidad.

4.3.4 Diseño del protocolo

A partir de este trabajo se definieron los roles y responsabilidades específicas que cada profesional participante del proceso debía asumir en el marco del protocolo y durante su jornada laboral.

Posteriormente, se establecieron los criterios de inclusión y exclusión de pacientes, así como los criterios de interrupción del protocolo en caso de eventos adversos o contraindicaciones clínicas. El protocolo fue estructurado en cinco niveles de intervención, clasificados según variables como el nivel de consciencia del paciente, su capacidad para realizar ejercicios en la cama o en el borde de ésta, y la posibilidad de sedestación o bipedestación, entre otros. Para facilitar su aplicación, se elaboraron tablas resumen que incluían los criterios clínicos y las características de cada nivel. Estas herramientas permitieron una consulta rápida por parte del equipo asistencial y favorecieron la comprensión y adherencia al protocolo.

Una vez redactado el documento oficial y aprobado por el equipo interdisciplinar, el protocolo fue remitido al comité encargado de la validación de protocolos asistenciales del hospital. Tras su aprobación formal, fue incorporado a la plataforma institucional correspondiente, quedando así accesible para todos los profesionales del centro, lo que garantizó su difusión e integración en la práctica clínica habitual.

4.3.5 Adquisición de recursos

El compromiso del Servicio de Medicina Intensiva y de la dirección del hospital con la mejora de la MP en pacientes críticos se tradujo también en una inversión específica en recursos humanos y materiales. Esta dotación fue clave para garantizar la implementación efectiva del protocolo y su sostenibilidad en el tiempo.

Gracias a la financiación gestionada desde el propio Servicio de Medicina Intensiva, se incorporó un fisioterapeuta con dedicación exclusiva a la UCI, con una jornada de 30 horas semanales. Aunque esta financiación procedía de la UCI, el profesional se mantuvo adscrito al Servicio de Rehabilitación, con el fin de asegurar la coherencia con las prácticas fisioterapéuticas institucionales y fa-

vorecer el alineamiento con los protocolos existentes. Esta decisión estratégica también buscaba consolidar un modelo sostenible a largo plazo, facilitando una futura integración estructural del recurso en la plantilla hospitalaria mediante fondos propios del centro.

En cuanto a recursos materiales, se dotó a todas las camas de la UCI con camas funcionales ajustables, con el objetivo de facilitar la movilización pasiva, la sedestación y la comodidad del paciente en distintas fases de su evolución clínica. Asimismo, se adquirieron dispositivos de soporte para la movilización activa y asistida, entre ellos una grúa de bipedestación y grúas de techo instaladas en algunos boxes seleccionados, lo que permitió mejorar la seguridad y eficacia de las maniobras de movilización en pacientes con altos requerimientos de soporte.

Esta inversión inicial constituyó una base fundamental para el desarrollo del protocolo y reflejó la voluntad institucional de transformar de forma estructural la atención al paciente crítico.

4.3.6 Formación y capacitación

Una vez finalizado y aprobado el protocolo y definidas las funciones de cada profesional, se presentó formalmente al personal del servicio.

Posteriormente, se organizaron sesiones formativas específicas dirigidas a cada grupo profesional implicado. En estas formaciones se trató tanto el contenido del protocolo como la forma de implementación práctica de las actividades asignadas a cada rol. Además, la adquisición de nuevo equipamiento, como grúas de techo y bipedestadoras, hizo necesaria la realización de cursos prácticos.

Estas formaciones iban dirigidas a:

- **Médicos intensivistas:** responsables del seguimiento del paciente durante la movilización, especialmente en el caso de pacientes intubados y conectados a ventilación mecánica.
- **Enfermería:** encargada del manejo de los dispositivos conectados al paciente (catéteres, electrodos, cables de monitorización, drenajes, dispositivos de vía aérea, etc.).

- **Fisioterapeutas:** responsables de la postura del paciente y de guiar la marcha asistida.
- **TCAEs y camilleros:** personal de apoyo durante el proceso de movilización.

Asimismo, se ofrecieron formaciones sobre el uso avanzado de las camas hospitalarias (tanto nuevas como antiguas), con el objetivo de optimizar sus funciones, muchas de las cuales eran desconocidas por el personal de UCI.

4.3.7 Implementación piloto

Tras completar todas las fases anteriores, se programó una implementación piloto del protocolo. Esta se llevó a cabo el día 8 de mayo de 2019, coincidiendo con la incorporación de un fisioterapeuta que cubría tres horas en turno de mañana y tres horas en turno de tarde.

El periodo piloto se extendió hasta el 31 de diciembre de 2019, durante el cual se inició la aplicación progresiva de todas las actividades contempladas en el protocolo. Esta fase permitió valorar su viabilidad, ajustar dinámicas asistenciales y recoger observaciones clave para su mejora e integración definitiva en la práctica clínica.

4.3.8 Evaluación y ajustes

Durante los primeros meses tras la implementación, se realizaron evaluaciones periódicas y reuniones de seguimiento con el objetivo de detectar dificultades logísticas o de aplicación clínica. En función de los resultados observados, se introdujeron ajustes necesarios en el protocolo. Estas reuniones del equipo interdisciplinar también permitieron valorar la evolución del proyecto, proponer mejoras continuas y asegurar una correcta integración del protocolo en la dinámica asistencial de la UCI.

Una vez finalizada la fase piloto y realizados los ajustes necesarios, el protocolo fue consolidado como herramienta asistencial estándar en la unidad, lo que permitió su integración institucional y facilitó su aplicación en los estudios posteriores.

4.4 Implementación de un programa piloto de cicloergometría asociada a realidad 360° en pacientes críticos

El OS2 pretendía crear e implementar un programa piloto de cicloergometría asociada a realidad 360° para pacientes críticos en la misma UCI

4.4.1 Identificación de estrategias para promover la actividad muscular

Tras la implementación del protocolo de MP en UCI, y en el marco del compromiso creciente de la Humanización de los Cuidados Intensivos, se realizó una búsqueda bibliográfica para identificar nuevas terapias orientadas a la rehabilitación y promoción de la actividad muscular en pacientes críticos. En ese momento, la UCI del Hospital del Mar ya formaba parte activa de un programa institucional más amplio de Humanización de los Cuidados Intensivos, que contemplaba diversas líneas estratégicas, entre las cuales la MP ocupaba un papel destacado.

La búsqueda se llevó a cabo principalmente en bases de datos biomédicas (principalmente PubMed) y se centró en estudios publicados en los últimos 10 años (2013–2023) que exploraran intervenciones innovadoras para la activación muscular en pacientes críticos. Se utilizaron términos MeSH relacionados con “early mobilization”, “critical care”, “bedside cycling”, “neuromuscular stimulation”, y “virtual reality”, entre otros. A partir de los resultados, se identificaron dos terapias no implementadas hasta entonces en la UCI del centro: la cicloergometría y la RI. Se procedió entonces a analizar sus posibles beneficios, así como los requerimientos técnicos y logísticos necesarios para su aplicación en el entorno crítico.

4.4.2 Selección y adquisición de materiales

Con base a la evidencia recopilada y en el marco del Programa de Humanización de los Cuidados Intensivos del Hospital del Mar, se definieron los requisitos técnicos y humanos necesarios para implementar una intervención que combinara la cicloergometría y la RI, orientadas a la MP de pacientes críticos.

Una vez identificadas estas intervenciones como ejes centrales, se procedió a la búsqueda de entidades colaboradoras con experiencia en estas áreas. Se realizó

una búsqueda de empresas tecnológicas y proveedores especializadas, con el objetivo de establecer acuerdos de colaboración. Estos partners potenciales fueron seleccionados en función de su trayectoria, compatibilidad técnica con los requerimientos definidos y su disposición a participar en un entorno hospitalario crítico, alineándose con los principios del Programa de Humanización de los Cuidados Intensivos del Hospital del Mar.

4.4.3 Evaluación de la factibilidad e implementación del cicloergómetro con realidad inmersiva

Antes de iniciar la intervención, se llevó a cabo una evaluación detallada de la factibilidad operativa del uso combinado de cicloergómetro y RI en la UCI. Este análisis consideró aspectos clave:

- El espacio físico disponible en la unidad,
- Compatibilidad eléctrica de los equipos,
- Protocolos de limpieza y desinfección,
- Seguridad en la instalación y manipulación del equipo,

Paralelamente, se iniciaron las gestiones administrativas necesarias, incluyendo la solicitud de autorización y la validación del proyecto por parte de la dirección de la UCI.

Una vez superada esta fase, se definieron los criterios clínicos de inclusión y exclusión de pacientes, en coherencia con los ya establecidos en el protocolo vigente de MP de la unidad.

4.4.4 Fase piloto de evaluación clínica y operativa

Con el fin de validar la intervención antes de su implementación definitiva, se diseñó una fase piloto aplicada a un número reducido de pacientes seleccionados según los criterios definidos. Esta etapa tenía como objetivo principal valorar la tolerancia clínica a la intervención, su viabilidad operativa y la percepción general del equipo asistencial implicado.

Durante esta fase, se recogieron observaciones sobre la duración óptima de las sesiones, el grado de participación del paciente, el manejo de los dispositivos durante la actividad y la integración logística de la intervención en la rutina asistencial de la UCI.

Los resultados de esta primera experiencia permitieron ajustar ciertos aspectos del protocolo inicial, como el tiempo de exposición a los vídeos inmersivos, la preparación previa del material y la coordinación entre profesionales durante la sesión. Asimismo, la valoración positiva por parte del equipo sanitario reforzó la viabilidad del modelo, sentando las bases para su aplicación más amplia en el marco del protocolo de MP.

4.5 Diseño de un ensayo clínico aleatorizado para evaluar el impacto de la cicloergometría asociada a realidad 360° en pacientes graves

El OS3 (Estudio 2) era diseñar un ensayo clínico aleatorizado para evaluar el impacto de la cicloergometría asociada a realidad 360° en pacientes graves ingresados en la misma UCI.

4.5.1 Contexto y génesis del proyecto

El estudio 2 se enmarcó en el programa de Humanización de los Cuidados Intensivos del Hospital del Mar y surgió como una propuesta innovadora para mejorar la MP en pacientes críticos, incorporando herramientas tecnológicas como la cicloergometría y la RI.

La idea de combinar la cicloergometría con RI se desarrolló tras la implementación del protocolo propio de MP y del programa piloto de cicloergometría asociada a realidad 360°. Fue estructurada como un ensayo clínico aleatorizado para evaluar su impacto no solo en variables clínicas, sino también en aspectos fisiológicos, metabólicos y subjetivos del bienestar. El diseño fue elaborado de forma colaborativa entre profesionales de medicina intensiva, rehabilitación, bioquímica, epidemiología y salud pública, con participación de especialistas en RV y salud emocional.

El protocolo fue presentado a la convocatoria de ayudas FIS del Instituto de Salud Carlos III, obteniendo financiación competitiva tras su evaluación favorable.

Esto permitió consolidar una red investigadora multicéntrica y multidisciplinar, fortaleciendo la base científica y operativa del estudio.

4.5.2 Diseño del proyecto

Tras la implementación del protocolo estructurado de MP en la UCI y la experiencia positiva obtenida durante la fase piloto con cicloergometría y RI, se consideró necesario avanzar hacia una evaluación rigurosa de estas estrategias. Con el objetivo de determinar su impacto clínico, funcional y emocional en pacientes críticos, se diseñó un ensayo clínico aleatorizado, controlado y multicéntrico, fundamentado en la evidencia disponible y en la experiencia acumulada por el equipo investigador.

La existencia de un protocolo de MP ya consolidado en la unidad, así como las lecciones aprendidas durante la implementación piloto —en relación con la logística, la tolerancia clínica y la aceptación por parte del equipo asistencial y los pacientes—, facilitaron la elaboración de un diseño robusto. Este permitió definir con claridad las intervenciones a comparar, establecer criterios homogéneos de inclusión y exclusión, e incorporar herramientas innovadoras de evaluación, como biomarcadores salivales y pruebas de imagen musculoesquelética.

El estudio propone comparar distintas estrategias de MP con distintos niveles de complejidad tecnológica, con el objetivo final de identificar si la incorporación de tecnologías inmersivas y soportes mecánicos añade beneficios clínicos significativos frente al estándar de atención actual.

4.5.3 Innovación metodológica: evaluación integral y multidisciplinar

El diseño del estudio se vio enriquecido por la experiencia consolidada del equipo de investigación en la aplicación de técnicas avanzadas de evaluación clínica, así como por la colaboración con grupos expertos en áreas complementarias. La amplia trayectoria del grupo en el uso de ecografía muscular en pacientes críticos, así como las alianzas previas con equipos especializados en metabolómica clínica, permitieron incorporar herramientas de análisis innovadoras que ofrecerán una visión más profunda del impacto de la intervención.

Con este enfoque, el estudio no solo evaluará resultados funcionales clásicos, sino que integrará también dimensiones fisiológicas, emocionales y metabólicas mediante el uso de biomarcadores salivales y pruebas de imagen musculoesquelética. Esta estrategia permitirá caracterizar de manera más completa la respuesta del paciente a las distintas modalidades de MP.

Además, el interés suscitado por la propuesta de incluir estímulos visuales basados en entornos naturales reconocibles (como el paseo marítimo de Barcelona) facilitó la incorporación al equipo de investigadores expertos en salud pública y en los efectos beneficiosos de los “espacios azules”. Su participación ha contribuido al fortalecimiento metodológico del proyecto, asegurando una evaluación más precisa de las posibles implicaciones del entorno visual en el bienestar emocional del paciente crítico.



RESULTADOS

RESULTADOS

5.1 Estudio 1: Implementación de un protocolo de Movilización Precoz en pacientes críticos

En esta sección se presentan los resultados del Estudio 1, orientado a evaluar el impacto de la implementación de un protocolo de MP en pacientes críticos ingresados en la UCI. Los datos se han organizado en función del momento de ingreso (PRE vs. POST) y según la indicación o realización efectiva de rehabilitación (RHB), para analizar los efectos clínicos generales y específicos de la intervención.

5.1.1 Población

Un total de 115 pacientes fueron incluidos en el análisis, divididos en dos grupos según el momento de ingreso respecto a la implementación del protocolo de MP. En la fase preimplementación, se registraron 63 (54,8%) pacientes, de los cuales 7 (11,1%) no presentaban indicación de rehabilitación (RHB) y 56 (88,9%) sí la tenían. De estos últimos, 26 (46,4%) pacientes realizaron RHB mientras que 30 (53,6%) no la llevaron a cabo. En la fase postimplementación, se incluyeron 52 (45,2%) pacientes, con 13 (25,0%) sin indicación de RHB y 39 (75,0%) con indicación. De los pacientes con indicación en este segundo grupo, 35 (89,7%) realizaron RHB y únicamente 4 (10,3%) no la realizaron. La distribución detallada de los grupos se presenta en la Figura 12.

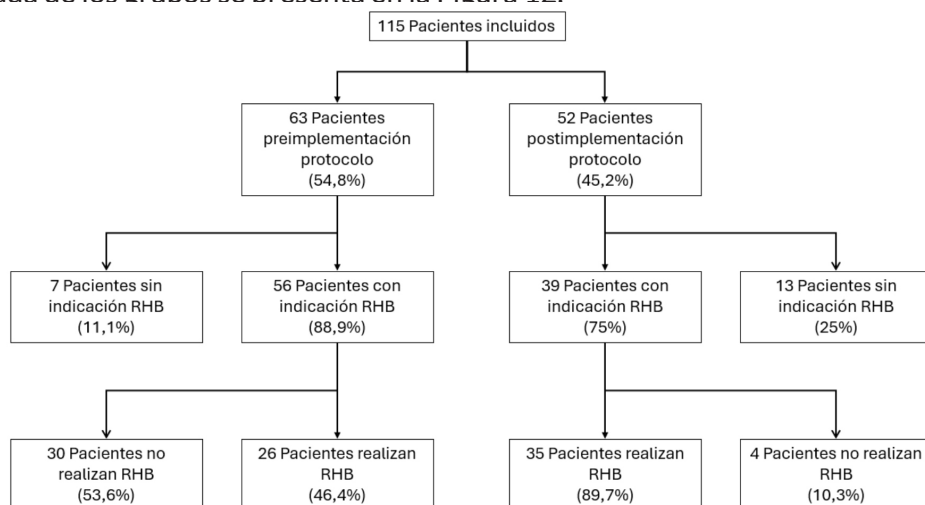


Fig. 12. Distribución de los pacientes incluidos según la implementación del protocolo de movilización precoz y realización de rehabilitación (RHB)

5.1.2 Características generales de la población de estudio

En la comparación de las características basales entre los grupos pre y postimplementación del protocolo de MP, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la edad (mediana de 62 [46–76] años en el grupo PRE frente a 65 [57–73] años en el grupo POST; $p = 0,472$) ni en la distribución por sexo (mujeres: 39,7% vs. 28,8%; $p = 0,154$). Tampoco se evidenciaron diferencias en la prevalencia de alcoholismo (15,9% PRE vs. 21,2% POST; $p = 0,31$), diabetes mellitus (42,9% vs. 51,9%; $p = 0,217$), enfermedad renal crónica (11,1% vs. 9,6%; $p = 0,521$) ni enfermedad hematológica (3,2% vs. 3,8%; $p = 0,615$). No obstante, se observó una mayor proporción de pacientes con antecedentes de tabaquismo en el grupo POST (30,8%) en comparación con el grupo PRE (14,3%), diferencia que resultó estadísticamente significativa ($p = 0,028$). Asimismo, la prevalencia de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) fue significativamente superior en el grupo POST (36,5% vs. 19,0%; $p = 0,029$). Las características basales se detallan en la tabla 6.

Tabla 6: Características generales de las cohortes PRE y POST.

	PRE n=63	POST n=52	p-value
Demográficas			
Edad, años	62 (46-76)	65 (57-73)	0,472
Sexo, femenino, n (%)	25 (39,7)	15 (28,8)	0,154
Hábitos tóxicos, n (%)			
Tabaquismo	9 (14,3)	16 (30,8)	0,028
Alcoholismo	10 (15,9)	11 (21,2)	0,31
Comorbilidades, n (%)			
EPOC	12 (19)	19 (36,5)	0,029
Diabetes Mellitus	27 (42,9)	27 (51,9)	0,217
Enfermedad renal crónica	7 (11,1)	5 (9,6)	0,521
Enfermedad hematológica	2 (3,2)	2 (3,8)	0,615

EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica). Datos expresados como frecuencias y porcentajes [n (%)] o medianas y percentil 25-75.

Los pacientes del grupo POST presentaron una tendencia a mayor gravedad clínica al ingreso, reflejada por una mediana del puntaje APACHE II más elevada (24 [17–30] vs. 19 [13–25] puntos), sin alcanzar una diferencia significativamente estadística ($p = 0,06$). La proporción de pacientes que requirió ventilación mecánica invasiva fue similar en ambos grupos (61,5% POST vs. 61,9% PRE; $p = 0,560$), así como la duración de la misma (mediana de 6,5 días vs. 6 días; $p = 0,823$).

No se observaron diferencias significativas entre los grupos en el uso de VMNI por IRA (75% PRE vs. 70% POST; $p = 0,583$) ni en días de uso. Tampoco se identificaron diferencias relevantes en el uso de CNAF por IRA ni por profilaxis, ni en la duración de estos tratamientos.

El uso de soporte vasoactivo fue significativamente mayor en el grupo POST (61,5% vs. 41,3%; $p = 0,024$), aunque no se hallaron diferencias en la dosis máxima administrada. No se encontraron diferencias en el uso de bloqueadores neuromusculares ni en su duración.

Aunque la indicación de RHB fue significativamente menor en el grupo POST (75%) en comparación con el grupo PRE (88,9%; $p = 0,044$), se encontró una diferencia significativa en la **realización de RHB siendo mayor en el grupo POST** (67,3% vs. 41,3%; $p = 0,005$).

La incidencia de úlceras por presión fue similar entre ambos grupos (27% PRE vs. 25% POST; $p = 0,490$). En cambio, el delirium fue significativamente más frecuente en el grupo PRE (7,9%) mientras que no se registraron casos en el grupo POST ($p = 0,046$). El uso de haloperidol no mostró diferencias significativas.

La mediana de días de estancia en UCI fue ligeramente mayor en el grupo POST (8 días [4–11,75]) en comparación con el grupo PRE (7 días [3–13]; $p = 0,029$). No se encontraron diferencias en la estancia hospitalaria total ni en la mortalidad entre los grupos.

Tabla 7: Características clínicas de la UCI de los pacientes PRE y POST.

