

Nuevas tecnologías para el apoyo sanitario en operaciones basadas en la telemedicina espacial: la telecografía robótica

Gallego-Colón E.^{1,3}, Ramos Rubio D.^{2,3}, Sánchez-Roldán A.⁴

Sanid. mil. 2023; 79 (3): 164-171, ISSN: 1887-8571

RESUMEN

Introducción: el progreso tecnológico, junto con la reducción de costes de las misiones espaciales, ha propiciado el desarrollo de tecnologías espaciales en todos los ámbitos, incluida la asistencia médica remota. La telemedicina permite una monitorización médica continua de la salud del astronauta antes, durante y después de las misiones espaciales tanto de corta como de larga duración. La telemedicina espacial y la militar comparten objetivos, retos y limitaciones, y, por tanto, la transferencia tecnológica entre ambas suscita interés.

Métodos: revisión sistemática bibliográfica de tecnologías de telemedicina espacial siguiendo las pautas de la colaboración Cochrane y PRISMA mediante los motores de búsqueda PubMed y Google Scholar.

Resultados: la búsqueda sistemática encontró múltiples artículos, proyectos tecnológicos y dispositivos de ultrasonografía empleados en el ámbito espacial tanto a nivel civil como gubernamental, incluyendo el sistema Ultrasound II, el proyecto ARTIS, T4MoD o TESSA.

Conclusión: a pesar de las aparentes ventajas, algunas tecnologías presentaron desafíos serios. El principal fue la integración del *software* entre las distintas empresas de telemedicina y el sistema satelital. De todas las tecnologías en telemedicina encontradas en este estudio y tras el análisis posterior, es el sistema de telecografía con brazo robotizado TESSA, o sistema Melody, el que presentaría un mayor interés para el ámbito militar. Consecuentemente, recomendamos una valoración más exhaustiva por parte de la Unidad de Telemedicina del Hospital Central de la Defensa «Gómez Ulla» y del Ministerio de Defensa.

PALABRAS CLAVE: Telemedicina, Ultrasonografía, Microgravedad y Vuelo espacial.

New technologies for health support in operations based on space telemedicine: Robotic tele-ultrasound

SUMMARY

Introduction: Technological progress, together with reduced cost of space missions, has led to the development of space technologies in all fields, including remote medical assistance. Telemedicine allows continuous medical monitoring of the astronaut's health before, during and after both short and long-term space missions. Space and military telemedicine share objectives, challenges and limitations, and therefore, field transfer of technology has a big relevance.

Methods: Systematic literature review of space telemedicine technologies following the guidelines of the Cochrane Collaboration and PRISMA thanks to the PubMed and Google Scholar search engines.

Results: The systematic review revealed several articles, technological projects and ultrasonography devices used in the space field, both at civil and government levels, including the Ultrasound II system, the ARTIS, T4MoD or TESSA project.

Conclusion: Despite the apparent advantages, some technologies presented serious challenges, such as system and software integration between the different telemedicine companies and satellite systems. Among the technological advances in the telemedicine field found in this study, upon careful consideration, the TESSA system or robot-based tele-echography Melody system is of great interest in the military field and recommended for a more extensive assessment by the Telemedicine Unit of the Hospital Central de la Defensa "Gómez Ulla" and the Spanish Ministry of Defense.

KEYWORDS: Telemedicine, Ultrasonography, Microgravity and space flight.