	PRE n=63	POST n=52	p-value
APACHE II, puntos	19 (13-25)	24 (17-30)	0,06
Soporte ventilatorio en UCI			
VM, n (%)	39 (61,9)	32 (61,5)	0,560
Días de VM, días	6 (1-11)	6,50 (4,00-10,75)	0,823
VMNI por IRA, n (%)	9 (75)	7 (70)	0,583
Días de VMNI por IRA, días	1 (1-1)	1 (1-1)	0,120
CNAF por IRA, n (%)	9 (64,30)	15 (78,90)	0,293
Días de CNAF por IRA, días	4 (1,50-5,00)	3 (2-4)	0,862
VMNI por profilaxis, n (%)	5 (41,70)	4 (40)	0,639
Días de VMNI por profilaxis, días	2 (1-2,50)	1 (1-1)	0,099
CNAF por profilaxis, n (%)	7 (50)	7 (36,8)	0,344
Días de CNAF por profilaxis, días	2 (1-2)	2 (1-4)	0,231
Tratamientos en UCI			
Soporte vasoactivo, n (%)	26 (41,30)	32 (61,50)	0,024
Dosis máxima de soporte vasoactivo, mcg/min	9 (5,75-11,25)	7 (4,25-10,00)	0,453
HDFVVC, n (%)	1 (1,60)	1 (1,90)	0,702
Bloqueadores neuromusculares, n (%)	4 (6,30)	3 (5,80)	0,606
Días de bloqueadores neuromusculares, días	2,50 (0,50-6,75)	0	0,185
Haloperidol, n (%)	12 (19)	12 (23,1)	0,381
Variables relacionadas con la RHB			
Indicación RHB, n (%)	56 (88,9)	39 (75)	0,044
RHB durante UCI, n (%)	26 (41,3)	35 (67,30)	0,005
Complicaciones en UCI			
Úlceras, n (%)	17 (27)	13 (25)	0,490
Delirium, n (%)	5 (7,9)	0	0,046
Resultados UCI			
Días de estancia en UCI, días	7 (3-13)	8 (4-11,75)	0,029
Días de estancia hospitalaria, días	20 (12-37)	16 (11,25-33,75)	0,982
Mortalidad, n (%)	16 (25,40)	19 (36,50)	0,138

VM (Ventilación Mecánica), VMNI (Ventilación Mecánica No Invasiva), IRA (Insuficiencia Respiratoria Aguda), CNAF (Cánulas Nasales de Alto Flujo), HDFVVC (Hemodiafiltración Venovenosa Continua). Datos expresados como frecuencias y porcentajes [n (%)] o medianas y rangos intercuartílicos (25-75 percentil).

5.1.3 Características clínicas de los pacientes con indicación de RHB

De los 115 pacientes incluidos en el estudio, un total de 95 (82,61%) pacientes, tuvieron indicación de realizar RHB durante su ingreso en UCI, de los cuales 56 (59%) fueron del grupo PRE y 39 (41%) del grupo POST, como se indica en la figura 13.

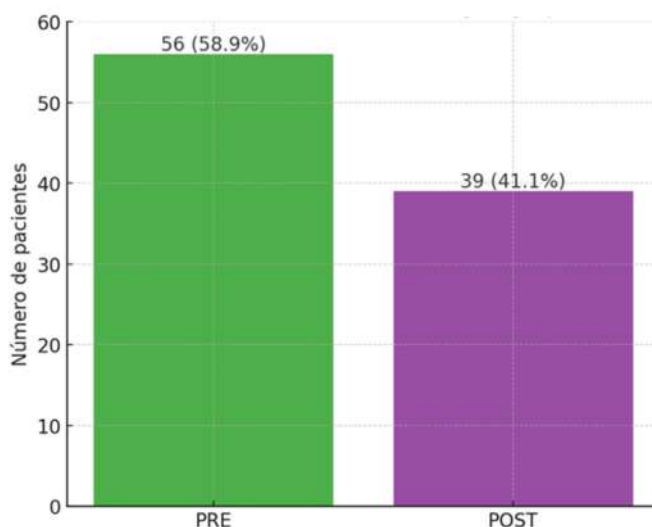


Fig. 13. Gráfico de barras indicando pacientes con indicación de RHB según grupo.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos en cuanto a la edad (mediana de 61 [46–74] años en PRE frente a 63 [55–69] años en POST; $p = 0,675$) ni en la distribución por sexo (mujeres: 35,7% vs. 25,6%; $p = 0,208$). La prevalencia de consumo de alcohol fue similar en ambos grupos (17,9%; $p = 0,599$). En cuanto a antecedentes clínicos, no se hallaron diferencias significativas en la frecuencia de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), diabetes mellitus, enfermedad renal crónica o enfermedad hematológica.

Sin embargo, se identificó una diferencia significativa en cuanto al tabaquismo activo, más frecuente en el grupo POST (30,8%) que en el grupo PRE (14,3%; $p = 0,047$).

Las características generales se presentan en la tabla 8.

Tabla 8: Características generales de las cohortes PRE y POST con indicación de RHB durante su ingreso en UCI.

	PRE n=56	POST n=39	p-value
Demográficas			
Edad, años	61 (46-74)	63 (55-69)	0,675
Sexo, femenino, n (%)	20 (35,70)	10 (25,60)	0,208
Hábitos tóxicos, n (%)			
Fumadores	8 (14,3)	12 (30,8)	0,047
Alcoholismo	10 (17,9)	7 (17,9)	0,599
Comorbilidades, n (%)			
EPOC	11 (19,6)	13 (33,3)	0,102
Diabetes Mellitus	23 (41,1)	21 (53,8)	0,154
Enfermedad renal crónica	5 (8,9)	1 (2,6)	0,209
Enfermedad hematológica	2 (3,6)	2 (5,1)	0,545

EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica) Datos expresados como frecuencias y porcentajes [n (%)] o medianas y rangos intercuartílicos (IQR o 25-75 percentil)

En el análisis de los pacientes con indicación de RHB durante su estancia en la UCI, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la puntuación de gravedad al ingreso según el índice APACHE II (mediana 21 en ambos grupos; $p = 0,751$). La necesidad de VM fue levemente mayor en el grupo PRE (66,1%) en comparación con el grupo POST (53,8%), aunque sin alcanzar significación estadística ($p = 0,162$). La duración de la VM fue similar entre ambos grupos.

En cuanto al uso de soporte respiratorio no invasivo, como la VMNI o las CNAF, no se encontraron diferencias relevantes en su utilización ni en la duración, tanto si se indicaron por IRA como con fines profilácticos. Tampoco se evidenciaron diferencias significativas en la administración de soporte vasoactivo ni en su dosis máxima.

Otros tratamientos complejos, como la HDFVVC y el uso de bloqueadores neuromusculares, fueron poco frecuentes y sin diferencias significativas entre los

grupos. La presencia de úlceras por presión o delirium tampoco varió de forma relevante, si bien el delirium solo se observó en el grupo PRE (8,9%), sin alcanzar la significación estadística ($p = 0,066$).

La proporción de pacientes que realizaron rehabilitación durante su estancia en la UCI fue mayor en el grupo POST, con un 89,7%, en comparación con el 46,4% del grupo PRE ($p < 0,001$), tal como se observa en la figura 14.

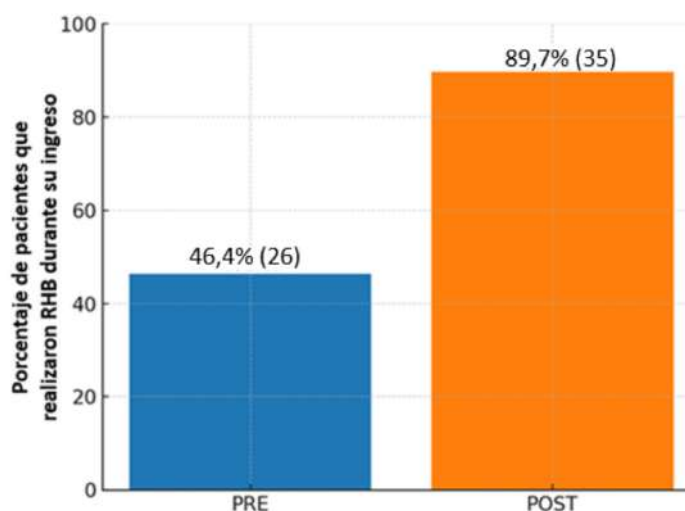


Fig. 14. Gráfico de barras indicando porcentaje de pacientes que realizaron RHB durante su ingreso en la UCI.

Respecto a los resultados clínicos, no se observaron diferencias en los días de estancia en UCI ni en la estancia hospitalaria total. Tampoco se registraron diferencias en la mortalidad hospitalaria entre ambos grupos (26,8% PRE vs. 23,1% POST; $p = 0,436$).

Las características clínicas las podemos observar en la tabla 9.

Tabla 9: Características clínicas de los pacientes PRE y POST con indicación de RHB durante su ingreso.

	PRE n=56	POST n=39	p-value
APACHE II, puntos	21 (13-26)	21 (15-28)	0,751
Soporte ventilatorio en UCI			
VM, n (%)	37 (66,10)	21 (53,80)	0,162
Días de VM, días	6 (2-12)	6 (4,00-11,50)	0,797
VMNI por IRA, n (%)	8 (72,70)	7 (70)	0,633
Días de VMNI por IRA, días	1 (1-1)	1 (1-4)	0,124
CNAF por IRA, n (%)	9 (64,30)	14 (77,80)	0,326
Días de CNAF por IRA, días	4 (1,50-5,00)	2.50 (1,75-4,25)	0,891
VMNI por profilaxis, n (%)	5 (45,50)	4 (40)	0,575
Días de VMNI por profilaxis, días	2 (1,00-2,50)	1 (1-1)	0,099
CNAF por profilaxis, n (%)	7 (50)	7 (38,90)	0,393
Días de CNAF por profilaxis, días	2 (1-2)	2 (1-4)	0,231
Tratamientos en UCI			
Soporte vasoactivo, n (%)	25 (44,60)	21 (53,80)	0,250
Dosis máxima de soporte vasoactivo mcg/ min	9 (5,50-11,50)	7 (3,00-9,50)	0,100
HDFVVC, n (%)	1 (1,80)	0	0,589
Bloqueadores neuromusculares, n (%)	4 (7,10)	1 (2,60)	0,313
Días de bloqueadores neuromusculares, días	2.50 (0,50-6,75)	0	0,456
Haloperidol, n (%)	11 (19,6)	11 (28,2)	0,233
Variables relacionadas con RHB			
RHB durante UCI	26 (46,40)	35 (89,70)	0,000
Complicaciones en UCI			
Úlceras	17 (30,40)	8 (20,50)	0,203
Delirium	5 (8,90)	0	0,066
Resultados UCI			
Días de estancia en UCI	8 (3-13)	8 (4-12)	0,826
Días de estancia hospitalaria	21 (14-40)	17 (12-42)	0,596
Mortalidad	15 (26,80)	9 (23,10)	0,436

VM (Ventilación Mecánica), VMNI (Ventilación Mecánica No Invasiva), IRA (Insuficiencia Respiratoria Aguda), CNAF (Cánulas Nasales de Alto Flujo), HDFVVC (Hemodiafiltración Venovenosa Continua). Datos expresados como frecuencias y porcentajes [n (%)] o medianas y rangos intercuartílicos (IQR o 25-75 percentil)

5.1.4 Análisis específico de los pacientes que realizaron RHB

De los 95 pacientes con indicación de RHB durante su ingreso en UCI un total de 61 pacientes recibieron RHB, de los cuales 26 (42,6%) fueron del grupo PRE y 35 (57,4%) del grupo POST.

Entre los pacientes que realizaron rehabilitación (RHB) durante su estancia en la UCI, no se observaron diferencias significativas entre los grupos PRE ($n = 26$) y POST ($n = 35$) en cuanto a la edad (mediana 63 años en ambos grupos; $p = 0,787$) ni en la proporción de mujeres (26,9% vs. 22,9%; $p = 0,471$). Tampoco se identificaron diferencias estadísticamente significativas en el consumo de alcohol (15,4% vs. 20,0%; $p = 0,454$), aunque se observó una mayor proporción de pacientes fumadores en el grupo POST (34,3%) frente al grupo PRE (15,4%), sin alcanzar significación estadística ($p = 0,085$).

Respecto a las comorbilidades, la prevalencia de enfermedad renal crónica y enfermedad hematológica fue baja y sin diferencias entre grupos. Sin embargo, se evidenció una diferencia significativa en la frecuencia de diabetes mellitus, más común en el grupo POST (51,4%) en comparación con el grupo PRE (26,9%; $p = 0,047$).

Las características generales de estos pacientes se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Características generales de las cohortes PRE y POST que realizaron RHB durante su ingreso en UCI.

	PRE n=26	POST n=35	p-value
Demográficas			
Edad, años	63 (46,50-74,75)	63 (55-69)	0,787
Sexo, femenino, n (%)	7 (26,90)	8 (22,90)	0,471
Hábitos tóxicos, n (%)			
Fumadores	4 (15,4)	12 (34,3)	0,085
Alcoholismo	4 (15,4)	7 (20)	0,454
Comorbilidades, n (%)			
EPOC	7 (26,92)	12 (34,29)	0,55
Diabetes Mellitus	7 (26,9)	18 (51,4)	0,047
Enfermedad renal crónica	2 (7,7)	1 (2,9)	0,388
Enfermedad hematológica	2 (7,7)	2 (5,7)	0,574

EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica). Datos expresados como frecuencias y porcentajes [n (%)] o medianas y rangos intercuartílicos (IQR o 25-75 percentil).

Entre los pacientes que realizaron rehabilitación durante su estancia en la UCI ($n = 61$), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la puntuación de APACHE II entre los grupos PRE y POST (mediana de 24 [18–29] vs. 22 [15–28]; $p = 0,309$).

Respecto a las características clínicas durante la estancia en UCI, el grupo PRE presentó una mayor proporción de pacientes sometidos a VM, con un 88,5% frente al 57,1% del grupo POST ($p = 0,008$). No se observaron diferencias significativas en la duración de la VM ni en el uso de VMNI o CNAF por IRA ni por indicación profiláctica.

El uso de soporte vasoactivo fue ligeramente más frecuente en el grupo PRE (65,4%) en comparación con el POST (57,1%), sin alcanzar significación estadística ($p = 0,351$). Tampoco se encontraron diferencias en la dosis máxima administrada ni en el uso de bloqueadores neuromusculares, aunque su uso fue más elevado en términos absolutos en el grupo PRE (11,5% vs. 2,9%). La aplicación de HDFVVC fue infrecuente en ambos grupos.

En cuanto a las complicaciones, se observó una mayor prevalencia de úlceras por presión en el grupo PRE (50%) en comparación con el POST (22,9%), diferencia que fue estadísticamente significativa ($p = 0,027$). La incidencia de delirium fue baja y no mostró diferencias relevantes entre grupos. El uso de haloperidol fue comparable (23,1% PRE vs. 25,7% POST).

Finalmente, en los resultados clínicos, se registró una estancia más prolongada en la UCI para el grupo PRE (mediana de 13 días [8–19,25]) frente al POST (9 días [4–13]; $p = 0,014$). La duración total de la hospitalización y la mortalidad no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

Las características clínicas de los pacientes que recibieron RHB se pueden observar en la tabla 11.

Tabla 11. Características generales de la UCI de los pacientes PRE y POST que realizaron RHB durante su ingreso.

	PRE n=26	POST n=35	p-value
APACHE II, puntos	24 (18-29)	22 (15-28)	0,309
Soporte ventilatorio en UCI			
VM, n (%)	23 (88,50)	20 (57,10)	0,008
Días de VM, días	10 (5-16)	6.50 (4,00-12,25)	0,144
VMNI por IRA, n (%)	5 (62,50)	7 (70)	0,563
Días de VMNI por IRA, días	1 (1,00-1,50)	1 (1-4)	0,151
CNAF por IRA, n (%)	4 (57,10)	13 (76,50)	0,318
Días de CNAF por IRA, días	3 (1,00-5,75)	3 (1,50-4,50)	0,855
VMNI por profilaxis, n (%)	5 (62,50)	4 (40)	0,319
Días de VMNI por profilaxis, días	2 (1,00-2,50)	1 (1-1)	0,099
CNAF por profilaxis, n (%)	5 (71,40)	7 (41,20)	0,185
Días de CNAF por profilaxis, días	2 (1-2)	2 (1-4)	0,160
Tratamientos en UCI			
Soporte vasoactivo, n (%)	17 (65,40)	20 (57,10)	0,351
Dosis máxima de soporte vasoactivo mcg/min	10 (5,50-12,50)	6,50 (3,00-9,75)	0,114
HDFVVC, n (%)	1 (3,80)	0	0,426
Bloqueadores neuromusculares, n (%)	3 (11,50)	1 (2,90)	0,203
Días de bloqueadores neuromusculares, días	3 (2)	0	0,363
Haloperidol	6 (23,10)	9 (25,70)	0,529
Complicaciones en UCI			
Úlceras, n (%)	13 (50)	8 (22,90)	0,027
Delirium, n (%)	2 (7,70)	0	0,178
Resultados UCI			
Días de estancia en UCI	13 (8,00-19,25)	9 (4-13)	0,014
Días de estancia hospitalaria	26 (16,75-51,00)	19 (12-56)	0,887
Mortalidad	11 (42,30)	9 (25,70)	0,138

VM (Ventilación Mecánica), VMNI (Ventilación Mecánica No Invasiva), IRA (Insuficiencia Respiratoria Aguda), CNAF (Cánulas Nasales de Alto Flujo), HDFVVC (Hemodiafiltración Venovenosa Continua). Datos expresados como frecuencias y porcentajes [n (%)] o medianas y rangos intercuartílicos (IQR o 25-75 percentil)

5.1.5 Evaluación de la Intervención

Las características relacionadas con la rehabilitación realizada en aquellos pacientes que realizaron RHB durante su ingreso en UCI, se muestran en la tabla 12.

En la comparación entre los grupos PRE (n=26) y POST (n=35), se observaron diferencias significativas en varias variables relacionadas con el inicio y el desarrollo del proceso de RHB.

En cuanto a las características básicas, el tiempo hasta el inicio de la RHB fue significativamente menor en el grupo POST [2 (1-4)] en comparación con el grupo PRE [4,5 (3-7)], con un valor de $p=0,008$. No se encontraron diferencias significativas en la duración total de la RHB (6,5 vs 6 días; $P=0.957$), aunque sí en el número de sesiones recibidas, siendo superior en el grupo POST (9vs5; $P=0,003$).

Respecto a los hitos rehabilitadores, se evidenció un aumento significativo en la realización de cambios posturales en el grupo POST (74,3% vs 46,2%; $P=0,024$). No obstante, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en las lateralizaciones en cama ni en la inclinación del cabezal. La movilización pasiva tendió a ser menor en el grupo POST, aunque sin alcanzar significación ($P=0,069$), mientras que la movilización activa fue más frecuente, aunque también sin alcanzar una diferencia significativa ($P=0,112$).

Se encontraron diferencias significativas en la realización de sedestación en cama (SD cama), siendo mayor en el grupo POST (51,4% vs 19,2%; $P=0,010$), y en sedestación en silla (65,7% vs 34,6%; $p=0,016$). También se incrementó la proporción de pacientes que realizaron bipedestación observando una diferencia significativa en el grupo POST (48,6% vs 19,2%; $P=0,017$).

Tabla 12. Características de RHB en las cohortes PRE y POST de los pacientes que realizaron RHB.

	PRE n=26	POST n=35	p-value
Características básicas			
Días hasta RHB, días	4,35 (3-7)	2 (1-4)	0,008
Días de RHB, días	6,50 (2,75-9,25)	6 (2-10)	0,957
Numero de sesiones de RHB, nº	5 (3,00-7,50)	9 (3-13)	0,003
RHB Hitos			
Cambios Posturales, nº	12 (46,20)	26 (74,30)	0,024
Lateralizaciones (Cama)	0 (0,00-0,25)	0	0,621
Lateralizaciones (Manual)	0 (0,00-2,00)	1 (0-5)	0,054
Cabezal	14,50 (9,75-25)	17 (7-22)	0,965
Movilización pasiva, nº	17 (65,40)	15 (42,90)	0,069
Días hasta Mov. Pasiva, días	4 (3-7)	4 (2-6)	0,591
Movilización activa, nº	19 (73,10)	31 (88,60)	0,112
Días hasta Mov. Activa, días	4 (0-8)	0 (0-6)	0,894
SD cama, nº	5 (19,20)	18 (51,40)	0,010
Días hasta SD cama, días	14 (9,50-16,00)	5 (3-10)	0,817
SD silla, nº	9 (34,60)	23 (65,70)	0,016
Días hasta SD silla, días	7 (3,50-15,00)	6 (3-10)	0,446
Bipedestación, nº	5 (19,2)	17 (48,60)	0,017
Días hasta bipedestación, días	6 (3-13,50)	5 (3-9)	0,675

SD (Sedestación). Datos expresados como frecuencias y porcentajes [n (%)] o medianas y rangos intercuartílicos (IQR o 25-75 percentil)

5.1.6 Difusión de resultados

Como parte de la difusión de los resultados obtenidos, se presentó una comunicación oral en el *42è Congrés de la Societat Catalana de Medicina Intensiva i Crítica*, celebrado el 18 de octubre de 2022 en la Fira de Sabadell. Además, se expusieron los hallazgos en formato póster durante el *35th Congress of the European Society of Intensive Care Medicine*, que tuvo lugar del 22 al 26 de octubre de 2022 en el Palais des Congrès – Porte Maillot, en París. Estas presentaciones

permitieron compartir los resultados con la comunidad científica, tanto a nivel nacional como internacional, favoreciendo el intercambio de conocimientos y la proyección del trabajo realizado.

5.1.7 Síntesis de los resultados

La implementación del protocolo de MP se asoció con un incremento significativo en la proporción de pacientes que realizaron rehabilitación, una reducción en el tiempo hasta su inicio y una mayor frecuencia de hitos funcionales alcanzados, como la sedestación y la bipedestación. Asimismo, se observó una disminución significativa en la incidencia de úlceras por presión y en la duración de la estancia en UCI entre los pacientes que realizaron RHB tras la implementación, sin impacto negativo en la mortalidad ni en la duración de la hospitalización. Estos hallazgos sugieren que la intervención fue factible, segura y con efectos clínicamente relevantes.

5.2 Creación de un protocolo de Movilización Precoz en la UCI

5.2.1 Protocolo

Como resultado del objetivo de crear e implementar un protocolo de MP en la UCI polivalente del Hospital del Mar de Barcelona, se desarrolló el siguiente documento, el cual fue aprobado por los órganos correspondientes y posteriormente integrado en la práctica clínica de la unidad. El protocolo fue el siguiente:



Medicina Intensiva

PROTOCOL MOBILITZACIÓ PRECOÇ

OBJECTIU:

Implementació d'un protocol de mobilització precoç en pacients crítics sotmesos a ventilació mecànica (VM) amb l'objectiu de disminuir la debilitat muscular adquirida a la Unitat de Cures Intensives (UCI) o ICU-AW (de l'anglès *Intensive Care Unit Acquired Weakness*) i el síndrome post-UCI (*post-intensive care syndrome*), ambdós secundaris al repòs.