1. Servicio de Sanidad. Escuela Naval Militar.

2. Unidad Médica de Aeroevacuación.

3. Escuela Militar de Sanidad.

4. Enfermería de la Academia General del Aire.

Dirección para correspondencia: Enrique Gallego Colón, MD., PhD. Teniente médico. Servicio de Sanidad de la Escuela Naval Militar. Plaza España, s/n, 36920 Marín, Pontevedra. Teléfono: 986804843. RPV: 8244843 Email: egalcol@mde.es

Recibido: 07 de noviembre de 2022

Aceptado: 11 de agosto de 2023

DOI: 10.4321/S1887-85712023000300003

ABREVIATURAS

ECG: electrocardiograma

EI: Estación Espacial Internacional

EE.UU.: Estados Unidos

ESA: Agencia Espacial Europea

FF. AA.: Fuerzas Armadas

FAST: Focused Assessment Sonography for tTrauma

HCD: Hospital Central de la Defensa

MESH: medical subject headings

NASA: National Aeronautics and Space Administration (agencia espacial estadounidense)
OM: oficial médico de la tripulación
SARS-CoV-2: Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2
SVA: soporte vital avanzado
SVB: soporte vital básico
TCCC: Tactical Combat Casualty Care
TESSA: Tele-echography for the European Space Agency
TIC: tecnologías de la información y comunicaciones
TN: territorio nacional
ZO: zona de operaciones

INTRODUCCIÓN

La telemedicina es la prestación de asistencia sanitaria y el intercambio de conocimientos médicos a distancia mediante el uso de tecnologías de la información e infraestructura de comunicaciones (TIC)⁽¹⁾. El empleo de la telemedicina radica en tres componentes clave que incluyen: 1) brindar apoyo, seguimiento clínico y mejora de la salud, 2) superar las barreras geográficas, conectando usuarios a distancia, y 3) la utilización de tecnologías de la información y las comunicaciones. Actualmente, la telemedicina presenta diversas aplicaciones tanto en el ámbito espacial, como en el terrestre y el militar⁽²⁾. La monitorización remota de la tripulación y de su salud así como del estado medioambiental y estructural de la estación espacial es una parte integral de las misiones espaciales. A medida que las misiones se vuelven más complejas y duraderas, los astronautas se exponen a multitud de retos que aumentan el riesgo de sufrir lesiones y enfermedades. Por ello, los astronautas requieren un seguimiento médico más exhaustivo⁽³⁾. Actualmente, los astronautas en órbita pueden comunicarse, recibir asesoramiento y soporte médico por parte del control de misión. Sin embargo, la atención médica en el espacio está supeditada a factores como la ingravidez, la limitación de recursos, los riesgos intrínsecos del ambiente espacial y los tiempos de latencia.

El interés renovado en el desarrollo de tecnologías de telemedicina reside en que, al igual que en nuestras Fuerzas Armadas (FF. AA.), los oficiales médicos (OM), es decir, los astronautas a cargo de las operaciones sanitarias, no suelen ser especialistas. Un método para mitigar la falta de formación y experiencia de los OM es mediante la consulta remota con especialistas en la Tierra mediante un enfoque de «cerebros en el suelo y manos en órbita». Por lo tanto, el servicio de telemedicina de las agencias espaciales incluye desde cirujanos hasta intensivistas, enfermeros, ingenieros biomédicos y consultores^(4,5,6). El éxito de los programas de telemedicina espacial reside en la integración de distintos sistemas para adquirir, transmitir, distribuir y archivar cantidades significativas de información médica privada tanto antes y durante el vuelo como en actividades posteriores. Actualmente, el enlace de telemedicina permite conexiones en tiempo real de vídeo e imagen (ojo, oído, nariz, garganta y piel), procedimientos de diagnóstico por ultrasonido, análisis clínicos de laboratorio, medición de datos mediante electrocardiograma y comprobación de la saturación de oxígeno, la presión arterial y el ritmo cardiaco y respiratorio^(7,8). Del mismo modo, la retransmisión en tiempo real permite aliviar la carga sobre el OM, ya que este puede consultar criterios de salud concretos con los médicos en tierra, y facilitar así el seguimiento de los protocolos sanitarios.

Es decir, se trata de un escenario muy parecido al que se enfrenta la telemedicina durante un despliegue militar.

En los últimos años, la tecnología de ultrasonografía ha experimentado un avance considerable. Se han realizado numerosos estudios sobre la necesidad y la rentabilidad de las técnicas de imagen y, en particular, sobre el uso del teleultrasonido, para un adecuado diagnóstico y tratamiento precoz⁽⁹⁻¹³⁾. Actualmente, la EEI está equipada con un equipo de ultrasonido que proporciona al personal médico en tierra información anatómica y funcional en tiempo real⁽¹⁴⁾. Además, se han realizado estudios en varias especialidades médicas incluyendo oftalmología, cardiología y traumatología con el fin de evaluar su utilidad diagnóstica^(7,14-17). Sin embargo, el tener un equipo de ultrasonido en la EEI no es garante de una mejor capacidad de atención médica si no se dispone de un usuario experimentado, especialmente durante una situación de emergencia⁽¹⁴⁾. Desde 2012, la EEI consta de un sistema portátil Ultrasound II que supone un avance considerable en la capacidad de imagen de sus predecesores (figura 4). Este sistema presenta una interfaz mejorada adaptada a la manipulación remota y un avanzado procedimiento de envío de datos para su posterior análisis en tierra. Además, permite captar imágenes mejoradas en color y *doppler*, así como escaneo panorámico y de profundidad.



Figura 1. Sistema Ultrasound II (Vivid Q, General Electric, EE.UU.). El teclado de colores permite una orientación remota del dispositivo. Se emplea agua en lugar de gel de ultrasonido debido al cambio en la tensión superficial en ingravidez. Cortesía de la NASA

De forma paralela, también se han desarrollado proyectos para demostrar si un usuario sin experiencia es capaz de obtener imágenes con capacidad diagnóstica mediante la telemedicina y de aprender de forma remota. En el estudio de Hurst *et al.*, se evaluaron dos tipos de sistemas de aprendizaje. Por un lado, un sistema mediante aprendizaje remoto o *telementoring*, donde un experto en ultrasonografía guía al usuario. Por otro, uno basado en la herramienta de aprendizaje OPEL (Onboard Proficiency Enhancer-light). Los resultados indican que el personal sin experiencia que recibe instrucciones de un experto en ultrasonidos mediante técnicas de telemedicina es capaz de generar imágenes de mejor calidad^(18,19). Estos resultados han permitido el establecimiento de un precedente en telemedicina. De hecho, este sistema de *telementoring* y/o *teleguiding*

permitió el diagnóstico en tiempo real de una trombosis obstructiva de la vena yugular interna en un astronauta por parte del personal de abordaje sin experiencia previa⁽²⁰⁻²²⁾. Por consiguiente, estos experimentos demuestran el beneficio y la necesidad de la teleconsulta en misiones de larga duración.

Actualmente, el empleo de la telemedicina y la tele-salud en el ámbito militar se centra en: 1) apoyo remoto en capacitación y educación de médicos de atención primaria y técnicos sanitarios, y mantenimiento y empleo de equipos médicos; 2) teleconsulta entre médicos y otros proveedores de atención médica, así como en aquellos casos que requieran una segunda opinión (por ejemplo: signos vitales, electrocardiograma, ecografía y endoscopia); 3) servicios de telediagnóstico en lugares remotos sin expertos especialistas locales (por ejemplo, cámara de exploración externa y fuente de luz fría: otoscopio, dermatoscopio, oftalmoscopio); 4) teleasistencia quirúrgica o *telementoring*; 5) condiciones y situaciones que abarcan desde desastres naturales hasta rastreadores COVID; y 6) atención médica en el campo de batalla. En España, la telemedicina militar está liderada por el Servicio de Telemedicina del Hospital Central de la Defensa (HCD) «Gómez Ulla». Este servicio permite la comunicación entre profesionales, lo que ofrece un mejor apoyo a las unidades sanitarias desplegadas en zona de operaciones (ZO)⁽²³⁾. Además, permite mejorar el proceso diagnóstico y terapéutico *in situ*, ofreciendo una calidad asistencial equivalente a la ofrecida en territorio nacional (TN). Del mismo modo, este servicio evita evacuaciones innecesarias y también sirve de apoyo moral al contingente desplazado⁽²³⁾.