ÀMBIT D'APLICACIÓ:

Servei de Medicina Intensiva de l'Hospital del Mar de Barcelona.

PROFESSIONALS IMPLICATS:

- Metges adjunts, residents, infermeria, auxiliars i lliterers del Servei de Medicina Intensiva de l'Hospital del Mar de Barcelona.
- Fisioterapeutes i Rehabilitadors del Servei de Rehabilitació de l'Hospital del Mar de Barcelona.

MATERIAL:

Grua i material annex a la grua (arnés), caminador.

INTRODUCCIÓ:

Els pacients crítics sovint precisen estratègies terapèutiques que inclouen aparells que supleixen funcions vitals com la respiració mitjançant la ventilació mecànica (VM). Múltiples factors com la inestabilitat hemodinàmica, l'alteració dels patrons del son, la presència de dispositius (catèters vasculars venosos o arterials, tub orotraqueal o TOT, etc) i la sedació per millorar la comoditat del pacient durant la VM, poden limitar la mobilització d'aquests pacients (Adler 2012). Les conseqüències del repòs al llit estan ben documentades i inclouen efectes adversos sobre el sistema cardiovascular (a través de la disminució de la capacitat funcional), el sistema respiratori (weaning difícils) i el sistema neuromuscular a través de l'ICU-AW (Koo 2011).



Medicina Intensiva

L'ICU-AW és un quadre clínic específic del pacient crític que es caracteritza per la debilitat clínicament identificada durant o rera una estada a la UCI sense cap altra causa coneguda excepte la malaltia aguda o el seu tractament (Hermans 2015). És una complicació habitual en pacients crítics amb malalties cròniques i està associada amb la durada prolongada de la VM (DeJonghe 2002), la sèpsia, la síndrome de resposta inflamatòria sistèmica, la disfunció multiorgànica i la hiperglicèmia (Desai 2011). La incidència de l'ICU-AW en la població de pacients crítics arriba al 46% en algunes sèries (IC del 95%: 43% a 49%) (Stevens 2007) i s'ha reportat la major pèrdua de massa corporal en la primera setmana d'ingrés a la UCI (Parry 2015; Puthuchearu 2013). L'ICU-AW també s'ha associat amb pitjors resultats clínics i majors costos relacionats amb l'assistència sanitària. La persistència de debilitat muscular es relaciona amb una major mortalitat un any després de l'ingrés a la UCI (Hermans 2014) i resulta de la combinació entre l'atrofia i la disminució de la capacitat de contracció muscular (Dos Santos 2016). D'una banda, la presència d'ICU-AW en pacients amb síndrome del destret respiratori agut (SDRA) o lesió pulmonar aguda s'associa amb una deficiència important en la condició física als dos anys. En aquest sentit, aquests pacients presenten diferències significatives en el test de la marxa de sis minuts (Crapo 2002) i en les puntuacions de l'enquesta SF-36 (Ware 1992) als 6, 12 i 24 mesos (Fan 2014). D'altra banda, també s'ha relacionat amb un augment de la mortalitat hospitalària (Ali 2008) i la persistència de debilitat es relaciona amb una major mortalitat un any després de l'ingrés a la UCI (Hermans 2014).

El terme "*post-intensive care syndrome*" s'utilitza per a descriure una entitat que engloba problemes nous o residuals que solen experimentar els supervivents a malalties crítiques que requereixen estades a la UCI. Aquests inclouen problemes cognitius (com la memòria, l'atenció i el funcionament executiu), dificultats psicològiques (com la depressió, l'ansietat i el trastorn d'estrès posttraumàtic) i les deficiències físiques en la funció pulmonar, neuromuscular i física (Needham 2012). Aquests problemes poden afectar el desenvolupament d'activitats bàsiques de la vida diària (ABVD) i comporten una disminució de la qualitat de vida d'aquestes persones. A més, es poden produir dificultats psicològiques similars en els familiars d'aquests pacients crítics (Needham 2012).

La immobilització prolongada és un dels factors de risc de l'ICU-AW i del *post-intensive care syndrome* (Hermans 2015), pel que la reducció de la seva durada s'ha suggerit com una de



Medicina Intensiva

les accions que es poden prendre per evitar-los (Hermans 2015). En els últims anys, la optimització de la sedació i del suport nutricional en els pacients ventilats a les nostres unitats (Kress 2000, Chlan 2010, Strøm 2011) ha permès que aquests estiguin més desperts i conscients i siguin més capaços de col·laborar i participar en exercicis actius, inclosiu fora del llit. A més, Bailey et al. al 2007, van demostrar que els esdeveniments adversos en pacients ventilats que es mobilitzaven eren molt infreqüents i va concloure que la mobilització precoç dels pacients a la UCI és factible i segura. A més, els efectes beneficiosos de l'entrenament i l'exercici en els pacients crítics són molt extensos i poden incloure millores en la funció muscular esquelètica, la respiració (augment del volum corrent i de la capacitat de transport d'oxigen) i la funció cardiovascular (inclosa la prevenció de la disfunció diastòlica relacionada amb l'edat i la disminució de l'estrès oxidatiu, Gielen 2010). Per ajudar a avaluar la disponibilitat i l'adequació dels pacients per iniciar aquesta mobilització precoç un panell d'experts multidisciplinars va arribar a un consens sobre recomanacions de seguretat relatives a factors respiratoris, cardiovasculars, neurològics, mèdics o quirúrgics (Hodgson 2014).

En aquest context, des de la nostra Unitat s'ha impulsat l'elaboració d'aquest protocol, creat des d'una base multidisciplinar, que podrà donar resposta a aquesta problemàtica que pateixen els nostres pacients donat que la prevenció o la reducció de l'impacte de l'ICU-AW i del *post-intensive care syndrome* poden tenir efectes beneficiosos sobre la funció i la qualitat de vida dels pacients en les setmanes, mesos i anys posteriors a l'ingrés de la UCI.

DEFINICIÓ:

La mobilització precoç del pacient crític es basa en un conjunt de moviments planificats i amb una progressió determinada, començant pels moviments que el pacient és capaç de fer, amb l'objectiu de tornar a l'estatus inicial abans de l'ingrés a la UCI. Aquests moviments inclouen l'elevació del capçal, canvis posturals, exercicis passius i posteriorment actius en el llit, sedestació a la vora del llit, sedestació a la cadira i deambulació (Vollman K.M. Critical Care Nurse 2010).



Medicina Intensiva

DESCRIPCIÓ DEL PROCEDIMENT:

Un equip multidisciplinari que inclourà metges intensivistes i rehabilitadors, fisioterapeutes i infermeres d'UCI realitzarà una ronda setmanal a peu de llit per a comentar l'estat motor i respiratori dels pacients. Aquest equip serà l'encarregat de decidir la inclusió dels pacients al protocol en les primeres 24 hores d'ingrés i es revalorarà cada 24 hores en cas que inicialment presenti criteris d'exclusió. El metge responsable del pacient així com els membres encarregats de dur a terme el protocol en cada pacient revisaran a diari els criteris d'exclusió i/o els d'interrupció del protocol. Els dies laborables es comptarà amb el suport d'un fisioterapeuta 6 hores al dia i d'un lliterer de presència física a la unitat. Segons les característiques dels pacients i el seu suport familiar, es valorarà també la formació dels familiars en determinats exercicis per a que puguin assistir als pacients durant els dies festius.

- Criteris d'inclusió:
Pacients ventilats amb previsió de més de 48 hores de connexió a la VM amb un índex de Barthel ≥ 70 i que compleixi criteris d'estabilitat clínica (Taula 1).
- Criteris d'exclusió:
Limitació del tractament de suport vital (LTSV), lesió medul·lar, índex de massa corporal (IMC) > 45 , via aèria no segura, amputació d'alguna extremitat inferior, traumatisme craneoencefàlic (TCE) greu, accident vascular cerebral (AVC), fractura de pelvis.
- Criteris d'interrupció del protocol: algun dels criteris d'inestabilitat clínica (Taula 1).

PROTOCOL:

El protocol consta de cinc nivells (Taula 2). Un cop el pacient compleixi els criteris d'inclusió i no presenti cap criteri d'exclusió, entrarà al nivell 1 del protocol. Cada nivell té un objectiu final que un cop assolit, permetrà el pas al següent nivell. La persona responsable de decidir l'assoliment dels objectius i el pas entre nivells és el fisioterapeuta o rehabilitador.



Medicina Intensiva

Tot seguit es descriuen els procediments a realitzar a cada nivell:

- **Nivell 1:** en el primer nivell es realitzen mobilitzacions passives de les extremitats per part del fisioterapeuta (dos cops al dia), canvis posturals cada 4 hores i sedestació al llit en posició de cadira (70°) dos cops al dia. En aquest nivell el malalt encara està sedat o sota els efectes de la sedació i per tant, ventilat. L'objectiu final d'aquest nivell és arribar a l'estabilitat clínica del pacient, a la retirada de la sedació i al seu despertar.
- **Nivell 2:** a partir del segon nivell el pacient ja està conscient, independentment de si està o no connectat a la VM. Es continua amb els canvis posturals cada 4 hores, la sedestació al llit en posició de cadira (70°) dos cops al dia i s'afegeixen exercicis actius-assistits i/o actius de les extremitats dos cops al dia. L'objectiu final d'aquest nivell és que el pacient aconsegueixi fer moviments actius contra gravetat de les extremitats superiors.
- **Nivell 3:** al tercer nivell es continua amb els canvis posturals que seran assistits pel pacient cada 4 hores, exercicis actius-assistits i/o actius de les extremitats i s'introdueixen exercicis de control del tronc i sedestació a la vora del llit (dos cops al dia) enlloc de sedestació al llit en posició de cadira. L'objectiu final d'aquest nivell és augmentar la força del tronc i moure les extremitats inferiors contra gravetat.
- **Nivell 4:** al quart nivell es continuen els exercicis actius-assistits i/o actius de les extremitats i els exercicis de control del tronc. La sedestació es realitza a la cadira mitjançant la grua (transferència passiva) dos cops al dia i s'inicia l'entrenament de la bipedestació. L'objectiu final d'aquest nivell serà la tolerància del pes corporal i la sedestació a la cadira.
- **Nivell 5:** al cinquè nivell es continua amb els exercicis actius-assistits i/o actius de les extremitats i la sedestació a la cadira es fa de manera activa (transferència activa mitjançant la bipedestació/deambulació amb ajuda de la grua) dos cops al dia. S'afegeix en aquest nivell la marxa i la deambulació mitjançant l'ajuda de la grua, dos cops al dia, i la realització de les activitats de la vida diària. L'objectiu final d'aquest nivell serà la deambulació i la millora en la realització de les activitats de la vida diària.



Medicina Intensiva

ACTUACIÓ D'INFERMERIA

La infermera responsable del malalt, haurà de tenir cura en tot moment dels dispositius que porti el pacient, posant especial atenció en aquells que comprometin la via aèria, i donarà suport durant la mobilització. És molt important pendre les precaucions necessàries abans de realitzar la mobilització del pacient, independentment del nivell en el que es trobi el malalt. Així doncs, en aquest sentit caldrà:

Abans de la mobilització:

- Comprovar l'estat hemodinàmic del pacient: presa de tensió arterial (TA) i freqüència cardíaca (FC)
- Comprovar la funció respiratòria: correcta fixació del tub orotraqueal (TOT) o traqueostomia, inflat del baló de pneumotaponament i aspiració de secrecions si es necessari. Valoració conjunta amb el metge responsable de la necessitat d'incrementar FiO₂, i/o de canviar la modalitat ventilatoria si escau.
- Valorar el dolor: s'utilitzarà l'escala EVA o l'ESCID (Escala Campbell modificada) en el cas del pacient ventilat. Administració de l'analgèsia necessària, tant en les mobilitzacions passives, en el exercicis actius, com en la sedestació i en la deambulació. És molt important un bon control de dolor.

Durant la mobilització:

- Tenir cura en tot moment dels dispositius que porta el pacient, posant especial atenció als que comportin un risc vital pel malalt, com és el TOT, els catèters venosos i/o arterials, sondes, drenatges...
- Monitoritzar la TA, la FC, la freqüència respiratòria (FR) i la saturació d'oxigen mesurada per pulsioximetria (SpO₂) durant tota l'activitat. En la deambulació no cal monitoritzar de manera rutinària als pacients. En aquest cas l'activitat i la seva intensitat es guiaran segons la clínica del pacient.
- Donar el recolzament que sigui necessari en cada activitat a la resta de l'equip.

Després de la mobilització:

- Monitoritzar de nou TA, FC, FR i SpO₂.



Medicina Intensiva

- Verificar la correcta col·locació de tots els dispositius (TOT, catèters, sonda nasogàstrica...)

INTERVENCIONS D'INFERMERIA:

- **Nivell 1:** canvis posturals cada 4 hores i sedestació al llit en posició de cadira (70°) dos cops al dia durant 30 minuts.
- **Nivell 2:** canvis posturals cada 4 hores, sedestació al llit en posició de cadira (70°) dos cops al dia durant 30 minuts.
- **Nivell 3:** canvis posturals assistits pel pacient cada 4 hores i sedestació a la vora del llit (dos cops al dia) enlloc de sedestació al llit en posició de cadira.
- **Nivell 4:** canvis posturals assistits pel pacient cada 4 hores, sedestació a la cadira mitjançant la grua (transferència passiva) dos cops al dia.
- **Nivell 5:** canvis posturals assistits pel pacient cada 4 hores, sedestació a la cadira de manera activa (transferència activa mitjançant la bipedestació/deambulació amb ajuda de la grua) dos cops al dia, ajuda i/o suport en l'entrenament de la bipedestació i de la marxa (mitjançant l'ajuda de la grua) dos cops al dia i ajuda en la realització de les activitats de la vida diària.



Medicina Intensiva

CRITERIS D'INCLUSIÓ		
Índex de <u>Barthel</u> ≥ 70	VM > 48H	Estabilitat clínica
<ul style="list-style-type: none">✓ <u>Hemodinàmia</u>: TAM > 65mmHg, NA < 0,2 µg/kg/min i/o DBT < 8 µg/kg/min✓ <u>Respiratori</u>: via aèria assegurada, PaFIO2 >200 amb FIO2 <50% i PEEP <12✓ <u>Neurològic</u>: control agitació✓ <u>Infecció</u>s: Tª < 38°C		

CRITERIS D'EXCLUSIÓ:
<ul style="list-style-type: none">• Limitació del tractament de suport vital (LTSV)• Lesió medul·lar• IMC > 45• Via aèria no segura• Amputació EEII• TCE o AVC• Fractura pelvis

CRITERIS D'INTERRUPCIÓ DEL PROTOCOL			
<u>Hemodinàmia</u>	<u>Respiratori</u>	<u>Neurològic</u>	<u>Infecció</u> s
<ul style="list-style-type: none">• TAM < 65mmHg o > 100mmHg• NA > 0,2 µg/kg/min• DBT > 8 µg/kg/min• TAS > 200mmHg• FC < 40bpm o > 130bpm	<ul style="list-style-type: none">• FR < 5rpm o > 40rpm• SpO2 < 88%• PaFIO2 < 200• Desadaptació del respirador	<ul style="list-style-type: none">• Agitació que precisa de medicació de rescat en els últims 30 <u>mins</u>	<ul style="list-style-type: none">• Tª < 38°C

TAULA 1. Criteris d'inclusió, d'exclusió i d'interrupció del protocol



Medicina Intensiva

Revalorar c/24h

NIVELL I	NIVELL II	NIVELL III	NIVELL IV	NIVELL V
Inconscient	Conscient	Conscient	Conscient	Conscient
Mobilitzacions passives de les extremitats (2 cops al dia)	Exercicis actius-assistits i actius de les extremitats	Exercicis actius-assistits, actius i resistits de les extremitats	Exercicis actius-assistits, actius i resistits de les extremitats	Exercicis actius-assistits, actius i resistits de les extremitats
Canvis posturals c/4h	Canvis posturals c/4h	Canvis posturals assistits pel malalt c/4h		
Sedestació al llit: posició de cadira a 70º (2 cops al dia)	Sedestació al llit: posició de cadira a 70º (2 cops al dia)	Sedestació a vora del llit (2 cops al dia)	Sedestació en cadira: transferència passiva (2 cops al dia)	Sedestació en cadira: Transferència passiva i activa (2 cops al dia)
		Exercicis de control del tronc	Exercicis de control del tronc	
			Entrenament de la bipedestació	
				Deambulació
Objectiu: <ul style="list-style-type: none">Estabilitat clínicaSTOP sedació i despertar del pacient	Objectiu: <ul style="list-style-type: none">Moviments actius contra gravetat de les EESS	Objectiu: <ul style="list-style-type: none">↑ la força del troncMoviments actius contra gravetat de les EEI	Objectiu: <ul style="list-style-type: none">Tolerància del pes corporalSedestació a la cadira	Objectiu: <ul style="list-style-type: none">DeambulacióActivitats de la vida diària

TAULA 2. Nivells del protocol de mobilització precoç



Medicina Intensiva

Escala de Barthel

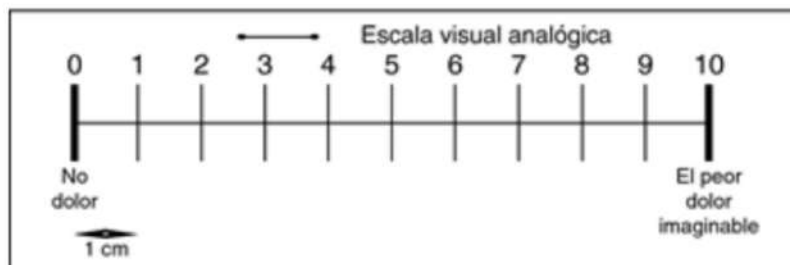
Actividad	Descripción	Puntaje
Comer	1. Incapaz	0
	2. Necesita ayuda para cortar, extender mantequilla, usar condimentos, etc.	5
	3. Independiente (la comida está al alcance de la mano)	10
Trasladarse entre la silla y la cama	1. Incapaz, no se mantiene sentado	0
	2. Necesita ayuda importante (1 persona entrenada o 2 personas), puede estar sentado	5
	3. Necesita algo de ayuda (una pequeña ayuda física o ayuda verbal)	10
	4. Independiente	15
Aseo personal	1. Necesita ayuda con el aseo personal	0
	2. Independiente para lavarse la cara, las manos y los dientes, peinarse y afeitarse	5
Uso del retrete	1. Dependiente	0
	2. Necesita alguna ayuda, pero puede hacer algo solo	5
	3. Independiente (entrar y salir, limpiarse y vestirse)	10
Bañarse o Ducharse	1. Dependiente	0
	2. Independiente para bañarse o ducharse	5
Desplazarse	1. Inmóvil	0
	2. Independiente en silla de ruedas en 50 m	5
	3. Anda con pequeña ayuda de una persona (física o verbal)	10
	4. Independiente al menos 50 m, con cualquier tipo de muleta, excepto andador	15
Subir y bajar escaleras	1. Incapaz	0
	2. Necesita ayuda física o verbal, puede llevar cualquier tipo de muleta	5
	3. Independiente para subir y bajar	10
Vestirse y desvestirse	1. Dependiente	0
	2. Necesita ayuda, pero puede hacer la mitad aproximadamente, sin ayuda	5
	3. Independiente, incluyendo botones, cremalleras, cordones, etc.	10
Control de heces	1. Incontinente (o necesita que le suministren enema)	0
	2. Accidente excepcional (uno/semana)	5
	3. Continente	10
Control de orina	1. Incontinente, o sondado incapaz de cambiarse la bolsa	0
	2. Accidente excepcional (máximo uno/24 horas)	5
	3. Continente, durante al menos 7 días	10

<20 dependencia total, 20-35 dependencia severa, 40-55 dependencia moderada, 60-95 dependencia lleu, 100 independencia



Medicina Intensiva

Escala EVA



Escala ESCID

	1	2	3
Musculatura facial	Relaxada	En tensió, celles arrufades i/o gayota de dolor	Celles arrufades de forma habitual i/o dents apretades
Tranquil·litat	Tranquil, relaxat, moviments normals	Moviments ocasionals d'inquietud i/o de posició	Moviments freqüents incloent cap o extremitats
To muscular	Normal	Augmentat, flexió de dits mans i/o peus	Rígid
Resposta verbal	Normal	Queixes, plors o grunys ocasionals	Queixes, plors o grunys freqüents
Adaptació a la ventilació mecànica (VM)	Tolerant la VM	Tus, però tolera la VM	Lluita amb el respirador
Confortabilitat	Confortable i/o tranquil	Es tranquil·litza amb el tacte i/o la veu	Difícil de confortar amb el tacte o parlant-li

0 No dolor 1-3 Dolor lleu/moderat 4-6 Dolor moderat/greu >6 Dolor molt intens

5.2.2 Síntesis de los resultados

Como resultado del proceso de análisis, diseño y validación, se desarrolló e implementó un protocolo asistencial estructurado de MP en la UCI polivalente del Hospital del Mar de Barcelona. El protocolo, elaborado por un equipo interdisciplinar, fue aprobado oficialmente por los órganos correspondientes del centro y se integró en la práctica clínica habitual. Su contenido contempla niveles progresivos de intervención, criterios clínicos definidos, roles asistenciales asignados y recursos específicos destinados a garantizar una movilización segura y eficaz del paciente crítico. La implementación incluyó una fase piloto, formación específica por perfiles profesionales y un sistema de evaluación continua que permitió ajustes operativos para optimizar su aplicación.

5.3 Implementación de un programa piloto de cicloergometría asociada a realidad 360° en pacientes críticos

5.3.1 Búsqueda bibliográfica

Como parte del desarrollo del objetivo secundario 2, se llevó a cabo una búsqueda sistemática de literatura en la base de datos PubMed, centrada en intervenciones innovadoras relacionadas con la MP en pacientes críticos ingresados en unidades de cuidados intensivos (UCI). La búsqueda se restringió a artículos publicados entre el 21 de junio de 2013 y el 21 de junio de 2023, y utilizó la siguiente estrategia:

("Critical Illness"[MeSH] OR "Intensive Care Units"[MeSH] OR "critical care" OR "ICU") AND

("Early Ambulation"[MeSH] OR "early mobilization" OR "mobilization" OR "rehabilitation") AND

("virtual reality" OR "VR" OR "bedside cycling" OR "cycle ergometry" OR "neuromuscular stimulation" OR "electrical stimulation" OR "technology" OR "rehabilitation program")

AND ("2013/06/21"[Date - Publication] : "2023/06/21"[Date - Publication])

Esta estrategia devolvió un total de 876 artículos. A partir de esta base, se seleccionaron aquellos estudios que aportaban evidencia sobre el uso de herramientas emergentes como la cicloergometría o la RV en el contexto de los cuidados intensivos, priorizando ensayos clínicos, estudios piloto y revisiones sistemáticas con implicaciones prácticas para la implementación de programas de MP en UCI. Los principales hallazgos de esta revisión se presentan a continuación.

5.3.1.1 Introducción

En la última década se habían explorado enfoques novedosos para la MP y rehabilitación de pacientes críticos en UCI, incorporando tecnologías emergentes como la RV y la cicloergometría (bicicleta estática adaptada). Numerosos estudios científicos (2013–2023) habían evaluado la factibilidad, seguridad y eficacia de estas intervenciones innovadoras. A continuación se sintetizan los resultados más representativos, incluyendo título del trabajo, autores, año, revista y principales hallazgos, agrupados por tipo de intervención.

5.3.1.2 Realidad Virtual y Entornos Interactivos

- “The Feasibility and Acceptability of Virtual Therapy Environments for Early ICU Mobilization” – Parke et al., 2020 (PM&R). Estudio observacional en 20 pacientes adultos de UCI usando un sistema de rehabilitación con juegos de movimiento por sensor Kinect (Jintronix). Hallazgos: La terapia basada en VR (del inglés virtual reality) fue factible y segura; no se observaron eventos adversos (caídas, retiradas de catéteres) durante sesiones de ~30 minutos. Los pacientes completaron una media de 9 módulos de ejercicio (hasta 14 máximos) y reportaron alta satisfacción: la gran mayoría encontró la actividad agradable, cómoda y motivadora, percibiendo mejoría en rango de movimiento y fuerza. El estudio concluye que el uso de un entorno virtual de rehabilitación en UCI es viable y bien aceptado por los pacientes, mejorando su motivación para movilizarse.
- “Rehabilitation Through Virtual Reality: Physical Activity of Patients Admitted to the ICU” – Gomes et al., 2019 (Rev. Bras. Ter. Intensiva). Ensayo en 60 pacientes de UCI utilizando videojuegos de interacción física (Nintendo Wii™). Hallazgos: Las sesiones de “ejercicio virtual” se realizaron con intensi-

dad leve a moderada según la escala de Borg, sin complicaciones reportadas. La mayoría de pacientes expresó deseo de continuar usando el videojuego como complemento a la fisioterapia tradicional, indicando que la VR lúdica puede aumentar el compromiso y participación en la movilización temprana.

- “Virtual Reality-Based Early Neurocognitive Stimulation in Critically Ill Patients: A Pilot RCT” – Navarra-Ventura et al., 2021 (Journal of Personalized Medicine). Ensayo clínico aleatorizado piloto (Hospital Parc Taulí, España) con 72 pacientes críticos ventilados, que evaluó una intervención neurocognitiva con VR no inmersiva vs. cuidado habitual. Hallazgos: A 1 mes post-UCI, el grupo VR mostró mejor recuperación cognitiva: puntuaciones superiores de memoria de trabajo ($p = 0,009$) y hasta un 50% menos de síntomas de ansiedad y depresión inespecíficos comparado con el grupo control. No se observaron efectos adversos graves. Los autores sugieren que la estimulación temprana mediante VR mejora los resultados neurocognitivos a corto plazo en sobrevivientes de UCI, con beneficios mantenidos en cierta medida en el largo plazo. Esto apunta a la VR como herramienta prometedora para abordar el componente cognitivo del síndrome post-UCI.
- Cabe señalar que una revisión sistemática reciente (Kanschik et al., 2023) destacó el creciente interés por VR/ AR (del inglés, augmented reality) en medicina intensiva. Aunque se han demostrado beneficios en dolor, delirium y entrenamiento de pacientes y personal, la evidencia sobre resultados clínicos duros aún es limitada. Los estudios son heterogéneos y mayormente de pequeña escala, por lo que se recomienda combinar las aplicaciones VR/AR con rehabilitación tradicional para lograr el mayor efecto posible.

5.3.1.3 Ejercicio Asistido: Cicloergometría y Estimulación Muscular

- “Effect of In-Bed Leg Cycling and Electrical Stimulation of the Quadriceps on Global Muscle Strength in Critically Ill Adults: A RCT” – Fossat et al., 2018 (JAMA). Ensayo multicéntrico ($n=314$) que evaluó si agregar cicloergometría pasiva/activa en cama + estimulación eléctrica muscular (EMS) a la rehabilitación estándar mejoraba la fuerza muscular global al alta de UCI. Hallazgos: La intervención fue segura (sin aumentar eventos adversos), pero no logró mejoras significativas en la fuerza muscular global al alta de UCI respecto al cuidado usual. En concreto, no hubo diferencias en el puntaje de fuerza

muscular (MRC) ni en la recuperación funcional temprana. Este resultado sugiere que el ciclodaleo con EMS, aunque factible, no proporciona beneficios adicionales inmediatos sobre la debilidad adquirida del paciente crítico más allá de la movilización convencional.

- “Functional Electrical Stimulation In-Bed Cycle Ergometry in Mechanically Ventilated Patients: A Multicentre RCT” – Berney et al., 2021 (Thorax). Ensayo en varios centros que examinó el efecto de combinar cicloergómetro de pierna con EMS funcional vs. rehabilitación estándar en pacientes con fallo respiratorio agudo. Hallazgos: En línea con Fossat et al., no se observaron mejoras clínicamente significativas a largo plazo. A 6 meses post-UCI, los pacientes que recibieron el ciclo con estimulación no mostraron mejoría sustancial en fuerza muscular, capacidad funcional o calidad de vida frente al grupo control. Aunque diversos estudios robustos han demostrado que la cicloergometría precoz es una intervención segura y factible, incluso en pacientes sedados, la evidencia actual no permite establecer con claridad su efectividad clínica añadida sobre la recuperación funcional cuando se incorpora a protocolos de movilización ya existentes. Estos resultados reflejan más una falta de evidencia concluyente que una ausencia de beneficio, lo que subraya la necesidad de investigaciones adicionales bien diseñadas. En este sentido, las guías recientes enfatizan continuar priorizando la movilización activa progresiva convencional, reservando dispositivos como la bicicleta asistida solo cuando la movilización manual tradicional no sea viable (por ejemplo, en pacientes muy inestables o limitaciones de personal).

5.3.1.4 Estrategias Innovadoras de Movilización Precoz

- “Early, Goal-Directed Mobilisation in the Surgical ICU: A RCT” – Schaller et al., 2016 (Lancet). Ensayo aleatorizado multicéntrico (5 UCI quirúrgicas, n=200) que probó un protocolo estructurado de movilización temprana guiada por objetivos (SOMS score) mediante un equipo interdisciplinario, vs. cuidado estándar. Hallazgos: La movilización intensiva dirigida logró mejorar significativamente el nivel de movilidad en UCI (SOMS promedio 2.2 vs 1.5 en control, $p<0.0001$). Además, redujo la estancia en UCI (7 días vs 10 días, $p=0.0054$) e incrementó la independencia funcional al alta hospitalaria (medida por mmFIM, 8 vs 5 puntos, $p=0.0002$). No se detectaron efectos adversos serios relacionados (aunque sí más eventos menores, sin consecuencias). Este es-

tudio pionero demostró que un enfoque agresivo pero protocolizado de MP acelera la recuperación funcional sin comprometer la seguridad del paciente crítico postquirúrgico.

- “Early Active Mobilization during Mechanical Ventilation in the ICU (TEAM trial)” – Hodgson et al., 2022 (NEJM). Gran ensayo aleatorizado internacional (n≈750) que comparó una estrategia de movilización muy activa desde el inicio (fisioterapia diaria intensiva + minimización de sedación) contra el cuidado usual en pacientes con VM. Hallazgos: A los 180 días, no hubo diferencias significativas en el desenlace primario de días vivos y fuera del hospital entre el grupo de movilización intensiva y el grupo control. Es decir, incrementar más la movilización temprana (sobre una base donde el control ya recibía rehabilitación estándar de alta calidad) no mejoró la supervivencia libre de hospitalización a largo plazo. Además, el grupo de intervención presentó más eventos adversos relacionados a la movilización (p. ej., retirada accidental de tubos, hipotensión), aunque ninguno fatal. Este resultado negativo (sumado a consideraciones como niveles de sedación similares en ambos grupos) sugiere que podrían existir límites en la intensidad/precocidad de la movilización que se traducen en beneficio, reforzando la importancia de individualizar el abordaje. A pesar de ello, el conjunto de evidencia sostiene que la MP, realizada de forma segura, sigue siendo esencial para prevenir secuelas físicas y cognitivas, si bien la dosis óptima y el balance riesgo-beneficio requieren más investigación.

5.3.1.5 Conclusiones

En resumen, de 2013 a 2023 la literatura reflejó un esfuerzo por humanizar y mejorar la rehabilitación en UCI mediante terapias innovadoras. La RV emergía como herramienta complementaria, mostrando alta aceptabilidad y potencial para mejorar la participación del paciente, aliviar síntomas psicológicos (ansiedad, dolor) y hasta promover mejor recuperación cognitiva precoz. Por su parte, la cicloergometría (con o sin EMS) había demostrado ser factible y segura incluso en pacientes críticos sedados, aunque los beneficios funcionales añadidos sobre protocolos de movilización convencionales habían sido modestos o no significativos en estudios clínicos rigurosos. Programas estructurados de movilización interdisciplinaria habían conseguido acortar la estancia en UCI y mejorar la autonomía al alta en poblaciones seleccionadas, pero los ensayos más

recientes indicaban que simplemente “más movilización temprana” no siempre conllevaba mejores desenlaces a largo plazo si la terapia estándar ya era óptima. En conjunto, estos hallazgos enfatizaban la necesidad de un equilibrio entre innovación tecnológica y cuidados tradicionales: las tecnologías emergentes eran prometedoras y debían integrarse como adyuvantes (no reemplazos) de la fisioterapia intensiva, personalizando las intervenciones según la condición del paciente. Futuras investigaciones debían determinar cómo optimizar estas nuevas estrategias de rehabilitación para maximizar la recuperación física y neurocognitiva de los pacientes críticos, sin aumentar riesgos, en el contexto de una UCI moderna y humanizada.

Fruto de esta búsqueda bibliográfica se decidió que la cicloergometría y la RI podían ser dos intervenciones asociadas a la MP que podríamos implementar a corto plazo en nuestra unidad. Su elección respondió tanto a su viabilidad técnica como al alineamiento con los objetivos de humanización y rehabilitación precoz del paciente crítico. De este modo, se sentaron las bases para el desarrollo de un programa piloto que integrara ambas estrategias, con el fin de explorar su aplicabilidad clínica y su impacto potencial en la recuperación funcional y emocional en un entorno de cuidados intensivos.

5.3.2 Adquisición de materiales y colaboración

Para la implementación de la intervención combinada de cicloergometría y RI en la UCI, se establecieron colaboraciones estratégicas con proveedores especializados que permitieron disponer de los recursos técnicos adecuados.

Respecto a la cicloergometría, tras identificar diversos modelos adaptados para uso en decúbito y compatibles con las camas de pacientes críticos, se seleccionó el dispositivo **THERA-Trainer bemo 618** (Hochdorf, Alemania), diseñado específicamente para movilización temprana en pacientes encamados. Se contactó con la empresa THERA-Trainer presentando el proyecto y la capacidad investigadora del equipo clínico para evaluar la efectividad de esta tecnología en el contexto crítico. Como resultado, se consiguió la cesión temporal del cicloergómetro para su uso en la UCI, inicialmente durante una semana para pruebas técnicas preliminares, y posteriormente extendida para un estudio clínico. Así pues, tras varias reuniones de trabajo con representantes de THERA-Trainer para formalizar un acuerdo de colaboración, se detallaron aspectos técnicos,

logísticos y éticos relacionados con la cesión del cicloergómetro, la duración del préstamo, y el diseño del estudio clínico que evaluaría la intervención en pacientes críticos. El acuerdo contempló la cesión prolongada del dispositivo, con el compromiso del equipo clínico de llevar a cabo evaluaciones sistemáticas de la seguridad, tolerancia y efectividad de la terapia combinada con RI.

Paralelamente, se exploró la incorporación de la RI para mejorar la experiencia y motivación del paciente durante la movilización. Se estableció una colaboración con el startup **Reality Telling (Barcelona, Spain)**, especializada en contenidos audiovisuales en formato 360° para entornos hospitalarios. La empresa se comprometió a desarrollar cinco vídeos personalizados que simularan paseos en bicicleta por diversos paisajes reconocibles y relajantes de Barcelona y sus alrededores, diseñados para ser reproducidos durante las sesiones de cicloergometría con unas gafas de RV Oculus Meta Quest 2 (Meta Platforms, Inc, CA, USA) que fueron financiadas por el Servicio de Medicina Intensiva del Hospital del Mar.

Esta colaboración interdisciplinaria entre el equipo sanitario y las empresas tecnológicas fue fundamental para asegurar tanto la disponibilidad del equipamiento físico como la creación de contenidos audiovisuales adaptados, estableciendo las bases para la intervención piloto.

5.3.3 Evaluación de factibilidad e implementación

Antes de iniciar la intervención combinada de cicloergometría y RI en UCI, se llevó a cabo una evaluación detallada de su factibilidad técnica, clínica y organizativa. Este análisis consideró aspectos clave como el espacio físico disponible en la unidad, la compatibilidad eléctrica y estructural de los equipos, los protocolos de limpieza y desinfección, así como la seguridad en la instalación y manipulación del material.

La prueba técnica preliminar se realizó con el dispositivo THERA-Trainer, evaluando su integración en camas hospitalarias, su maniobrabilidad en un entorno crítico y su adaptación al espacio de trabajo clínico. No se detectaron incidencias relevantes durante su uso inicial con un paciente estable, lo que permitió confirmar su idoneidad técnica.

Uno de los principales desafíos detectados fue la gestión del espacio para el almacenamiento y uso del cicloergómetro. Al tratarse de un equipo no plegable y de dimensiones considerables, se identificó que la UCI no disponía de una ubicación asignada para guardarlo. Tras reuniones con la supervisión de enfermería y el equipo de gestión, se optó por reubicar otras estructuras y designar la zona de almacenamiento de camas hospitalarias como espacio fijo para el dispositivo, garantizando su accesibilidad y protección.

En paralelo, y con los materiales disponibles, se procedió a planificar la integración operativa de la intervención en la rutina asistencial de la unidad. Para minimizar la sobrecarga del personal, se definió que el fisioterapeuta asignado a la UCI asumiría la responsabilidad completa de la terapia, incluyendo instalación, monitorización, retirada y limpieza del equipo.

La formación técnica proporcionada por el proveedor fue limitada a aspectos básicos, sin incluir simulaciones clínicas. Por ello, el equipo de fisioterapia y enfermería realizó sesiones internas de familiarización. Durante estas prácticas, se ensayaron el montaje y desmontaje del cicloergómetro, la adaptación a distintas posiciones del paciente y la monitorización de parámetros clínicos simulados. Esta autoformación fue clave para consolidar la confianza del equipo y reducir los tiempos de preparación en condiciones reales.

Asimismo, se elaboraron protocolos internos de higiene específicos para el dispositivo, en consonancia con los estándares de limpieza en entornos críticos. Estos incluían las soluciones desinfectantes adecuadas y las pautas de limpieza antes y después de cada uso, minimizando el riesgo de contaminación cruzada.

Finalmente, se iniciaron las gestiones administrativas necesarias: se presentó el proyecto a la dirección de la UCI y se solicitó la aprobación al Comité de Ética. Superada esta fase, y definidos los criterios clínicos de inclusión y exclusión de pacientes —coherentes con el protocolo general de MP—, se establecieron las condiciones para la fase piloto.

Para garantizar la seguridad y eficacia de la intervención, se definieron criterios clínicos específicos basados en el protocolo vigente de MP, adaptados a las exigencias técnicas de la cicloergometría y la RI:

Criterios de inclusión:

- Nivel de conciencia suficiente para interactuar o tolerar estímulos visuales.
- Estabilidad hemodinámica sin necesidad de ajustes frecuentes de soporte vasoactivo.
- Ausencia de contraindicaciones musculoesqueléticas (fracturas inestables, lesiones articulares graves, patologías neuromusculares).

Criterios de exclusión:

- Sedación profunda o agitación no controlada.
- Inestabilidad clínica o pronóstico vital inminente.
- Delirium hiperactivo incompatible con la tolerancia a la RI.
- Contraindicaciones visuales o rechazo al uso de gafas de RV.

La evaluación individual diaria del equipo de fisioterapia, junto con médicos y enfermería, aseguró que la terapia se aplicara en condiciones óptimas.

5.3.4 Fase Piloto de evaluación clínica y operativa**5.3.4.1 Evaluación inicial de la cicloergometría**

La intervención se inició con la aplicación de cicloergometría sin RI en dos pacientes críticos seleccionados según los criterios de inclusión establecidos. Ambos presentaban estabilidad clínica y nivel de conciencia suficiente para colaborar con la intervención. Las sesiones se desarrollaron sin incidencias ni complicaciones relevantes, y la tolerancia fisiológica fue adecuada en todos los casos.



Fig 15: Paciente realizando Cicloergometría en la UCI

Durante estas sesiones se evaluaron parámetros como la duración óptima del ejercicio, la respuesta hemodinámica, la fatiga percibida y la adaptación postural. Además, se identificaron oportunidades de mejora en aspectos técnicos como el ajuste del equipo a distintas configuraciones de cama y la necesidad de preparación previa del entorno físico para facilitar la movilización.

Esta primera experiencia clínica validó la seguridad y viabilidad de la cicloergometría como herramienta de MP en el entorno de cuidados críticos, reforzando su integración como estrategia complementaria dentro del protocolo de la unidad.

5.3.4.2 Implementación de la intervención combinada con realidad inmersiva

Una vez finalizada la validación técnica inicial, se incorporó la RI como elemento complementario a la cicloergometría. Para ello, se desarrolló un vídeo piloto en formato 360° que simulaba un recorrido ciclista desde el Hospital del Mar hasta el Hotel W, atravesando el paseo marítimo de Barcelona. Este contenido audiovisual fue diseñado específicamente para su uso hospitalario, e incluyó

medidas de higiene, duración controlada (~15 minutos) y estimulación sensorial adaptada.

La intervención combinada se aplicó en tres pacientes adicionales que cumplían los criterios clínicos de inclusión. Durante las sesiones, los pacientes utilizaron gafas de RV mientras pedaleaban con el cicloergómetro en posición semiincorporada. La postura habitual fue decúbito con cabecera elevada a 30°.



Fig 16: Paciente en la UCI realizando cicloergometría con RI.

Durante las primeras aplicaciones se detectó un problema técnico relacionado con el ángulo de visión: la perspectiva del vídeo no coincidía con la línea de mirada real de los pacientes, generando una sensación antinatural de estar observando desde una altura elevada. Esta limitación fue resuelta mediante la reorientación del eje visual del vídeo, lo que permitió lograr una experiencia inmersiva más realista y satisfactoria.

En todos los casos, la intervención fue bien tolerada, sin eventos adversos ni reacciones negativas asociadas al uso de las gafas. El fisioterapeuta monitorizó

signos vitales, expresión facial, interacción y respuestas emocionales durante toda la sesión.

A nivel operativo, la intervención fue valorada positivamente por los profesionales sanitarios. Aunque en las primeras sesiones se requirió más tiempo de preparación, la progresiva familiarización con el procedimiento permitió optimizar los tiempos y minimizar la carga asistencial. La percepción general del equipo fue favorable, destacando el componente humanizador de la experiencia y el potencial de motivación que ofrecía a los pacientes.

5.3.4.3 Ajustes y aprendizajes derivados de la fase piloto

La fase piloto permitió realizar ajustes relevantes en el protocolo inicial, tales como:

- Establecer una duración estándar de las sesiones (15–20 minutos).
- Mejorar la coordinación previa entre profesionales para preparar el entorno.
- Redefinir el posicionamiento del paciente y el ángulo visual del contenido inmersivo.
- Confirmar que el fisioterapeuta debía asumir el control completo del proceso para garantizar fluidez y seguridad.

En conjunto, los resultados de esta etapa exploratoria apoyaron la seguridad, factibilidad y buena aceptación clínica de la intervención combinada, sentando las bases para su implementación estructurada y el diseño de futuros estudios clínicos controlados.

5.3.5 Difusión de resultados

Como parte de la estrategia de difusión institucional del proyecto piloto de movilización temprana basada en cicloergometría combinada con realidad inmersiva, el *Hospital del Mar* publicó una nota de prensa oficial en su sitio web corporativo. Este comunicado permitió visibilizar el carácter innovador y humanizador de la intervención, destacando la colaboración entre el equipo de

medicina intensiva, fisioterapia y empresas tecnológicas y audiovisuales locales. Junto a la nota, se difundió un vídeo institucional en el canal oficial de YouTube del hospital, en el que se muestran imágenes reales de la intervención y testimonios del equipo clínico implicado.