La conquista del espacio lleva consigo el desarrollo tecnológico en múltiples disciplinas. Es la transversalidad de dichas tecnologías, especialmente en el ámbito de la telemedicina militar, el objeto de este estudio. Esta revisión sistemática se centra en identificar las tecnologías de imagen en ultrasonografía desarrolladas en el área de la telemedicina espacial, así como en abordar aquellos avances e innovaciones tecnológicas que presentan una aplicación potencial en las FF. AA. Esta revisión detalla los siguientes objetivos:

- Búsqueda de tecnologías y dispositivos de imagen en telemedicina tanto en desarrollo como implementados en la actualidad que:
 - permitan al personal cualificado sin experiencia médica operar el dispositivo y transmitir la información.
 - permitan a un especialista operar el dispositivo directamente de forma remota.
- Proponer nuevas tecnologías de telemedicina espacial con potencial relevancia para las FF. AA. y para el Cuerpo Militar de Sanidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Esta revisión sistemática se realizó siguiendo las pautas de la colaboración Cochrane y PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*) (anexo I)^(24,25). El motor de búsqueda empleado fue PubMed, aunque se utilizó Google Scholar para las búsquedas complementarias. La estructura de búsqueda básica fue la combinación de los términos *MESH telemedicine AND ultrasonography AND microgravity OR spaceflight* desde el 1999 al 2022. Conjuntamente, se han valorado proyectos en telemedicina de las páginas web de la Agencia Espacial Europea (ESA), la agen-

cia espacial americana (NASA), así como de empresas subsidiarias que, por su carácter comercial, no están disponibles en los motores de búsqueda especificados. En cuanto a los criterios de inclusión y exclusión, esta revisión sistemática ha seleccionado aquellas tecnologías de relevancia en el ámbito de la telemedicina que están en desarrollo o están siendo implementadas en el ámbito espacial o terrestre. Se han excluido de este trabajo las tecnologías en ultrasonografía desarrolladas en los inicios de la telemetría y/o durante los proyectos Mercury, Gemini, Apollo, Skylab y Mir por estar obsoletas, en desuso y actualmente superadas por los nuevos avances tecnológicos y en telecomunicación. Se han excluido los manuscritos, proyectos o tecnologías en telemedicina de más de diez años sin continuidad en la actualidad, y se han seleccionado tan solo los artículos desde 2012 al 2022. La principal limitación de este estudio sistemático reside en la búsqueda, únicamente centrada en aquellas aplicaciones y dispositivos tecnológicos directamente derivados de la telemedicina espacial y su aplicación clínica. Sin embargo, hay que tener en cuenta que han existido multitud de proyectos dedicados a la elaboración de protocolos de internet, al desarrollo satelital y a interfaces para la recepción y la transmisión de información que no se han tenido en cuenta.

RESULTADOS

A continuación se detallan los proyectos e investigaciones en el ámbito de la telemedicina espacial desarrollados durante misiones de corta y larga duración. El objetivo principal de estas nuevas tecnologías y dispositivos es que puedan ser operados por cualquier OM y/o sanitario sin experiencia, proporcionando un alto rendimiento diagnóstico y terapéutico ya sea con formación previa^(18,22,26) o teleguiado desde el control de misión⁽²⁶⁾. De las siete publicaciones encontradas durante la realización de esta búsqueda sistemática, solo cuatro pasaron los criterios de inclusión y el proceso de cribado^(18,22,26,27).