El lanzamiento institucional tuvo repercusión en diversos medios de comunicación escritos, digitales y televisivos, tanto de ámbito local como nacional. Las principales apariciones fueron las siguientes (ver Anexo 1):

- **Hospital del Mar** – Nota de prensa oficial (21/12/2021)
- **Hospital del Mar – YouTube** – Vídeo institucional (21/12/2021)
- **20 Minutos** – *Bicicleta y realidad virtual para facilitar la recuperación de pacientes en la UCI* (21/12/2021)
- **Crónica Global** – *El Hospital del Mar incorpora la bicicleta y la realidad virtual en la rehabilitación de la UCI* (21/12/2021)
- **InnoHealth Academy** – *Bicycle and virtual reality to facilitate the recovery of patients in the ICU* (22/12/2021)
- **La República.cat** – *L'Hospital del Mar combina bicicleta i realitat virtual per facilitar la recuperació dels pacients a l'UCI* (22/12/2021)
- **RTVE Noticias** – Reportaje audiovisual difundido en redes sociales y canales informativos (28/12/2021)
- **Telecinco Noticias** – Cobertura en informativo nacional (29/12/2021)
- **Betevé** – Emisión sobre innovación sanitaria (30/12/2021)

Estas acciones no solo permitieron dar a conocer el trabajo del equipo multidisciplinar implicado, sino que también ayudaron a posicionar la UCI como un entorno de innovación clínica comprometido con la mejora de la calidad de vida del paciente crítico. Asimismo, reforzaron el valor del trabajo colaborativo entre instituciones sanitarias y empresas tecnológicas para el desarrollo de terapias más humanas y personalizadas.

5.3.6 Síntesis de los resultados

El desarrollo de este objetivo permitió crear, implementar y evaluar de forma preliminar un programa innovador de MP basado en la combinación de cicloergometría y RI en pacientes críticos. A partir de una revisión sistemática de literatura, se identificaron estas tecnologías como intervenciones emergentes

con potencial terapéutico y alineadas con los principios de humanización del entorno de cuidados intensivos.

La adquisición de equipamiento especializado y la colaboración con empresas de equipamientos, tecnológicas y audiovisuales posibilitaron la generación de contenidos adaptados al contexto clínico, así como la integración operativa de la intervención en la dinámica asistencial habitual. La evaluación de factibilidad técnica, organizativa y clínica mostró que era posible aplicar este tipo de terapia en un entorno real de UCI sin comprometer la seguridad del paciente ni aumentar la carga asistencial del equipo.

La fase piloto, realizada en cinco pacientes, permitió validar la intervención combinada y ajustar aspectos clave del protocolo, como la orientación visual del contenido inmersivo, la duración óptima de las sesiones y la coordinación del equipo interdisciplinar. La experiencia fue bien tolerada, con buena aceptación tanto por parte de los pacientes como del personal sanitario, destacándose su componente motivacional y humanizador.

En conjunto, la experiencia adquirida a lo largo de este proceso constituyó la base metodológica y conceptual sobre la cual se diseñó el estudio clínico aleatorizado presentado en el Objetivo Secundario 3, orientado a evaluar formalmente el impacto clínico y emocional de esta intervención innovadora en pacientes críticos.

5.4 Estudio 2: Diseño de un ensayo clínico aleatorizado para evaluar el impacto de la cicloergometría asociada a realidad 360° en pacientes graves

5.4.1 Diseño del Estudio

Estudio prospectivo, aleatorizado controlado y multicéntrico que se realizará en las UCI médico-quirúrgicas polivalentes de los Servicios de Medicina Intensiva del Hospital del Mar (Barcelona, Spain) y del Hospital Universitario Doctor Josep Trueta (Girona, Spain), contando en el caso del Hospital del Mar con la colaboración del Servicio de Medicina Física y Rehabilitación.

5.4.2 Población y periodo de estudio

Para el estudio se incluirán un total de 60 pacientes que se aleatorizarán. La aleatorización se realizará mediante sobres opacos cerrados, sin estratificación, con secuencia generada aleatoriamente por un investigador externo, en tres grupos diferentes con una ratio 1:1:1 (20 pacientes por grupo): grupo control (CTL), grupo intervención con cicloergómetro (CE) y grupo intervención con cicloergómetro más realidad 360° (CE+360).

Criterios de inclusión

Los pacientes a estudio deberán cumplir los siguientes criterios para ser incluidos en el estudio:

- Ingreso en UCI con necesidad de VM durante su ingreso.
- Inclusión en el programa de MP en las últimas 24 horas.
- Estar conscientes y con capacidad suficiente para responder preguntas.
- Firma del consentimiento informado

Criterios de exclusión

- Edad inferior a 18 años.
- Pacientes neurocríticos o con imposibilidad de realizar la terapia con cicloergometría por cualquier motivo.

5.4.3 Intervención

Los pacientes incluidos en el estudio que cumplan todos los criterios de inclusión y ninguno de exclusión, serán aleatorizados en alguno de los grupos de estudio definidos, CTL, CE o CE+360. En todos los grupos de intervención, ésta se realizará todos los días laborables durante 15 minutos. En todos los casos la situación clínica del paciente será valorada diariamente y se llevarán a cabo las

evaluaciones pertinentes según protocolo después de cada intervención. Las estrategias a implementar en cada grupo serán:

1) Grupo control (CTL):

Este grupo realizará la intervención descrita en el protocolo de MP de la UCI del Hospital del Mar.

2) Cicloergómetro (CE):

Durante la intervención los pacientes llevarán a cabo sesiones de terapia física guiadas por un fisioterapeuta con un cicloergómetro THERA-Trainer bemo 618 (Hochdorf, Alemania).

3) Cicloergómetro más realidad 360° (CE+360):

Durante la intervención los pacientes llevarán a cabo sesiones de terapia física con cicloergometría idénticas al grupo CE, añadiendo la visualización de videos de RI mediante unas gafas de realidad 360° durante el tratamiento (Oculus Quest II, Reality labs, Estados Unidos). El contenido de los videos incluirá hasta 4 paseos por diferentes lugares de la ciudad de Barcelona (las ramblas de Cataluña, paseo marítimo de Barcelona, la carretera de les Aigües, port vell de Barcelona). Los videos de contenido inmersivo han sido generados y editados por Reality Telling (Barcelona, Spain) en colaboración con el equipo de MP del Hospital del Mar.

5.4.4 Recogida de Datos

Para la recogida prospectiva de información clínica se realizará una base de datos que incluirá variables generales al ingreso en la UCI, como antecedentes clínicos, presencia de comorbilidades, hábitos tóxicos, datos demográficos y cronológicos; sexo y edad, índice de masa corporal (IMC), puntaje APACHE II como índice de gravedad, motivo del ingreso y tiempos y modalidades ventilatorias durante el ingreso. Antes y después de todas las intervenciones se recogerán datos como el peso, la modalidad ventilatoria, variables relacionadas con la ventilación, así como constantes vitales (tensión arterial, frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno, FiO₂). Además, se

realizará el MRC scale, la escala de Borg (Disnea y fatiga) y se cumplimentará el cuestionario validado del bienestar subjetivo (Subjective well-being o SWB). Al final de la intervención, se pasará el cuestionario WHO-5 well-being (estados afectivos de los participantes durante el tiempo que estuvieron expuestos a la intervención).

En el marco del estudio, se utilizará una codificación temporal para distinguir los días previos (D) de los días durante la intervención (E), siendo “D” los días antes de iniciar la intervención, y “E” los días en los que se aplica esta.

Además, a los pacientes potenciales a ser incluidos en el estudio, en las primeras 24-48 horas y posteriormente cada 7 días, se les realizará una ecografía muscular de cuádriceps con recolección de una serie de variables, una vez incluidos en el estudio, se les realizará una ecografía pre intervención los días E1, E7 y E14. La ecografía se realizará siempre en la misma localización, midiendo el punto que quede en el tercio distal de la distancia entre el borde superior de la rótula y la espina ilíaca antero-superior. Las variables ecográficas evaluadas serán el área, el grosor y la ecogenicidad del musculo recto anterior. Además, también se recogerá el perímetro muscular, que se medirá en el punto en el que se realice la ecografía. La ecografía será realizada por observadores con entrenamiento específico.

También, los días de la intervención E1, E7 y E14, antes e inmediatamente después de la intervención y 45 minutos post intervención se obtendrá una muestra de saliva para analizar los cambios metabólicos relacionados con el estrés mediante la determinación de metabolitos del eje HPA (cortisol, cortisona y metabolitos) y asociados con el bienestar y la depresión mediante la determinación de metabolitos del metabolismo del triptófano (serotonina, melatonina, quinurenina y metabolitos).

Por último, al alta del paciente, se le volverá a realizar el MRC Scale, una ecografía muscular de cuádriceps del recto anterior, se medirá el perímetro muscular y se le pasará el test SWB.

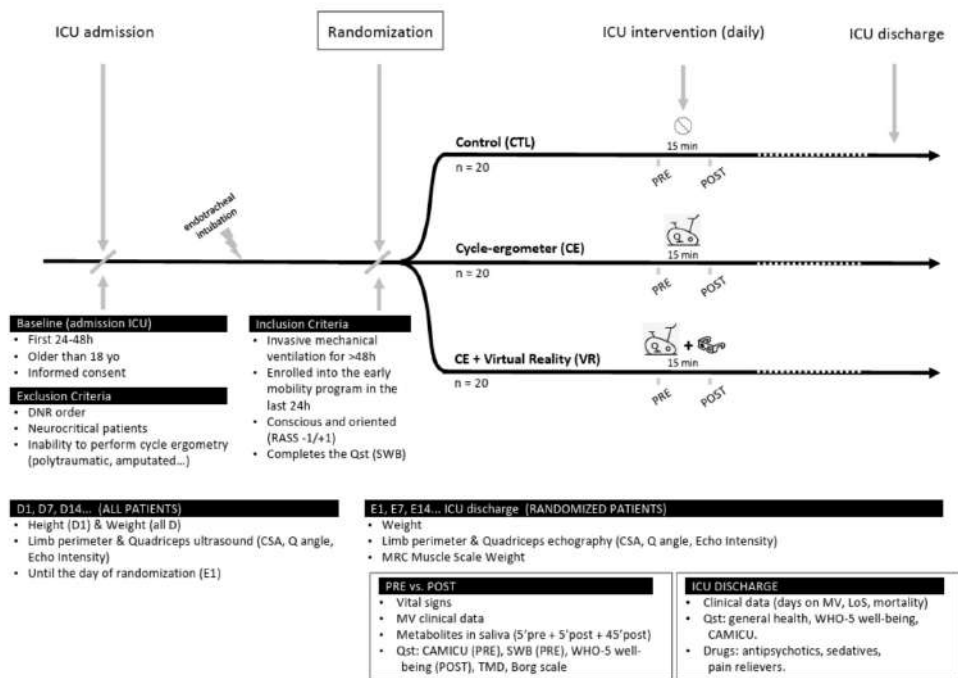


Fig. 17. Diseño del ensayo clínico aleatorizado para evaluar el impacto de la cicloergometría asociada a realidad 360° en pacientes graves ingresados en la misma UCI

5.4.5 Análisis Estadístico

La distribución de variables continuas se explorará mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Las variables continuas se expresarán como media y desviación estándar (DE) y mediana percentiles 25 y 75. Las variables cualitativas se expresarán en números absolutos y porcentajes. Se utilizarán las pruebas de χ^2 y Fisher o la prueba t de Student y Mann-Whitney para analizar las diferencias entre grupos. Las correlaciones serán evaluadas por Pearson o Spearman. Todos los datos se analizarán utilizando SPSS (versión 22.0). Las comparaciones serán estadísticamente significativas a un nivel de significancia $p < 0,05$.

Para calcular el tamaño muestral del estudio se utilizaron los días de VM entre el grupo de intervención y el de no intervención (CTL frente a CE+360). Aceptando un riesgo alfa de 0,05 y un riesgo beta de 0,2 en una prueba bilateral, se necesitan 20 sujetos en el primer grupo y 20 en el segundo para reconocer como estadísticamente significativa una diferencia mayor o igual a 3 unidades (días). Se ha previsto una tasa de abandono del 0,05%. Para el cálculo de estos datos se ha utilizado la aproximación ARCSINUS.

5.4.6 Aspectos Éticos

Antes de ingresar en el estudio, se entregará y se solicitará que firmen el consentimiento informado a todos los pacientes, si el paciente no pudiera firmarlo, se le pediría al tutor legal. Durante el estudio se seguirán las directrices nacionales (Código deontológico del Colegio Oficial de Médicos) e internacionales en este respecto (Declaración de Helsinki Fortaleza, Brasil, Octubre 2013). Se garantizará la confidencialidad de los datos de acuerdo con la normativa vigente: Ley Orgánica 3/2018, de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales y Reglamento (UE) n° 2016/679 del Parlamento europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016 de Protección de Datos (RGPD). El presente proyecto obtuvo la aprobación del Comité de Ética e Investigación Clínica (CEIC) del PSMAR (Número de CEIC: 2021/9974/I).

5.4.7 Síntesis de resultados

Este objetivo se centró en el diseño de un ensayo clínico aleatorizado y controlado, concebido para evaluar de manera rigurosa el impacto de una intervención combinada de cicloergometría y RI en pacientes críticos ingresados en UCI. La propuesta metodológica se fundamentó en la experiencia previa adquirida durante la fase piloto del proyecto, así como en los conocimientos consolidados por el equipo investigador en programas de MP.

El protocolo resultante destaca por su enfoque multidimensional, integrando la evaluación funcional, emocional y fisiológica de los pacientes mediante escalas clínicas, pruebas de imagen (ecografía muscular) y análisis de biomarcadores salivales. Esta aproximación integral fue posible gracias al carácter interdisciplinar del equipo promotor, que incorpora experticia en cuidados intensivos, fisioterapia, medicina física, salud pública, metabolómica y humanización del entorno asistencial.

El diseño contempla tres ramas de intervención que permitirán comparar los efectos relativos de la movilización convencional, la cicloergometría y su combinación con RI. La metodología empleada, así como los criterios éticos y logísticos establecidos, garantizan la robustez y viabilidad del estudio.

En conjunto, este trabajo representa un avance relevante en la investigación clínica orientada a mejorar la recuperación funcional y el bienestar emocional de los pacientes críticos, y sienta las bases para una futura integración de tecnologías innovadoras en la práctica asistencial habitual de las unidades de cuidados intensivos.

Aunque el presente trabajo se centró en el diseño del ensayo clínico, en el momento de cierre de la presente tesis doctoral ya se había iniciado la fase de reclutamiento y aplicación de las primeras intervenciones. Dichos resultados han sido presentados en los siguientes congresos:

- *45è Congrés anual de la Societat Catalana de Medicina Intensiva i Crítica*, celebrado en Món Sant Benet el 13 de marzo de 2025.
- *I Congreso sobre el Síndrome Post Cuidados Intensivos*, celebrado en el Hospital del Mar (Barcelona), del 27 al 29 de noviembre de 2024.



DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

6.1 Implementación de un protocolo de Movilización Precoz en la UCI

La implementación de un protocolo de MP en la UCI del Hospital del Mar representó un punto de inflexión en la rehabilitación de pacientes críticos. A partir de su instauración, se observó un cambio notable tanto en la práctica clínica diaria como en la percepción del equipo asistencial sobre la importancia de la movilidad funcional durante la fase aguda del ingreso en cuidados intensivos.

La movilización pasó a formar parte de la rutina asistencial. Prácticamente todos los pacientes comenzaron a recibir intervención fisioterapéutica, se incrementaron de forma significativa las interconsultas al servicio de Rehabilitación, y la movilización dejó de ser una acción puntual para convertirse en un proceso progresivo y estructurado.

Desde una perspectiva cuantitativa, y en base a dos grupos comparables a nivel basal, se observó una reducción significativa en el tiempo transcurrido hasta el inicio de la rehabilitación (RHB), que pasó de una mediana de 4 días en el grupo ingresado en UCI antes de la implementación del protocolo a solo 2 días en el grupo ingresado tras su implementación. Esta diferencia no solo fue estadísticamente significativa ($p = 0,008$), sino también clínicamente relevante, ya que un inicio más precoz de la RHB se ha asociado con mejores desenlaces funcionales y menor incidencia de complicaciones secundarias al reposo prolongado. Además, los pacientes del grupo POST recibieron un mayor número de sesiones de RHB durante su estancia en UCI (mediana de 9 sesiones frente a 5 en el grupo PRE; $p = 0,003$), lo que refleja una implementación estructurada y sistemática del protocolo. Estos resultados refuerzan la hipótesis de que la MP no solo acelera el inicio de la rehabilitación, sino que también permite una mayor continuidad y frecuencia de las intervenciones, aspectos clave para optimizar la recuperación funcional en pacientes críticos [49].

Asimismo, la implementación del protocolo de MP se asoció con una mejora significativa en diversos parámetros funcionales. En primer lugar, se observó un aumento considerable en el porcentaje de pacientes que alcanzaban la sedestación y la bipedestación durante su ingreso en UCI, pasando de una frecuencia anecdótica previa a la implementación del protocolo a más del 70% de

los pacientes intervenidos. Esta mejora fue especialmente notable en pacientes no autónomos, gracias al uso sistemático de dispositivos como grúas de bipedestación y transferencias asistidas, que permitieron iniciar la bipedestación incluso en pacientes con VMI.

Además de una mayor frecuencia de sedestación y deambulación, también aumentó la atención a aspectos básicos como los cambios posturales y la inclinación adecuada del cabezal de la cama, prácticas antes poco sistematizadas. Estos elementos, aunque menos visibles, son fundamentales para prevenir complicaciones como la neumonía asociada a la VM o úlceras por presión, y constituyen un indicador de calidad asistencial. Además, no solo impactó positivamente en los pacientes, sino también en sus familiares, que comenzaron a percibir una recuperación más activa y visible. En particular, la imagen de un paciente crítico que deambula o se sienta en la UCI desafía la idea tradicional de inmovilidad absoluta en estos contextos, contribuyendo a un mayor compromiso emocional y psicológico con el proceso de recuperación.

En relación con la VM, también se evidenció una mejora sustancial observándose una disminución del porcentaje de pacientes con necesidad de VM (88% vs 57%) así como en su duración media, reduciéndose aproximadamente un 20% respecto al grupo PRE, lo que sugiere una mayor eficacia en el proceso de weaning.

En términos de equipo asistencial, la adopción del protocolo presentó algunos desafíos iniciales. Uno de ellos fue la movilización de pacientes, percibida por parte del personal de enfermería como una tarea compleja y, en algunos casos, fuera del alcance habitual de sus funciones, especialmente cuando implicaba sacar al paciente de la cama. En situaciones como la movilización de pacientes intubados, predominaba una percepción de riesgo que generaba cautela. Con el tiempo, el papel activo del fisioterapeuta fue clave para acompañar al equipo, generar confianza, ofrecer formación práctica y demostrar los beneficios clínicos de la movilización temprana. Esto contribuyó a fortalecer una cultura de trabajo interdisciplinar más integrada. Enfermeras y TCAE comenzaron a consultar activamente con los fisioterapeutas sobre las opciones de movilización, y los médicos evolucionaron hacia una participación más proactiva, solicitando interconsultas de forma autónoma y colaborativa.

La implementación del protocolo permitió optimizar la intervención fisioterapéutica en la UCI, incorporando estrategias como la bipedestación, los cambios posturales sistemáticos y una mayor frecuencia en las sedestaciones, incluso en personas en situación clínica estable. Estas acciones favorecieron una movilización más temprana y continuada, adaptada a la condición de cada persona usuaria, contribuyendo a un menor riesgo de DAUCI, PICS, úlceras por presión e infecciones respiratorias.

Los beneficios observados fueron tanto cualitativos como cuantitativos. Aunque el estudio no midió formalmente la estancia hospitalaria ni el seguimiento postalta, se documentaron mejoras en la estancia en UCI, la necesidad y el tiempo de VM. La recuperación funcional de los pacientes fue más rápida y eficiente, y, aunque no cuantificada en este trabajo, se presume que esto también podría tener un impacto positivo en la calidad de vida tras el alta y en la carga rehabilitadora posterior.

Estos hallazgos son consistentes con la literatura científica existente. Diversos estudios han demostrado que la MP reduce la duración de la estancia en UCI, la dependencia funcional al alta, la incidencia de delirium y el riesgo de PICS. Por ejemplo, la revisión sistemática de Zhang et al. (2022) concluye que la MP reduce significativamente la duración de la VM y la estancia en UCI, y mejora la puntuación en escalas funcionales al alta en pacientes críticos [133]. Además, si observamos recientes estudios, un reciente meta-análisis de 2025 confirmó que la rehabilitación precoz en pacientes ingresados en UCI bajo VM se asocia a mejores resultados funcionales, reducción del tiempo en VM y menor incidencia de complicaciones como el delirium y la DAUCI, así como también una reducción de estancia en UCI y en el hospital [134].

Además, los resultados cualitativos recabados durante el desarrollo del protocolo, incluyendo la percepción del equipo asistencial y de las familias, constituyen un hallazgo de alto valor clínico. La transformación cultural progresiva de la UCI, de un enfoque centrado en la estabilidad orgánica aislada hacia un modelo integrador que contempla la funcionalidad, representa uno de los logros más significativos de esta intervención.

Por último, uno de los aspectos más destacables del presente estudio es la relación favorable entre los recursos requeridos y los beneficios clínicos, fun-

cionales y organizativos obtenidos. La MP representa una intervención de bajo coste relativo, integrable en la práctica asistencial habitual, y con un impacto directo en parámetros clínicos clave como la duración de la VM, la estancia en UCI o la recuperación funcional de los pacientes.

Desde el punto de vista estructural, la implementación del protocolo implicó una ampliación de los recursos humanos específicamente destinados a la UCI, lo que permitió garantizar la continuidad y sistematización de las intervenciones de rehabilitación sin comprometer otras áreas del servicio. Esta inversión se tradujo en una mejora notable de la capacidad operativa del equipo de fisioterapia y en una mayor frecuencia de sesiones por paciente, con los consiguientes beneficios clínicos ya comentados.

En este contexto, los beneficios observados; como la reducción de días de encamamiento, de VM y la posible prevención de complicaciones como la DAUCI o el delirium, se traducen en una importante eficiencia asistencial y un ahorro indirecto considerable para el sistema sanitario [135].

En definitiva, el protocolo de MP presenta un perfil de coste-efectividad muy favorable, lo que refuerza su viabilidad y su potencial de replicabilidad en otros centros, incluso en aquellos con recursos limitados. Su éxito radica en una planificación adecuada, la formación del equipo y el compromiso institucional para incorporar estrategias centradas en la funcionalidad y la recuperación precoz del paciente crítico.

En definitiva, la implementación del protocolo de MP permitió institucionalizar una intervención clínica eficaz, de bajo coste y alto impacto, integrando al fisioterapeuta como figura clave en el equipo multidisciplinar de la UCI. Su presencia continua, así como su rol formador y motor del cambio cultural, fueron determinantes para el éxito de esta intervención.

6.2 Implementación de un programa piloto de cicloergometría asociada a realidad 360° en pacientes críticos

La creación e implementación de un programa piloto de cicloergometría asociada a realidad 360° en pacientes críticos en la UCI representa un avance relevante hacia la integración de estrategias y tecnologías emergentes en la

MP. Los resultados obtenidos en esta fase exploratoria confirman la factibilidad técnica, clínica y organizativa de esta intervención combinada en un entorno de cuidados intensivos, sin comprometer la seguridad del paciente ni aumentar de forma significativa la carga asistencial del equipo sanitario.

En primer lugar, se constató que la factibilidad técnica y organizativa de una intervención de estas características en un entorno tan complejo como la UCI es posible, siempre que exista una planificación minuciosa y una coordinación efectiva entre los distintos profesionales implicados. Este hallazgo coincide con lo reportado por Parke et al. (2020), quienes demostraron la viabilidad y buena aceptación de sistemas de RV en pacientes críticos sin que se produjeran eventos adversos. La experiencia en nuestra unidad reforzó esta evidencia, mostrando que, aun en condiciones reales, es posible integrar tecnologías emergentes sin interferir con la seguridad clínica ni con el flujo asistencial [136].

Uno de los aspectos más destacados fue la integración de la RI como herramienta motivacional y humanizadora. A diferencia de otras formas de estimulación pasiva, el uso de vídeos 360° adaptados al entorno cultural y emocional del paciente permitió no solo mejorar la experiencia subjetiva durante la movilización, sino también fomentar una mayor conexión del paciente con el entorno y consigo mismo. Esta dimensión, a menudo menos abordada en los protocolos tradicionales, puede tener un impacto positivo sobre síntomas frecuentes en UCI como la ansiedad, el aislamiento emocional y el delirium.

La experiencia piloto también arrojó importantes aprendizajes operativos: desde la necesidad de ajustar el ángulo visual de los vídeos para mejorar la sensación de inmersión, hasta la importancia de designar un profesional responsable (en este caso, el fisioterapeuta) para garantizar fluidez, seguridad y eficiencia durante las sesiones de cicloergometría. Este enfoque práctico y realista refuerza la idea de que la innovación en cuidados críticos no solo depende del acceso a dispositivos, sino también de la capacidad del equipo clínico para adaptar, liderar y sostener estas intervenciones en el tiempo.

Desde el punto de vista de tolerancia y seguridad, la intervención fue bien aceptada por la mayoría de los pacientes. No se registraron efectos adversos clínicos durante las sesiones, y solo se documentaron casos puntuales de rechazo subjetivo sin implicaciones clínicas. Los pacientes no mostraron alteraciones he-

modinámicas relevantes, y en términos cualitativos, algunos incluso afirmaban que el tiempo “se pasaba más rápido” durante la sesión con RI. Esta percepción sugiere que el componente inmersivo puede actuar como un distractor sensorial positivo que disminuye la percepción del esfuerzo o del entorno hospitalario.

Los pacientes verbalizaron experiencias emocionalmente positivas, reconociendo lugares familiares en los vídeos en 360°, lo cual generaba recuerdos y vínculos afectivos. En ocasiones, solicitaban repetir la experiencia o incluso prolongar el uso de las gafas tras la sesión. Desde la perspectiva del fisioterapeuta responsable de la intervención, esta fue una experiencia profesional estimulante, que permitió reconectar con la dimensión emocional del paciente crítico y ofrecer una alternativa terapéutica que rompía con la percepción de monotonía o “ejercicio obligatorio” que muchas veces acompaña a la fisioterapia convencional. Como reflejo de esto, algunos pacientes “esperaban al fisio con ganas”, o contaban a sus familias sus progresos y experiencias virtuales, lo que también generaba una percepción más activa de la recuperación.

Sin embargo, es importante subrayar que esta fase piloto no se diseñó para evaluar el impacto clínico o funcional a largo plazo, sino para sentar las bases metodológicas y operativas que permitieran su implementación segura y efectiva. En este sentido, el programa desarrollado ha cumplido su objetivo de validar la aplicabilidad y aceptación de la intervención, identificando aspectos críticos para su optimización, como la adaptación del contenido audiovisual y la estandarización de la duración de las sesiones.

La experiencia adquirida ha sido fundamental para el diseño del ensayo clínico aleatorizado presentado en el objetivo secundario 3, que pretende evaluar formalmente el impacto de la cicloergometría asociada a realidad 360° en la recuperación física y emocional de pacientes críticos. Por tanto, el programa piloto puede considerarse como un paso necesario y estratégico que aporta confianza y solidez metodológica a las fases subsecuentes del proyecto de investigación.

6.3 Diseño de un ensayo clínico aleatorizado para evaluar el impacto de la cicloergometría asociada a realidad 360° en pacientes graves

El diseño del ensayo clínico aleatorizado, controlado y multicéntrico propuesto para evaluar el impacto de la cicloergometría asociada a realidad 360° en paci-

entes críticos representa un avance significativo en la investigación de intervenciones rehabilitadoras en UCI. Este protocolo se fundamenta en la experiencia obtenida y la generación de hipótesis desarrolladas durante la fase piloto, así como en la evidencia previa que apoya la MP.

La estructuración en tres grupos (control, cicloergometría y cicloergometría con RI) permite una comparación clara y rigurosa, no solo del efecto de la terapia física tradicional sino también del posible valor añadido de la RI en el bienestar y la recuperación funcional. Esta estrategia es coherente con estudios recientes que sugieren beneficios potenciales de la RV en la reducción del estrés y la mejora de la adherencia a los programas de rehabilitación, aunque la evidencia en pacientes críticos aún es limitada [137].

El uso complementario de herramientas objetivas, como la ecografía muscular y la medición de biomarcadores salivales, aporta una dimensión fisiológica y metabólica que enriquecerá el análisis de resultados, permitiendo evaluar no solo los aspectos clínicos y funcionales sino también los mecanismos subyacentes a los efectos observados. Esto contribuirá a una comprensión más integral de la intervención y facilitará la identificación de posibles biomarcadores de respuesta.

Asimismo, el diseño contempla rigurosos criterios de inclusión y exclusión, lo que asegura la homogeneidad de la muestra y la aplicabilidad clínica de los resultados. La colaboración entre distintas unidades y especialidades también fortalece la viabilidad y la calidad metodológica del estudio.

Aunque el objetivo de esta tesis sólo contemplaba el diseño, la propuesta constituye una base sólida para avanzar en la integración de herramientas y tecnologías emergentes en el ámbito de la medicina intensiva y la rehabilitación. Se espera que los resultados futuros puedan aportar evidencia robusta que respalde nuevas estrategias de rehabilitación precoz, orientadas a mejorar no solo la función muscular sino también el bienestar emocional de los pacientes críticos.

6.4 Reflexión personal y profesional del fisioterapeuta

La implementación del protocolo de MP y de intervenciones innovadoras, como la cicloergometría asociada a RI, supuso no solo un reto metodológico,

sino también una experiencia profundamente formativa en el plano profesional. Uno de los principales desafíos al inicio no fue tanto el diseño técnico del protocolo, sino la obtención de los recursos necesarios para hacerlo viable. La dotación de material especializado y la ampliación de horas de fisioterapia en la UCI requirieron una búsqueda activa de apoyos externos. En este sentido, la colaboración de empresas especializadas en el área de la movilización del paciente crítico resultó fundamental durante las fases iniciales, facilitando el arranque del proyecto.

Desde el punto de vista organizativo, uno de los principales retos fue incorporar a figura del fisioterapeuta en el turno de tarde, donde hasta ese momento no existía una cultura asistencial que facilitará su integración inmediata. Al tratarse de una dinámica nueva para el equipo, fue necesario un proceso de adaptación y familiarización con el rol del fisioterapeuta. Inicialmente, sólo una enfermera del turno participaba activamente en el desarrollo del protocolo, lo que supuso un esfuerzo adicional en la comunicación y puesta en marcha de las actividades programadas. Sin embargo, gracias al compromiso, la colaboración y la voluntad de mejora compartida, se logró una incorporación progresiva y efectiva del enfoque rehabilitador en ese contexto asistencial.

En relación al estudio con cicloergometría y RI, el mayor reto fue partir de cero: no existía un marco de investigación o asistencial previo ni antecedentes clínicos en la unidad sobre este tipo de intervención, lo que obligó a diseñar, adaptar e implementar todos los elementos desde la base. A esto se sumaron dificultades técnicas, como la conectividad Wi-Fi o la sincronización de dispositivos, que exigieron soluciones creativas y un proceso constante de adaptación.

Desde una perspectiva de crecimiento personal, esta experiencia supuso un avance significativo en mis capacidades de organización y coordinación dentro de un entorno multidisciplinar. Fue necesario aprender a coordinar equipos, planificar sesiones, ajustar horarios y garantizar que todas las condiciones logísticas estuvieran alineadas para poder llevar a cabo las terapias sin interferir en la dinámica asistencial. Este proceso fortaleció no solo mis competencias clínicas, sino también habilidades de gestión, liderazgo y comunicación efectiva.

Para transmitir el valor de este protocolo a otros equipos o instituciones, una estrategia clave sería destacar los resultados observados. La reducción, incluso

mínima, de la estancia en UCI puede traducirse en una mejora funcional significativa para la persona atendida, además de un impacto positivo en la eficiencia del sistema sanitario. En relación con las intervenciones innovadoras, como el uso de cicloergometría o la estimulación con RI, el mensaje central sería que la fisioterapia en UCI también puede y debe evolucionar. Explorar nuevas herramientas, adaptarse a los recursos disponibles y buscar siempre el beneficio funcional del paciente forma parte del compromiso con una atención de calidad. A menudo, más que una cuestión de motivación, el desafío está en las condiciones materiales y organizativas. Por eso, impulsar estos cambios requiere no solo formación y voluntad, sino también entornos que faciliten la innovación y el trabajo interdisciplinar.

6.5 Fortalezas del estudio

Este estudio presenta diversas fortalezas que consolidan su relevancia clínica, científica y aplicada. En primer lugar, se trata de una investigación desarrollada en un entorno asistencial real, con pacientes críticos ingresados en una unidad de cuidados intensivos (UCI) polivalente activa. Esta característica confiere una elevada validez externa, ya que tanto la implementación del protocolo de MP como la aplicación de las terapias innovadoras se llevaron a cabo en condiciones auténticas de práctica clínica. El personal implicado no estaba inicialmente familiarizado con la metodología ni con los objetivos específicos de la intervención, lo que refuerza el valor de haber diseñado, ejecutado y evaluado una estrategia desde sus fundamentos en un entorno dinámico y complejo.

En segundo lugar, la originalidad de la intervención combinada (cicloergometría asistida con RI) constituye un elemento destacable. Lejos de limitarse a una técnica convencional de fisioterapia, el estudio introduce un abordaje mixto que integra estímulos físicos y sensoriales de forma simultánea. Esta combinación, aun escasamente explorada en el ámbito de la medicina intensiva, representa una línea de intervención prometedora. La posibilidad de haber incorporado esta tecnología de manera segura, eficaz y funcional en pacientes críticos posiciona al presente trabajo como una contribución pionera dentro del campo de la MP en UCI.

Asimismo, el protocolo fue concebido y desarrollado por un equipo interdisciplinar compuesto por profesionales de medicina intensiva, fisioterapia,

enfermería, técnicos en cuidados auxiliares de enfermería y camilleros. Esta composición permitió una visión integral y centrada en el paciente, favoreciendo una implementación progresiva, adaptativa y sostenible en el tiempo. La continuidad del programa tras la finalización del estudio es indicativa del compromiso institucional y del valor percibido por los distintos actores implicados.

Por último, cabe señalar que durante la aplicación del protocolo y la ejecución del subestudio con cicloergometría, no se registraron eventos adversos clínicos de relevancia. La intervención fue bien tolerada por los pacientes y no se produjeron complicaciones que obligaran a suspender las sesiones o que alteraran el curso clínico de los participantes. Este hecho respalda la seguridad y viabilidad de las estrategias terapéuticas propuestas, incluso en un contexto clínico de elevada complejidad.

6.6 Limitaciones del estudio

Aunque el presente trabajo aporta valor tanto desde el punto de vista clínico como metodológico, es necesario señalar algunas limitaciones que deben tenerse en cuenta a la hora de interpretar su alcance y de orientar futuras investigaciones.

En primer lugar, el estudio relacionado con la intervención de cicloergometría combinada con RI todavía se encuentra en fase de desarrollo. No se incluyen resultados en este documento, ya que el análisis completo requiere alcanzar el tamaño muestral previsto. Por tanto, no es posible extraer conclusiones en firme sobre el impacto de esta intervención, más allá del valor que representa su diseño y puesta en marcha en un entorno asistencial real tras haberse obtenido financiación para ello.

En lo referente al protocolo de MP, una de las principales limitaciones fue la falta de recogida de algunas variables relevantes en el momento basal. No se incluyó, por ejemplo, la escala MRC para medir la fuerza muscular, ni el cuestionario SWB para valorar el bienestar subjetivo. Esto dificulta el análisis comparativo de la evolución del paciente durante su estancia en la UCI.

Tampoco se contempló un seguimiento posterior al alta de la UCI, lo cual limita la posibilidad de valorar el impacto funcional o emocional de las intervencio-

nes a medio o largo plazo. Esta información habría sido especialmente útil para conocer si los beneficios observados durante la hospitalización se mantienen más allá del alta.

Aunque el estudio se realizó en una única UCI, lo cual podría limitar la generalización de los hallazgos, la experiencia demuestra que muchas de las estrategias implementadas son adaptables a otros contextos con características similares. Aun así, futuros estudios multicéntricos serían necesarios para confirmar la reproducibilidad de los enfoques utilizados.

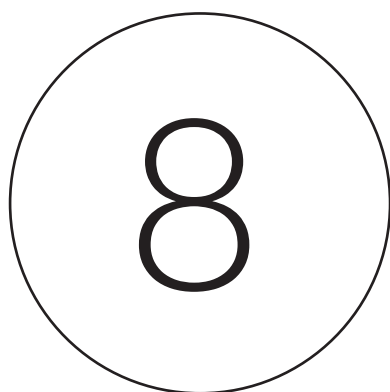
Por último, en el diseño del estudio con cicloergometría y RI no se incorporaron parámetros objetivos que hubieran permitido cuantificar el esfuerzo o el progreso funcional de los pacientes, como duración activa de las sesiones, distancia realizada o niveles de resistencia utilizados. Contar con este tipo de datos en futuras fases del proyecto podría enriquecer notablemente el análisis, especialmente en relación con el componente motivacional y su posible efecto en la evolución clínica.



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. La implementación de un protocolo estructurado de movilización precoz en unidades de cuidados intensivos es factible, segura y eficaz, y se asocia a mejoras funcionales, organizativas y culturales en la atención a pacientes críticos. Su éxito depende de una planificación progresiva, la formación del equipo, el compromiso institucional y la integración del fisioterapeuta en un enfoque interdisciplinar centrado en la funcionalidad desde etapas tempranas del ingreso.
2. La movilización precoz mejora resultados clínicos relevantes como la recuperación funcional, la reducción de complicaciones asociadas al reposo prolongado y la menor duración de la ventilación mecánica. Además, previene el deterioro funcional y puede reducir el riesgo de desarrollar síndrome post-UCI.
3. La movilización precoz promueve una rehabilitación más activa, continua y visible, con alta adherencia por parte del equipo interdisciplinar y buena aceptación por parte de los pacientes. Esto genera un impacto positivo tanto en la experiencia de las personas ingresadas y sus familias como en la dinámica de los equipos asistenciales, favoreciendo una cultura asistencial centrada en la persona.
4. La incorporación de tecnologías como la cicloergometría y la realidad inmersiva en cuidados críticos es viable y bien aceptada, y muestra potencial para aumentar la motivación del paciente, mejorar su experiencia subjetiva y reducir la respuesta fisiológica al estrés, lo que refuerza la necesidad de avanzar hacia una fisioterapia más integradora, personalizada y humanizada.



LÍNEAS DE FUTURO

LÍNEAS DE FUTURO

Los avances logrados en este estudio, tanto en la implementación de un protocolo de MP como en la puesta en marcha de una intervención combinada de cicloergometría y RI, abren diversas oportunidades de desarrollo, tanto clínico como investigativo.

En relación con el protocolo de MP, una de las líneas prioritarias sería la evaluación de su impacto a medio y largo plazo. Estudios longitudinales que incluyan variables como funcionalidad, calidad de vida tras el alta, y tasa de reingresos permitirían valorar con mayor profundidad el beneficio real de esta estrategia. Además, repetir la evaluación del protocolo a varios años de su implementación serviría para valorar su sostenibilidad, así como el grado de integración del enfoque rehabilitador dentro de la cultura asistencial de la unidad.

Respecto a la intervención con cicloergometría y RI, futuras investigaciones deberían incorporar parámetros objetivos como el tiempo de pedaleo, la distancia recorrida o la progresión de la resistencia aplicada, lo que aportaría una visión más precisa del progreso funcional de los pacientes. Del mismo modo, integrar escalas validadas específicas para la evaluación del impacto motivacional permitiría analizar de forma más completa el efecto combinado físico y emocional de este tipo de terapias.

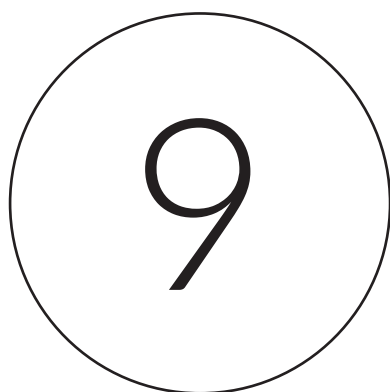
Desde un punto de vista clínico y organizativo, tanto el protocolo de MP como la intervención con RI podrían ser escalables a otras UCI. Sin embargo, su implementación generalizada requeriría garantizar recursos materiales y humanos adecuados. La principal barrera sigue siendo de tipo estructural: la disponibilidad de tecnología, así como la necesidad de contar con fisioterapeutas especializados y con cobertura suficiente en distintos turnos.

En este sentido, se considera deseable que las UCI cuenten al menos con dos fisioterapeutas por unidad, cubriendo turnos de mañana y tarde, con progresiva expansión hacia una atención diaria los 365 días del año. Para lograrlo, sería necesario reconocer de forma institucional la figura del fisioterapeuta en cuidados intensivos, e impulsar vías oficiales de formación y especialización, en línea con otros contextos asistenciales avanzados.

En cuanto a futuras líneas de investigación, se plantea la necesidad de profundizar en los efectos de la MP en pacientes con alta dependencia funcional, o con estancias prolongadas en UCI, donde el impacto podría ser aún más relevante. También se propone explorar los efectos fisiológicos de la movilización pasiva en pacientes sedados —una práctica cada vez más frecuente, pero escasamente estudiada desde el punto de vista hemodinámico, hormonal o metabólico—. Por otro lado, sería de gran interés comparar resultados entre unidades con cobertura fisioterapéutica parcial (por ejemplo, de lunes a viernes) frente a aquellas con atención continuada todos los días del año.

En el ámbito de las terapias instrumentadas, podría estudiarse la combinación de la cicloergometría con EMS, así como la aplicación de tecnologías emergentes como la realidad aumentada o sistemas de biofeedback interactivo, con el objetivo de aumentar la implicación del paciente y optimizar el rendimiento funcional de las sesiones.

En definitiva, este trabajo ha demostrado que es posible implementar de forma segura, efectiva y sostenible nuevas estrategias fisioterapéuticas en el entorno crítico. El desafío ahora es continuar ampliando la evidencia científica, consolidar estos enfoques en la práctica habitual y avanzar hacia una fisioterapia en UCI más especializada, proactiva y adaptada a los retos del futuro.