Proyecto ARTIS. El estudio del profesor Arbeille *et al.*, de 2018⁽²⁶⁾, se basa en el desarrollo de un novedoso sistema de diagnóstico remoto mediante telecografía motorizada. En dicho estudio, los autores diseñaron un sistema de ultrasonido basado en la modificación de un ecógrafo convencional (Orcheolite TE, Sonoscanner, París, Francia). El sistema consta de tres componentes: 1) la máquina de ultrasonido, que funciona de igual manera que un dispositivo convencional, 2) una sonda o transductor de ultrasonido con un motor rotatorio y 3) un sistema de videoconferencia. La robotización del transductor permite la rotación e inclinación del mismo para facilitar la telemanipulación por parte del especialista. Sin embargo, el sistema no permite su reposicionamiento, que debe realizarse por parte del paciente o el OM (figura 2). El transductor consta de un soporte anular que asegura el contacto con la piel y su estabilidad, mientras que el experto en tierra ajusta la orientación del mismo, la función y la configuración del ecógrafo. De forma adicional, el sistema consta de un teclado estándar y un *software* (TeamViewer) para facilitar al ecografista o al OM el ajuste de la imagen (ganancia, profundidad, etc.) y las funciones de disparo (Doppler, color, 3D, etc.). Durante la fase experimental, el control remoto del ecógrafo y la orientación del transductor se realizaron con éxito a pesar de existir un retraso de entre uno y dos segundos entre el momento de envío y el instante en que la imagen actuali-

zada fue devuelta al operador⁽²⁷⁾. Durante el examen y la exploración ecográfica, el operador, desde el control de misión, pudo activar y congelar la imagen y modificar la configuración del ecógrafo. Se consiguió, de hecho, adquirir imágenes de órganos abdominales (hígado, vesícula biliar, vía biliar) y vasos (venas porta y hepáticas) usando modo B, Doppler, 3D y RF en tiempo real, lo que redujo el tiempo necesario para adquirir la imagen final⁽²⁷⁾. Sin embargo, el sistema presentó varias limitaciones, como 1) el grado de movimiento de las sondas motorizadas, 2) el grado de entrenamiento del operador en el momento de localizar la ventana ecográfica óptima y 3) el tiempo de latencia en las comunicaciones. La efectividad del sistema radicó en mantener una latencia inferior a tres segundos y, en las señales del transductor y teclado, inferior a un segundo. Utilizando el *software* de teleconferencia AXIS se facilitó la comunicación directa entre el especialista y el OM o paciente para la localización de la ventana ecográfica correcta utilizando puntos de referencia conocidos y fáciles de encontrar (esternón, línea mamilar borde costal...). En estos ensayos, el OM era un operador sin experiencia médica previa. Una vez posicionado el transductor por el técnico, el ecografista puede completar la exploración gracias a la teleoperatividad del sistema.