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Kim SH, Yum KS, Jeong JH, Choi JH, Park HS, Song YJ, et al. Impact of neurointensivist co-management in a semiclosed neurocritical-care unit. *Journal of Clinical Neurology (Korea)* 2020;16:681–7. <https://doi.org/10.3988/JCN.2020.16.4.681>.
2. Gruther W, Benesch T, Zorn C, Quittan M. Muscle wasting in intensive care patients: ultrasound observation of the M. quadriceps femoris muscle layer. *ResearchgateNet* 2008;40:185–9. <https://doi.org/10.2340/16501977-0139>.
3. Ferrando AA, Stuart CA, Brunder DG, Hillman GR. Magnetic resonance imaging quantitation of changes in muscle volume during 7 days of strict bed rest. *Aviat Space Environ Med* 1995;66:976–81.
4. Puthuchear Z, Montgomery H, Moxham J, Harridge S, Hart N. Structure to function: muscle failure in critically ill patients. *Wiley Online Library* 2010;588:4641–8. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.197632>.
5. Latronico N, Neurology CB-TL, 2011 undefined. Critical illness polyneuropathy and myopathy: a major cause of muscle weakness and paralysis. *TheLancetCom* 2011;10:931–72. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(11\)70178-8](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(11)70178-8).
6. Needham D, Davidson J, ... HC-C care, 2012 undefined. Improving long-term outcomes after discharge from intensive care unit: report from a stakeholders' conference. *JournalsLwwCom* n.d.
7. Griffiths J, Hatch RA, Bishop J, Morgan K, Jenkinson C, Cuthbertson BH, et al. An exploration of social and economic outcome and associated health-related quality of life after critical illness in general intensive care unit survivors: A 12-month follow-up study. *Crit Care* 2013;17. <https://doi.org/10.1186/CC12745>.

8. Inoue S, Hatakeyama J, Kondo Y, Hifumi T, Sakuramoto H, Kawasaki T, et al. Post-intensive care syndrome: its pathophysiology, prevention, and future directions. *Acute Medicine & Surgery* 2019;6:233–46. <https://doi.org/10.1002/ams2.415>.
9. Bienvenu O, clinics TG-C care, 2017 undefined. Posttraumatic stress disorder phenomena after critical illness. *CriticalcareTheclinicsCom* n.d.
10. Davidson J, Harvey M, ... AB-D-C care, 2013 undefined. Implementation of the Pain, Agitation, and Delirium Clinical Practice Guidelines and promoting patient mobility to prevent post-intensive care syndrome. *JournalsLwwCom* n.d.
11. Jc Slooter A, van der Kooi AW, Wolters Arjen J C Slooter Arendina W van der Kooi Diederik van Dijk AE, Wolters Á A J C Slooter Á A W van der Kooi Á D van Dijk AE. Cognitive impairment after intensive care unit admission: a systematic review. *Springer* 2013;39:376–86. <https://doi.org/10.1007/s00134-012-2784-9>.
12. Hopkins RO, Suchyta MR, Snow GL, Jephson A, Weaver LK, Orme JF. Blood glucose dysregulation and cognitive outcome in ARDS survivors. *Brain Inj* 2010;24:1478–84. <https://doi.org/10.3109/02699052.2010.506861>.
13. Pandharipande PP, Girard TD, Jackson JC, Morandi A, Thompson JL, Pun BT, et al. Long-Term Cognitive Impairment after Critical Illness. *New England Journal of Medicine* 2013;369:1306–16. <https://doi.org/10.1056/NEJMOA1301372>.
14. Davydow D, Zatzick D, ... CH-A of the A, 2013 undefined. In-hospital acute stress symptoms are associated with impairment in cognition 1 year after intensive care unit admission. *AtsjournalsOrg* 2013;10:450–7. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201303-060OC>.
15. Jackson JC, Gordon SM, Ely EW, Burger C, Hopkins RO. Research issues in the evaluation of cognitive impairment in intensive care unit survivors. *Intensive Care Med* 2004;30:2009–16. <https://doi.org/10.1007/S00134-004-2422-2>.

16. Katz IR, Curyto KJ, TenHave T, Mossey J, Sands L, Kallan MJ. Validating the diagnosis of delirium and evaluating its association with deterioration over a one-year period. *Am Psychiatric Assoc* n.d.;II.
17. Guerra C, Hua M, Anesthesiology HW-, 2015 undefined. Risk of a diagnosis of dementia for elderly Medicare beneficiaries after intensive care. *PubsAsahqOrg* n.d.
18. Pisani M, Redlich C, McNicoll L, Ely E, Chest SI-, 2003 undefined. Underrecognition of preexisting cognitive impairment by physicians in older ICU patients. *Elsevier* n.d.
19. Osler W. *The Principles and practice of medicine* c. 2 1892.
20. Katz IR, Curyto KJ, TenHave T, Mossey J, Sands L, Kallan MJ. Polyneuropathy in critically ill patients. *JnnpBmjCom* n.d.;II.
21. Bednarik J, Lukas Z, Vondracek P. Critical illness polyneuromyopathy: The electrophysiological components of a complex entity. *Intensive Care Med* 2003;29:1505–14. <https://doi.org/10.1007/S00134-003-1858-0>.
22. Ali NA, O'brien JM, Hoffmann SP, Phillips G, Garland A, Finley JCW, et al. Acquired weakness, handgrip strength, and mortality in critically ill patients. *AtsjournalsOrg* 2008;178:261–8. <https://doi.org/10.1164/rccm.200712-1829OC>.
23. Sharshar T, Bastuji-Garin S, ... RS-C care, 2009 undefined. Presence and severity of intensive care unit-acquired paresis at time of awakening are associated with increased intensive care unit and hospital mortality. *JournalsLwwCom* n.d.
24. Mirzakhani H, Williams J, Mello J, ... SJ-, 2013 undefined. Muscle weakness predicts pharyngeal dysfunction and symptomatic aspiration in long-term ventilated patients. *PubsAsahqOrg* 2015. <https://doi.org/10.1097/AL-N.0b013e31829373fe>.

25. Nanas S, Kritikos K, Angelopoulos E, Siafaka A, Tsikriki S, Poriazi M, et al. Predisposing factors for critical illness polyneuromyopathy in a multidisciplinary intensive care unit. *Acta Neurol Scand* 2008;118:175–81. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0404.2008.00996.X>.
26. Hermans G, Van Mechelen H, Clerckx B, Vanhullebusch T, Mesotten D, Wilmer A, et al. Acute outcomes and 1-year mortality of intensive care unit-acquired weakness. A cohort study and propensity-matched analysis. *AtsjournalsOrg* 2014;190:410–20. <https://doi.org/10.1164/rccm.201312-2257OC>.
27. Tzanis G, Vasileiadis I, Zervakis D, Karatzanos E, Dimopoulos S, Pitsolis T, et al. Maximum inspiratory pressure, a surrogate parameter for the assessment of ICU-acquired weakness. *BMC Anesthesiol* 2011;11. <https://doi.org/10.1186/1471-2253-11-14>.
28. Bercker S, Weber-Carstens S, ... MD-C care, 2005 undefined. Critical illness polyneuropathy and myopathy in patients with acute respiratory distress syndrome. *JournalsLwwCom* n.d.
29. Fan E, Dowdy D, ... EC-C care, 2014 undefined. Physical complications in acute lung injury survivors: a 2-year longitudinal prospective study. *Nc-biNlmNihGov* n.d.
30. Latronico N, anesthesiologica BG-M, 2008 undefined. Critical illness myopathy and neuropathy. *ResearchgateNet* n.d.
31. Fenzi F, Latronico N, Refatti N, Rizzuto N. Enhanced expression of E-selectin on the vascular endothelium of peripheral nerve in critically ill patients with neuromuscular disorders. *Acta Neuropathol* 2003;106:75–82. <https://doi.org/10.1007/S00401-003-0704-3>.
32. Bolton CF. Neuromuscular manifestations of critical illness. *Muscle Nerve* 2005;32:140–63. <https://doi.org/10.1002/MUS.20304>.

33. Hermans G, Wilmer A, Meersseman W, Milants I, Wouters PJ, Bobbaers H, et al. Impact of intensive insulin therapy on neuromuscular complications and ventilator dependency in the medical intensive care unit. *Atsjournal-sOrg* 2007;175:480–9. <https://doi.org/10.1164/rccm.200605-665OC>.
34. Vanhorebeek I, Vos R De, Mesotten D, Lancet PW-T, 2005 undefined. Protection of hepatocyte mitochondrial ultrastructure and function by strict blood glucose control with insulin in critically ill patients. *The LancetCom* n.d.
35. investigation GV den B-TJ of clinical, 2004 undefined. How does blood glucose control with insulin save lives in intensive care? *Am Soc Clin Investig* n.d.
36. Batt J, Santos C Dos, ... JC-A journal of, 2013 undefined. Intensive care unit-acquired weakness: clinical phenotypes and molecular mechanisms. *AtsjournalsOrg* 2013;187:238–46. <https://doi.org/10.1164/rccm.201205-0954SO>.
37. Friedrich O, Reid MB, Van Den Berghe G, Vanhorebeek I, Hermans G, Rich MM, et al. The sick and the weak: neuropathies/myopathies in the critically ill. *JournalsPhysiologyOrg* 2015;95:1025–109. <https://doi.org/10.1152/physrev.00028.2014>.
38. Puthuchear Z, Rawal J, McPhail M, Jama BC-, 2013 undefined. Acute skeletal muscle wasting in critical illness. *JamanetworkCom* n.d.
39. Derde S, Hermans G, Derese I, ... FG-C care, 2012 undefined. Muscle atrophy and preferential loss of myosin in prolonged critically ill patients. *JournalsLwwCom* n.d.
40. Wollersheim T, Woehlecke J, Krebs M, ... JH-I care, 2014 undefined. Dynamics of myosin degradation in intensive care unit-acquired weakness during severe critical illness. *Springer* 2014;40:528–39. <https://doi.org/10.1007/s00134-014-3224-9>.

41. Bloch S, Polkey M, ... MG-ER, 2012 undefined. Molecular mechanisms of intensive care unit-acquired weakness. *Eur Respiratory Soc* n.d. <https://doi.org/10.1183/09031936.00090011>.
42. Weber-Carstens S, Schneider J, Wollersheim T, Assmann A, Bierbrauer J, Marg A, et al. Critical illness myopathy and GLUT4: significance of insulin and muscle contraction. *AtsjournalsOrg* 2013;187:387–96. <https://doi.org/10.1164/rccm.201209-1649OC>.
43. Ackermann KA, Bostock H, Brander L, Schröder R, Djafarzadeh S, Tuchschherer D, et al. Early changes of muscle membrane properties in porcine faecal peritonitis. *Crit Care* 2014;18. <https://doi.org/10.1186/S13054-014-0484-2>.
44. Weber-Carstens S, Koch S, ... SS-C care, 2009 undefined. Nonexcitable muscle membrane predicts intensive care unit-acquired paresis in mechanically ventilated, sedated patients. *JournalsLwwCom* n.d.
45. Rossignol B, Gueret G, Pennec J, ... JM-C care, 2008 undefined. Effects of chronic sepsis on contractile properties of fast twitch muscle in an experimental model of critical illness neuromyopathy in the rat. *Journals-LwwCom* n.d.
46. Zink W, Kaess M, Hofer S, ... JP-C care, 2008 undefined. Alterations in intracellular Ca^{2+} -homeostasis of skeletal muscle fibers during sepsis. *JournalsLwwCom* n.d.
47. Masiero E, Agatea L, Mammucari C, Blaauw B, Loro E, Komatsu M, et al. Autophagy is required to maintain muscle mass. *CellComE* Masiero, L Agatea, C Mammucari, B Blaauw, E Loro, M Komatsu, D Metzger, C ReggianiCell Metabolism, 2009•cellCom n.d. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2009.10.008>.
48. Hermans G, Casaer MP, Clerckx B, Güiza F, Vanhullebusch T, Derde S, et al. Effect of tolerating macronutrient deficit on the development of intensive-care unit acquired weakness: a subanalysis of the EPaNIC trial. *ThelancetCom* n.d. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(13\)70183-8](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(13)70183-8).

49. Kress JP, Hall JB. ICU-acquired weakness and recovery from critical illness. *N Engl J Med* 2014;370:1626–35. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1209390>.
50. Zochodne D, Bolton C, Wells G, Brain JG-, 1987 undefined. Critical illness polyneuropathy: a complication of sepsis and multiple organ failure. AcademicOupComDW Zochodne, CF Bolton, GA Wells, JJ GILBERT, AF HAHN, JD BROWN, WA SIBBALDBrain, 1987•academicOupCom n.d.
51. Witt N, Zochodne D, Bolton C, Chest FG-, 1991 undefined. Peripheral nerve function in sepsis and multiple organ failure. Elsevier 2014. <https://doi.org/10.1378/chest.99.1.176>.
52. Garnacho-Montero J, Madrazo-Osuna J, García-Garmendia JL, Ortiz-Leyba C, Jimønez-Jimønez FJ, Barrero-Almodóvar A, et al. Critical illness polyneuropathy: risk factors and clinical consequences. A cohort study in septic patients. *Springer* 2001;27:1288–96. <https://doi.org/10.1007/s001340101009>.
53. Bednarik J, Vlckova-Moravcova E, Cundrle I, Vondracek P, Dusek L, Moravcova E. Risk factors for critical illness polyneuromyopathy. *Springer* 2005;252:343–51. <https://doi.org/10.1007/s00415-005-0654-x>.
54. Hermans G, Van den Berghe G. Clinical review: intensive care unit acquired weakness. *Crit Care* 2015;19:274. <https://doi.org/10.1186/s13054-015-0993-7>.
55. Van den Berghe G, Wouters P, Weekers F, Verwaest C, Bruyninckx F, Schetz M, et al. Intensive Insulin Therapy in Critically Ill Patients. *New England Journal of Medicine* 2001;345:1359–67. <https://doi.org/10.1056/NEJMOA011300>.
56. Letter M de, Schmitz P, ... LV-C care, 2001 undefined. Risk factors for the development of polyneuropathy and myopathy in critically ill patients. *JournalsLwwCom* n.d.

57. Weber-Carstens S, Deja M, Koch S, Spranger J, Bubser F, Wernecke KD, et al. Risk factors in critical illness myopathy during the early course of critical illness: A prospective observational study. *Crit Care* 2010;14. <https://doi.org/10.1186/CC9074>.
58. Patel B, Pohlman A, Hall J, Chest JK-, 2014 undefined. Impact of early mobilization on glycemic control and ICU-acquired weakness in critically ill patients who are mechanically ventilated. Elsevier n.d.
59. MacFarlane I, Lancet FR-T, 1977 undefined. Severe myopathy after status asthmaticus. *The Lancet* n.d.
60. Massa R, Carpenter S, Holland P, Karpati G. Loss and renewal of thick myofilaments in glucocorticoid-treated rat soleus after denervation and reinnervation. *Muscle Nerve* 1992;15:1290–8. <https://doi.org/10.1002/MUS.880151112>.
61. De Jonghe B, Sharshar T, Lefaucheur J-P, Authier F-J, Durand-Zaleski I, Boussarsar M, et al. Paresis acquired in the intensive care unit: a prospective multicenter study. *JAMA* n.d.
62. Fukusako T, Negoro K, *Neurology* MM-, 1998 undefined. Acute myopathy after liver transplantation. AAN Enterprises n.d.
63. Papazian L, Forel J-M, Gacouin A, Penot-Ragon C, Perrin G, Loundou A, et al. Neuromuscular Blockers in Early Acute Respiratory Distress Syndrome. *New England Journal of Medicine* 2010;363:1107–16. <https://doi.org/10.1056/NEJMOA1005372>.
64. Jonghe B De, Bastuji-Garin S, ... MD-C care, 2007 undefined. Respiratory weakness is associated with limb weakness and delayed weaning in critical illness. *JAMA* n.d.
65. Supinski GS, Ann Callahan L. Diaphragm weakness in mechanically ventilated critically ill patients. *Crit Care* 2013;17. <https://doi.org/10.1186/CC12792>.

66. Demoule A, Jung B, Ne Prodanovic H, Molinari N, Chanques G, Coirault C, et al. Diaphragm dysfunction on admission to the intensive care unit. Prevalence, risk factors, and prognostic impact—a prospective study. *AtsjournalsOrg* A Demoule, B Jung, H Prodanovic, N Molinari, G Chanques, C Coirault, S Matecki, A Duguet *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2013 • *atsjournalsOrg* 2013;188:213–9. <https://doi.org/10.1164/rccm.201209-1668OC>.
67. Zifko U, Zipko H, sciences CB-J of the neurological, 1998 undefined. Clinical and electrophysiological findings in critical illness polyneuropathy. Elsevier n.d.
68. Hermans G, Agten A, Testelmans D, Decramer M, Gayan-Ramirez G. Increased duration of mechanical ventilation is associated with decreased diaphragmatic force. *Crit Care* 2010;14:P211. <https://doi.org/10.1186/CC8443>.
69. Jaber S, Petrof BJ, Jung B, Chanques G, Berthet J-P, Rabuel C, et al. Rapidly progressive diaphragmatic weakness and injury during mechanical ventilation in humans. *AtsjournalsOrg* S Jaber, BJ Petrof, B Jung, G Chanques, JP Berthet, C Rabuel, H Bouyabrine, P Courouble *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2011 • *atsjournalsOrg* 2011;183:364–71. <https://doi.org/10.1164/rccm.201004-0670OC>.
70. Levine S, Nguyen T, Taylor N, Friscia ME, Budak MT, Rothenberg P, et al. Rapid Disuse Atrophy of Diaphragm Fibers in Mechanically Ventilated Humans. *New England Journal of Medicine* 2008;358:1327–35. <https://doi.org/10.1056/NEJMOA070447>.
71. Jaber S, Jung B, Matecki S, Petrof BJ. Clinical review: Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction - human studies confirm animal model findings! *Crit Care* 2011;15. <https://doi.org/10.1186/CC10023>.
72. Vanhullebusch T, Leuven KU, Universitair JS, Leuven Z. Interobserver agreement of Medical Research Council sum-score and handgrip strength in the intensive care unit. *Wiley Online Library* 2012;45:18–25. <https://doi.org/10.1002/mus.22219>.

73. Bolton CF, Laverty DA, Brown JD, Witt NJ, Hahn AF, Sibbald WJ. Critically ill polyneuropathy: electrophysiological studies and differentiation from Guillain-Barré syndrome. *JnnpBmjCom* Bolton CF, DA Laverty, JD Brown, NJ Witt, AF Hahn, WJ Sibbald *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 1986•*jnnpBmjCom* 1986;49:9–13. <https://doi.org/10.1136/jnnp.49.5.563>.
74. Jung B, Moury PH, Mahul M, de Jong A, Galia F, Prades A, et al. Diaphragmatic dysfunction in patients with ICU-acquired weakness and its impact on extubation failure. *Intensive Care Med* 2016;42:853–61. <https://doi.org/10.1007/s00134-015-4125-2>.
75. Rabinstein AA. Acute Neuromuscular Respiratory Failure. *CONTINUUM: Lifelong Learning in Neurology* 2015;21:1324–45. <https://doi.org/10.1212/CON.0000000000000218>.
76. Irfan M, Selim B, Rabinstein AA, St. Louis EK. Neuromuscular Disorders and Sleep in Critically Ill Patients. *Crit Care Clin* 2015;31:533–50. <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2015.03.007>.
77. Rabinstein AA. Noninvasive ventilation for neuromuscular respiratory failure. *Curr Opin Crit Care* 2016;1. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000284>.
78. Carámbula A, Visca A, D'Amico S, Angulo M. Evaluación muscular respiratoria y periférica en la Unidad de Cuidados Intensivos. *Arch Bronconeumol* 2019;55:258–65. <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2018.09.002>.
79. Hough CL, Lieu BK, Caldwell ES. Manual muscle strength testing of critically ill patients: feasibility and interobserver agreement. *Crit Care* 2011;15:R43. <https://doi.org/10.1186/cc10005>.
80. Allen DC, Arunachalam R, Mills KR. Critical illness myopathy: Further evidence from muscle-fiber excitability studies of an acquired channelopathy. *Muscle Nerve* 2008;37:14–22. <https://doi.org/10.1002/mus.20884>.

81. Goodman BP, Harper CM, Boon AJ. Prolonged compound muscle action potential duration in critical illness myopathy. *Muscle Nerve* 2009;40:1040–2. <https://doi.org/10.1002/mus.21445>.
82. Latronico N, Nattino G, Guarneri B, Fagoni N, Amantini A, Bertolini G. Validation of the peroneal nerve test to diagnose critical illness polyneuropathy and myopathy in the intensive care unit: the multicentre Italian CRIMYNE-2 diagnostic accuracy study. *F1000Res* 2014;3:127. <https://doi.org/10.12688/f1000research.3933.3>.
83. Moss M, Yang M, Macht M, Sottile P, Gray L, McNulty M, et al. Screening for critical illness polyneuromyopathy with single nerve conduction studies. *Intensive Care Med* 2014;40:683–90. <https://doi.org/10.1007/s00134-014-3251-6>.
84. Bunnell A, Ney J, Gellhorn A, Hough CL. Quantitative neuromuscular ultrasound in intensive care unit-acquired weakness: A systematic review. *Muscle Nerve* 2015;52:701–8. <https://doi.org/10.1002/mus.24728>.
85. Puthuchery ZA, Phadke R, Rawal J, McPhail MJW, Sidhu PS, Rowler-son A, et al. Qualitative Ultrasound in Acute Critical Illness Muscle Wasting. *Crit Care Med* 2015;43:1603–11. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000001016>.
86. Wieske L, Witteveen E, Petzold A, Verhamme C, Schultz MJ, van Schaik IN, et al. Neurofilaments as a plasma biomarker for ICU-acquired weakness: an observational pilot study. *Crit Care* 2014;18:R18. <https://doi.org/10.1186/cc13699>.
87. Wieske L, Dettling-Ihnenfeldt DS, Verhamme C, Nollet F, van Schaik IN, Schultz MJ, et al. Impact of ICU-acquired weakness on post-ICU physical functioning: a follow-up study. *Crit Care* 2015;19:196. <https://doi.org/10.1186/s13054-015-0937-2>.