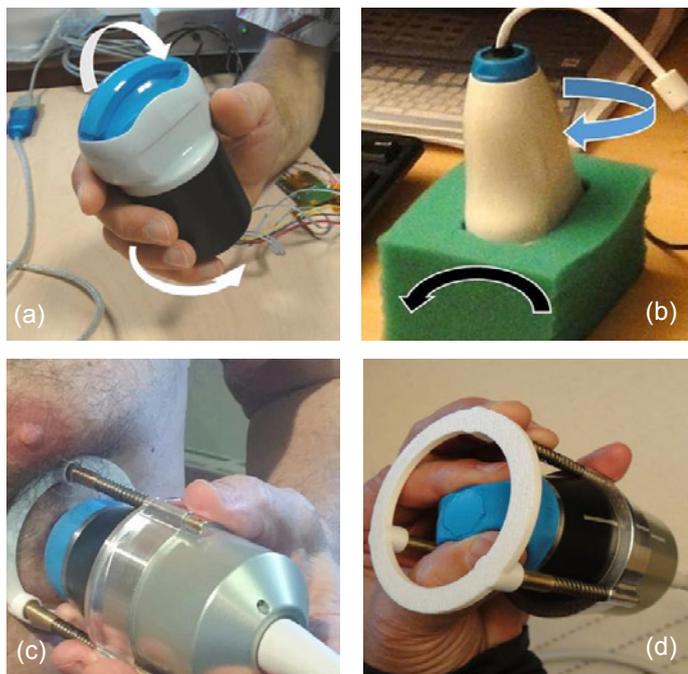


Figura 2. Modificaciones realizadas para obtener un transductor abdominal motorizado⁽²⁶⁾. Transductor de matriz curva (3,5 a 5 MHz) controlado de forma remota para permitir la inclinación y rotación (flechas) por el ecografista, que manipula la sonda de forma remota (a y b). Sonda cardíaca motorizada, vista apical (c) y detalle del soporte anular retráctil (d)

En 2007, este novedoso sistema se evaluó en la EEI bajo el proyecto ARTIS (*Advanced Robotic Tele-echography Integrated Service*) de la ESA. El objetivo del proyecto fue determinar la viabilidad de los servicios de teleasistencia médica vía satélite utilizando técnicas de imagen multimodales. Se realizaron seis sesiones de ultrasonido mediante el sistema de telemanipulación robótica a los astronautas de la EEI⁽²⁷⁾. El proyecto fue tan exitoso que también

se evaluó el diagnóstico remoto en ambientes aislados en la Tierra (por ejemplo, en la estación Concordia en la Antártida o en la base NEEMO, en misiones de mantenimiento de la paz, desastres naturales, zonas rurales aisladas, plataformas petrolíferas y/o grandes cruceros)^(28,29).

Proyecto T4MOD. El proyecto de telemedicina T4MoD (*Telemedicine for Ministry of Defence*), de la ESA, fue destinado a los servicios de sanidad militar de Francia, Alemania, Italia y España con la colaboración de seis empresas europeas, hospitales en Europa y en ZO⁽³⁰⁾. Iniciado en 2011, el proyecto T4MoD se centró en definir, desarrollar y validar un sistema de telemedicina fácil de usar junto con una red de satélites con una IP interoperable y un sistema de comunicación por satélite de 2 Mb/s simétricos. La parte más innovadora del proyecto fue la forma de gestión de los recursos satelitales y su arquitectura HUB, que permitía una comunicación directa entre estaciones remotas y evitaba el doble salto. Además, los terminales se podían reconfigurar de forma automática sin necesidad de intervención humana, como si de una agenda electrónica de red satelital se tratase. De esta forma se facilitó la asistencia remota de equipos médicos desplegados en ZO. El sistema consistía en una plataforma de comunicación inteligente capaz de coordinar diferentes especialidades médicas. En España, este sistema de telemedicina por satélite T4MoD se estrenó por primera vez en 2015 por parte de la Unidad de Sanidad del XXIII contingente español en el Líbano. El sistema permitió gestionar una atención programada y de emergencias y consultar con los servicios y especialistas de cualquiera de los países participantes. Al mismo tiempo, se pudo examinar al paciente y ofrecer una imagen ecográfica en directo. La principal ventaja que supuso este sistema fue la velocidad de transmisión, treinta y cinco veces superior al sistema anterior, además de poder emitir hasta cuatro pruebas diagnósticas al mismo tiempo y enviar dichos datos en diferido⁽³⁰⁻³²⁾.

Proyecto TESSA (*Tele-Echography for the European Space Agency*). Se basa en un brazo robótico con movilidad remota unido a un transductor de ultrasonido⁽³⁴⁾. El sistema robótico de telemanipulación permite a un médico experto realizar exámenes de ultrasonido en la EEI o en contextos aislados en la tierra de forma remota⁽⁷⁾. El sistema consta de tres componentes: 1) la máquina de ultrasonido, que funciona de igual manera que un dispositivo convencional, 2) una sonda o transductor de ultrasonido conectada a un brazo robótico y 3) un sistema de videoconferencia. Mediante este último y gracias a una conexión a internet, el especialista se conecta con TESSA de forma remota, lo que también facilita la comunicación con el paciente y con el técnico. El técnico, que puede ser un OM o personal sanitario desplegado, es el encargado de colocar tanto al paciente en la posición adecuada como el brazo robótico sobre él. Mediante la conexión a internet, el brazo robótico se vincula con el sistema de telemedicina del especialista, lo que permite operar de manera remota el sistema de ultrasonido en tiempo real (figura 3). El especialista mueve la sonda de ultrasonido con un *joystick* según la ventana que desea visualizar para poder generar un diagnóstico. Este sistema es un avance considerable al sistema ARTIS, ya que el brazo robótico permite al propio especialista cambiar de forma remota la ventana ecográfica, opción que no es posible con el sistema ARTIS. Finalmente, las imágenes generadas son analizadas *a posteriori* según los protocolos y guías establecidas en el uso convencional de ultrasonido en telemedicina.

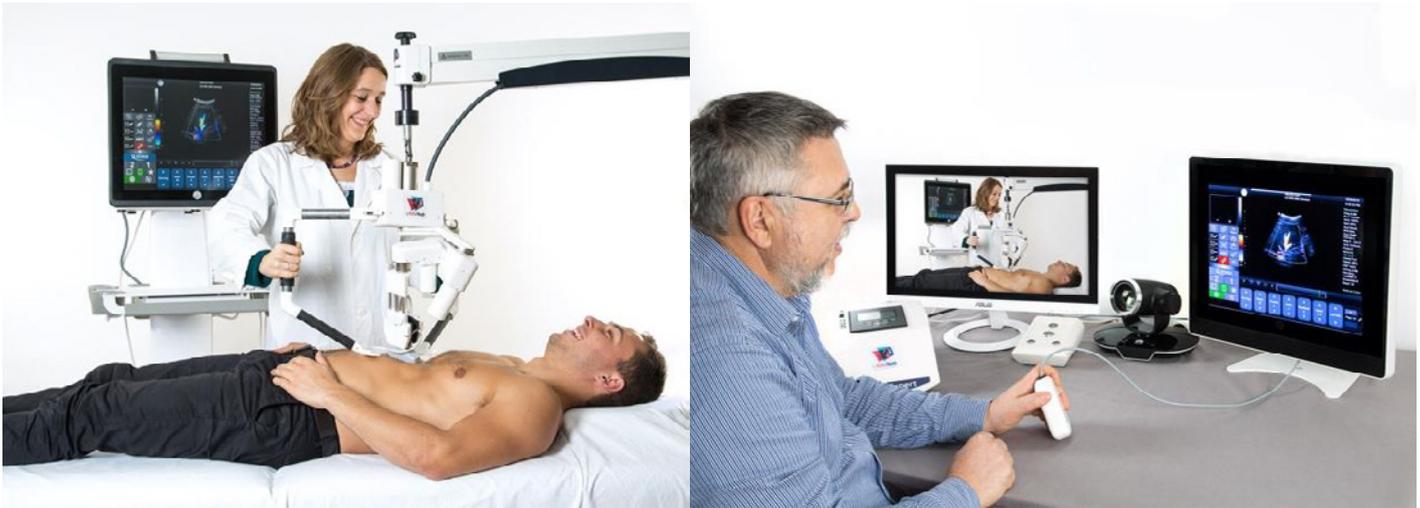


Figura 3. Sistema TESSA en su versión terrestre (Melody systems). Consta de tres componentes: la máquina de ultrasonido, el propio sistema Melody en forma de sonda de ultrasonido conectada a un brazo robótico, y un sistema de videoconferencia. Cortesía de AdEchoTech