88. Sacanella E, Pérez-Castejón JM, Nicolás JM, Masanés F, Navarro M, Castro P, et al. Functional status and quality of life 12 months after discharge from a medical ICU in healthy elderly patients: a prospective observational study. *Crit Care* 2011;15:R105. <https://doi.org/10.1186/cc10121>.
89. Guarneri B, Bertolini G, Latronico N. Long-term outcome in patients with critical illness myopathy or neuropathy: the Italian multicentre CRIMYNE study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2008;79:838–41. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2007.142430>.
90. Kayambu G, Boots R, Paratz J. Physical Therapy for the Critically Ill in the ICU. *Crit Care Med* 2013;41:1543–54. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31827ca637>.
91. Van den Berghe G, Schoonheydt K, Becx P, Bruyninckx F, Wouters PJ. Insulin therapy protects the central and peripheral nervous system of intensive care patients. *Neurology* 2005;64:1348–53. <https://doi.org/10.1212/01.WNL.0000158442.08857.FC>.
92. NICE-SUGAR Study Investigators, Finfer S, Chittock DR, Su SY-S, Blair D, Foster D, et al. Intensive versus conventional glucose control in critically ill patients. *N Engl J Med* 2009;360:1283–97. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa0810625>.
93. Wernerman J, Desai T, Finfer S, Foubert L, Furnary A, Holzinger U, et al. Continuous glucose control in the ICU: report of a 2013 round table meeting. *Crit Care* 2014;18:226. <https://doi.org/10.1186/cc13921>.
94. Reade MC, Finfer S. Sedation and Delirium in the Intensive Care Unit. *New England Journal of Medicine* 2014;370:444–54. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1208705>.
95. Camargo Pires-Neto R, Fogaça Kawaguchi YM, Sayuri Hirota A, Fu C, Tanaka C, Caruso P, et al. Very early passive cycling exercise in mechanically ventilated critically ill patients: physiological and safety aspects--a case series. *PLoS One* 2013;8:e74182. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074182>.

96. Parry SM, Berney S, Granger CL, Koopman R, El-Ansary D, Denehy L. Electrical Muscle Stimulation in the Intensive Care Setting. *Crit Care Med* 2013;41:2406–18. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3182923642>.
97. Schweickert WD, Pohlman MC, Pohlman AS, Nigos C, Pawlik AJ, Esbrook CL, et al. Early physical and occupational therapy in mechanically ventilated, critically ill patients: a randomised controlled trial. *The Lancet* 2009;373:1874–82. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)60658-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60658-9).
98. O'Connor ED, Walsham J. Should we mobilise critically ill patients? A review. *Crit Care Resusc* 2009;11:290–300.
99. Dirkes SM, Kozlowski C. Early Mobility in the Intensive Care Unit: Evidence, Barriers, and Future Directions. *Crit Care Nurse* 2019;39:33–42. <https://doi.org/10.4037/ccn2019654>.
100. Ista E, Redivo J, Kananur P, Choong K, Colleti J, Needham DM, et al. ABC-DEF Bundle Practices for Critically Ill Children: An International Survey of 161 PICUs in 18 Countries*. *Crit Care Med* 2022;50:114–25. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000005168>.
101. Pun BT, Balas MC, Barnes-Daly MA, Thompson JL, Aldrich JM, Barr J, et al. Caring for Critically Ill Patients with the ABCDEF Bundle: Results of the ICU Liberation Collaborative in Over 15,000 Adults. *Crit Care Med* 2019;47:3–14. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003482>.
102. Raurell-Torredà M, Arias-Rivera S, Martí JD, Frade-Mera MJ, Zaragoza-García I, Gallart E, et al. Grado de implementación de las estrategias preventivas del síndrome post-UCI: estudio observacional multicéntrico en España. *Enferm Intensiva* 2019;30:59–71. <https://doi.org/10.1016/j.enfi.2018.04.004>.
103. Sánchez Solana L, Goñi Bilbao I, Ruiz García P, Díaz Agea JL, Leal Costa C. Disfunción neuromuscular adquirida en la unidad de cuidados intensivos. *Enferm Intensiva* 2018;29:128–37. <https://doi.org/10.1016/j.enfi.2018.03.001>.

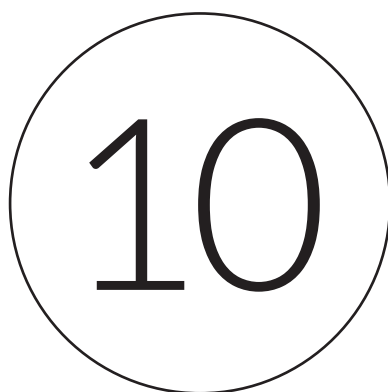
104. MacIntyre NR. Early Mobilization of Patients on Mechanical Ventilation: Worth the Effort and Expense? *Respir Care* 2019;64:112–3. <https://doi.org/10.4187/respcare.06801>.
105. Xue J, Gu X, Jiang L, Cheng N, Huang Q, Wang M. Summary of the best evidence for postural change in the prevention of pressure injury in critically ill adult patients. *Ann Palliat Med* 2021;10:11445–53. <https://doi.org/10.21037/apm-21-2521>.
106. Sousa I, Kapp S, Santamaria N. Positioning immobile critically ill patients who are at risk of pressure injuries using a purpose-designed positioning device and usual care equipment: An observational feasibility study. *Int Wound J* 2020;17:1028–38. <https://doi.org/10.1111/iwj.13365>.
107. Wang L, Li X, Yang Z, Tang X, Yuan Q, Deng L, et al. Semi-recumbent position versus supine position for the prevention of ventilator-associated pneumonia in adults requiring mechanical ventilation. *Cochrane Database Syst Rev* 2016;2016:CD009946. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009946.pub2>.
108. Ramos Rodríguez JM. Debilidad Adquirida en UCI y Movilización Precoz. Universidad de Cádiz, 2021.
109. Trinity JD, Richardson RS. Physiological Impact and Clinical Relevance of Passive Exercise/Movement. *Sports Medicine* 2019;49:1365–81. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01146-1>.
110. Hodgson C, Needham D, Haines K, Bailey M, Ward A, Harrold M, et al. Feasibility and inter-rater reliability of the ICU Mobility Scale. *Heart & Lung* 2014;43:19–24. <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2013.11.003>.
111. Ramsay P, Salisbury LG, Merriweather JL, Huby G, Rattray JE, Hull AM, et al. A rehabilitation intervention to promote physical recovery following intensive care: a detailed description of construct development, rationale and content together with proposed taxonomy to capture processes in a randomised controlled trial. *Trials* 2014;15:38. <https://doi.org/10.1186/1745-6215-15-38>.

112. Walsh TS, Salisbury LG, Merriweather JL, Boyd JA, Griffith DM, Huby G, et al. Increased Hospital-Based Physical Rehabilitation and Information Provision After Intensive Care Unit Discharge. *JAMA Intern Med* 2015;175:901. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2015.0822>.
113. Hodgson CL, Capell E, Tipping CJ. Early Mobilization of Patients in Intensive Care: Organization, Communication and Safety Factors that Influence Translation into Clinical Practice. *Crit Care* 2018;22:77. <https://doi.org/10.1186/s13054-018-1998-9>.
114. Hodgson CL, Stiller K, Needham DM, Tipping CJ, Harrold M, Baldwin CE, et al. Expert consensus and recommendations on safety criteria for active mobilization of mechanically ventilated critically ill adults. *Crit Care* 2014;18:658. <https://doi.org/10.1186/s13054-014-0658-y>.
115. Takaoka A, Utgikar R, Rochweg B, Cook DJ, Kho ME. The Efficacy and Safety of In-Intensive Care Unit Leg-Cycle Ergometry in Critically Ill Adults. A Systematic Review and Meta-analysis. *Ann Am Thorac Soc* 2020;17:1289–307. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.202001-059OC>.
116. Souza Oliveira S de. What are the Effects of the Cycle Ergometer on Critical Patients in the Intensive Care Unit? Systematic Review. *Online Journal of Cardiology Research & Reports* 2020;4. <https://doi.org/10.33552/OJCRR.2020.04.000590>.
117. Silva JR, Reboredo MM, Bergamini BC, Netto CB, Vieira RS, Pinto SP, et al. Impact of Early Passive Exercise With Cycle Ergometer on Ventilator Interaction. *Respir Care* 2020;65:1547–54. <https://doi.org/10.4187/respcare.07517>.
118. Waldauf P, Gojda J, Urban T, Hrušková N, Blahutová B, Hejnová M, et al. Functional electrical stimulation-assisted cycle ergometry in the critically ill: protocol for a randomized controlled trial. *Trials* 2019;20:724. <https://doi.org/10.1186/s13063-019-3745-1>.

119. Takaoka A, Utgikar R, Rochweg B, Cook DJ, Kho ME. The Efficacy and Safety of In-Intensive Care Unit Leg-Cycle Ergometry in Critically Ill Adults. A Systematic Review and Meta-analysis. *Ann Am Thorac Soc* 2020;17:1289–307. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.202001-059OC>.
120. Haghedooren E, Haghedooren R, Langer D, Gosselink R. Feasibility and safety of interactive virtual reality upper limb rehabilitation in patients with prolonged critical illness. *Australian Critical Care* 2024;37:949–56. <https://doi.org/10.1016/j.aucc.2024.06.004>.
121. Kolbe L, Jaywant A, Gupta A, Vanderlind WM, Jabbour G. Use of virtual reality in the inpatient rehabilitation of COVID-19 patients. *Gen Hosp Psychiatry* 2021;71:76–81. <https://doi.org/10.1016/j.genhosppsych.2021.04.008>.
122. Calderone A, Carta D, Cardile D, Quartarone A, Rifci C, Calabrò RS, et al. Use of Virtual Reality in Patients with Acquired Brain Injury: A Systematic Review. *J Clin Med* 2023;12:7680. <https://doi.org/10.3390/jcm12247680>.
123. Maggio MG, Latella D, Maresca G, Sciarrone F, Manuli A, Naro A, et al. Virtual Reality and Cognitive Rehabilitation in People With Stroke: An Overview. *Journal of Neuroscience Nursing* 2019;51:101–5. <https://doi.org/10.1097/JNN.0000000000000423>.
124. García-Bravo S, Cuesta-Gómez A, Campuzano-Ruiz R, López-Navas MJ, Domínguez-Paniagua J, Araújo-Narváez A, et al. Virtual reality and video games in cardiac rehabilitation programs. A systematic review. *Disabil Rehabil* 2021;43:448–57. <https://doi.org/10.1080/09638288.2019.1631892>.
125. Chen Y, Cao L, Xu Y, Zhu M, Guan B, Ming W. Effectiveness of virtual reality in cardiac rehabilitation: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Nurs Stud* 2022;133:104323. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2022.104323>.

126. Pittara M, Matsangidou M, Pattichis CS. Virtual Reality for Pulmonary Rehabilitation: Comprehensive Review. *JMIR Rehabil Assist Technol* 2023;10:e47114. <https://doi.org/10.2196/47114>.
127. Felten-Barentsz KM, van Oorsouw R, Klooster E, Koenders N, Driehuis F, Hulzebos EHJ, et al. Recommendations for Hospital-Based Physical Therapists Managing Patients With COVID-19. *Phys Ther* 2020;100:1444–57. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzaa114>.
128. Raurell-Torredà M, Regaira-Martínez E, Planas-Pascual B, Ferrer-Roca R, Martí JD, Blazquez-Martínez E, et al. Algoritmo de movilización temprana para el paciente crítico. Recomendaciones de expertos. *Enferm Intensiva* 2021;32:153–63. <https://doi.org/10.1016/j.enfi.2020.11.001>.
129. Perelló P, Gómez J, Mariné J, Cabas MT, Arasa A, Ramos Z, et al. Analysis of adherence to an early mobilization protocol in an intensive care unit: Data collected prospectively over a period of three years by the clinical information system. *Med Intensiva* 2023;47:203–11. <https://doi.org/10.1016/j.medin.2022.03.008>.
130. Parry SM, Nydahl P, Needham DM. Implementing early physical rehabilitation and mobilisation in the ICU: institutional, clinician, and patient considerations. *Intensive Care Med* 2018;44:470–3. <https://doi.org/10.1007/s00134-017-4908-8>.
131. Francisca D, Bennasar N, Manuel J, Rodríguez R. Proyecto: “Cuidados Críticos y Urgencias 2.0”. Análisis y estrategias de mejora. Master’s thesis. Universitat de les illes Balears, 2016.
132. Roman-Viñas R. Factores de éxito en la implementación de las tecnologías de la información y la comunicación en los sistemas de salud. El factor humano. *Med Clin (Barc)* 2010;134:39–44. [https://doi.org/10.1016/S0025-7753\(10\)70008-7](https://doi.org/10.1016/S0025-7753(10)70008-7).

133. Zhang L, Hu W, Cai Z, Liu J, Wu J, Deng Y, et al. Early mobilization of critically ill patients in the intensive care unit: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2019;14:e0223185. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223185>.
134. Li S, Xu X, Hu J, Wang Y. The effect of early rehabilitation on therapeutic outcomes in ICU patients on mechanical ventilation: A meta-analysis. *Int J Artif Organs* 2025;48:105–22. <https://doi.org/10.1177/03913988241311816>.
135. Escalon MX, Lichtenstein AH, Posner E, Spielman L, Delgado A, Kolakowsky-Hayner SA. The Effects of Early Mobilization on Patients Requiring Extended Mechanical Ventilation Across Multiple ICUs. *Crit Care Explor* 2020;2:E0119. <https://doi.org/10.1097/CCE.0000000000000119>.
136. de Vries M, Beumeler LFE, van der Meulen J, Bethlehem C, den Otter R, Christiaan Boerma E. The feasibility of virtual reality therapy for upper extremity mobilization during and after intensive care unit admission. *PeerJ* 2025;13:e18461. <https://doi.org/10.7717/PEERJ.18461/SUPP-2>.
137. Parke S, Hough CL, E. Bunnell A. The Feasibility and Acceptability of Virtual Therapy Environments for Early ICU Mobilization. *PM&R* 2020;12:1214–21. <https://doi.org/10.1002/pmrj.12352>.



ANEXOS

ANEXOS

10.1 Anexo 1: Cobertura mediática del proyecto de cicloergometría con realidad inmersiva

- Hospital del Mar. Bicicleta y realidad virtual para facilitar la recuperación de pacientes en la UCI [Internet]. 2021 Dic 21 [citado 2025 Jun 29]. Disponible en: <https://www.hospitaldelmar.cat/es/noticies/view.php?ID=1470&>
- Hospital del Mar. Bicicleta y realidad virtual para facilitar la recuperación de pacientes en la UCI [video en Internet]. YouTube; 2021 Dic 21 [citado 2025 Jun 29]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=97ADlvjbdg0>
- 20minutos. Bicicleta y realidad virtual para facilitar la recuperación de pacientes en la UCI [Internet]. 20minutos.es. 2021 Dec 21 [cited 2025 Jun 29]. Available from: <https://www.20minutos.es/noticia/4934473/0/bicicleta-y-realidad-virtual-para-facilitar-la-recuperacion-de-pacientes-en-la-uci/>
- Crónica Global. El Hospital del Mar incorpora la realidad virtual en la rehabilitación [Internet]. Crónica Global. 2021 Dec 21 [cited 2025 Jun 29]. Available from: https://cronicaglobal.elespanol.com/vida/20211221/el-hospital-mar-incorpora-la-en-rehabilitacion/636436432_0.html
- InnoHealth Academy. Bicycle and virtual reality to facilitate the recovery of patients in the ICU [Internet]. InnoHealth Academy. 2021 Dec 22 [cited 2025 Jun 29]. Available from: <https://innohealth.academy/bicycle-and-virtual-reality-to-facilitate-the-recovery-of-patients-in-the-icu/>
- La República. L'Hospital del Mar combina bicicleta i realitat virtual per facilitar la recuperació dels pacients a l'UCI [Internet]. La República. 2021 Dec 22 [cited 2025 Jun 29]. Available from: <https://www.larepublica.cat/minut-a-minut/lhospital-del-mar-combina-bicicleta-i-realitat-virtual-per-facilitar-la-recuperacio-dels-pacients-a-luci/>

- RTVE Notícies. Vídeo de cobertura sobre realitat virtual i bicicleta a l'UCI de l'Hospital del Mar [Internet]. X (antes Twitter). 2021 Dec 29 [cited 2025 Jun 29]. Available from: <https://x.com/rtvenoticies/status/1476178881698844676>
- Telecinco Noticias. Una terapia de realidad virtual ayuda a los pacientes de la UCI del Hospital del Mar [Internet]. Telecinco.es. 2021 Dec 30 [cited 2025 Jun 29]. Available from: https://www.telecinco.es/noticias/sociedad/terapia-realidad-virtual-pacientes-uci-hospital-del-mar-barcelona_18_3280473446.html
- Betevé. L'Hospital del Mar impulsa un sistema pioner de rehabilitació amb realitat virtual [Internet]. Betevé.cat. 2021 Dec 30 [cited 2025 Jun 29]. Available from: <https://beteve.cat/societat/hospital-mar-sistema-pioner-rehabilitacio-realitat-virtual/>

10.2 Anexo 2: Presentación a congresos

Parte de los resultados de esta tesis han sido presentados en diversos congresos y jornadas científicas. Las contribuciones pueden consultarse en este anexo.

Delgado Hita S, Pascual E, Marco E, Masclans JR, Marín J, Dot I, Andrés A, Sánchez C, Mateo M, Otero I. *Impacto de la implementación de un protocolo de movilización precoz en los pacientes críticos*. Abstract presentado en: 42è Congrés de la Societat Catalana de Medicina Intensiva i Crítica; 2022 Oct 18; Fira de Sabadell, Sabadell, España.

Delgado Hita S, Pascual E, Marco E, Masclans JR, Marín J, Dot I, Andrés A, Sánchez C, Mateo M, Otero I. *Impact of early mobilization protocol implementation in critically ill patients*. Abstract presented at: 35th Congress of the European Society of Intensive Care Medicine (ESICM LIVES); 2022 Oct 22–26; Paris, France.

Bujosa D, Delgado S, Vilà C, Pérez-Terán P, Castiñeira A, Ribó L, Portales E, Nebot P, Murcia C, Fuster C, Masclans JR. *Impacto de la cicloergometría y su combinación con realidad virtual inmersiva en pacientes críticos*. Abstract presentado en: 45è Congrés Anual de la Societat Catalana de Medicina Intensiva i Crítica; 2025 Mar 13; Món Sant Benet, España.

Bujosa D, Delgado S, Vilà C, Pérez-Terán P, Castiñeira A, Ribó L, Portales E, Nebot P, Murcia C, Fuster C, Masclans JR. *Impacto de la cicloergometría y su combinación con realidad virtual inmersiva en pacientes críticos*. Abstract presentado en: I Congreso sobre el Síndrome Post Cuidados Intensivos; 2024 Nov 27–29; Hospital del Mar, Barcelona, España.

10.3 Anexo 3: Abstract presentado en: 35th Annual Congress European Society of Intensive Care Medicine

Delgado Hita S, et al. Impact of the implementation of an early mobilization protocol on critically ill patients. *Intensive Care Med Exp*. 2022;10(Suppl 2):000599. Abstract presented at: ESICM LIVES 2022; 2022 Oct 22–26; Paris, France. doi:10.1186/s40635-022-00469-0

Impact of the implementation of an early mobilization protocol on critically ill patients S. Delgado Hita¹, E. Pascual¹, E. Marco¹, J. R. Masclans², J. Marin², I. Dot², A. Andres², C. Sanchez², M. Mateo², I. Otero² ¹Physical Medicine and Rehabilitation, Hospital del Mar, Barcelona, Spain; ²Critical Care Department, Hospital del Mar, Barcelona, Spain Correspondence: S. Delgado Hita *Intensive Care Medicine Experimental* 2022, 10(2): 000599 Introduction: Muscular weakness associated with patients of the Intensive Care Unit (ICU) is characterized by a reduction in muscle mass and loss of force that appears during or after a stay in the UCI, with no other apparent cause other than serious disease and treatment. In order to prevent this, early diagnosis and treatment may be decisive. There are many studies supporting the safety, feasibility and potential benefits of early mobilization (EM), but they have not yet been standardised in different geopolitical scenarios and the results are not homogenous. Objectives: To describe the impact of the implementation of an EM protocol on patients admitted in an Intensive Care Unit. Methods: Prospective, observational and cohort study in a polyvalent ICU. All patients admitted three months prior and after the implementation of an early mobilization protocol (Gen-Mar 2018 and 2020, PRE ICMx 2022, 10(Suppl 2):40 Page 267 of 274 and POST cohorts) were included. Demographic data, comorbidities, treatments, rehabilitation-related data, complications, ICU length of stay (LOS) and ICU mortality were collected. They were considered significant $p \leq 0.05$. IRB:2019/8868/I. Results: A total of 115 patients were included, 55% (n = 63) in the cohort PRE and 45% (n = 52) in the cohort POST. There were no differences in general characteristics between

both groups. In the cohort POST it was more frequent to receive rehabilitation when the EM was indicated (90% vs 46%, $p \leq 0.05$) with a trend to decrease the need for invasive mechanical ventilation (IMV, 66% vs 53%, $p = 0.162$), the presence of ulcers (30% vs 20%, $p = 0.203$) and mortality (27% vs 23%, $p = 0.436$). Among patients who received rehabilitation, those included in the cohort POST presented significantly higher mobility levels (postural changes, bed sitting, sitting in chair, and standing). Patients who received rehabilitation in the cohort POST required fewer IMV (57% vs 88%, $p \leq 0.05$), presented fewer ulcers (23% vs 50%, $p \leq 0.05$) and shorter ICU length of stay (LOS, 9 (4–13) vs 13 (8–19), $p = 0.05$) without differences in age, comorbidities or severity scores at admission compared to patients in the cohort PRE. Conclusion: Implementation of an early mobilization protocol in an ICU increases the mobility of critical patients and is accompanied by a decrease in the need for mechanical ventilation.