Posteriormente, el sistema TESSA en su versión terrestre se rebautizó como sistema Melody y fue comercializado por la empresa francesa AdEchoTech. La eficacia y la seguridad del sistema Melody está siendo actualmente evaluada para su empleo en la telemedicina terrestre en los ensayos clínicos NCT02607475 y NCT04776174 tanto en el ámbito de la cardiología como en pacientes con SARS-CoV-2^(34,35). El sistema Melody de teleecografía robótica se ha empleado en el ámbito hospitalario para la realización de ecografías a distancia. Es muy interesante su implementación en hospitales y regiones remotas ya que permite retransmitir datos a especialistas que se encuentran en centros más grandes para su interpretación y análisis. En 2010, el sistema Melody se evaluó por los miembros del cuerpo militar de sanidad de las FF. AA. españolas desplegado en el ROLE 2E de Herat, en Afganistán. Gracias al establecimiento de un enlace por satélite con el servicio de telemedicina del HCD «Gómez Ulla» se realizó la primera sesión de teleecografía robótica de las FF. AA. Desde el servicio de telemedicina del HCD, el experto en ultrasonido, un radiólogo, manejó mediante un telemando el transductor ecográfico instalado en el brazo robótico colocado sobre el paciente, lo que permitió que se realizaran las primeras pruebas de exploración en tiempo real. Las principales limitaciones fueron el ancho de banda disponible (512 Kb/s); la sensibilidad de movimiento sonda-transductor; el tiempo de montaje del equipo; la necesidad de un técnico que no solo mantuviera el robot en la posición deseada por el especialista, sino que también moviera el brazo para cada nueva ventana ecográfica; una única entrada de video (por ejemplo, era necesario alternar entre la cámara principal y la señal del transductor); una orientación espacial discordante entre el telemando (que, por ejemplo, se encontraba en posición transversal) con la orientación espacial del transductor instalado en el robot (que se encontraba en posición longitudinal); y un pequeño retardo en la transmisión. La prueba consistió en comprobar la utilidad y fiabilidad de una ecografía abdominal y en obtener una correcta imagen ecográfica de todas las ventanas exploradas. Se determinó la necesidad de conseguir una ventana *picture-in-picture* para obtener de forma simultánea la imagen ecográfica y la de la posición espacial del telemando y del brazo robótico. En el ámbito civil, el sistema Melody se probó con éxito en territorio nacional por parte del per-

sonal del Servicio de Radiología del Hospital Clínico San Cecilio y del Hospital Virgen de las Nieves en marzo de 2022. El propósito de esta prueba fue probar un nuevo sistema para realizar ecografías a distancia y, de este modo, reducir las desigualdades sanitarias en las zonas rurales y aumentar la seguridad de los pacientes en tiempos de pandemia⁽³⁷⁾.

DISCUSIÓN

Existen multitud de similitudes entre la teleasistencia durante los vuelos espaciales tripulados y la que es necesaria en ambientes remotos o en ZO. Por consiguiente, las nuevas tecnologías y los servicios de telediagnóstico desarrollados para el ámbito espacial se pueden, potencialmente, implementar de forma similar en el ámbito militar. La búsqueda bibliográfica de esta revisión sistemática ha encontrado una nueva tecnología en el ámbito de la teleecografía que presenta un uso potencial para la sanidad militar dentro de las FF. AA. El sistema Melody, basado en un brazo robótico con movilidad remota unido a un transductor de ultrasonido, podría ser de utilidad en misiones de apoyo, de mantenimiento de la paz y de ayuda humanitaria con pocas o ninguna limitación desde el punto de vista de la telemedicina. De fácil instalación y manipulación, el sistema Melody permitiría ofrecer atención primaria y secundaria a hospitales locales faltos de especialistas gracias a su empleo por parte de un especialista en ecografía de forma remota. Con la implantación del sistema Melody, y tras el éxito obtenido en las pruebas en Herat por parte de la Sanidad Militar Española, se podría potencialmente agilizar los procesos de diagnóstico en tiempo real y la realización de FAST (*Focused Assessment Sonography for Trauma*) en la valoración y el seguimiento del paciente politraumatizado en ZO en Role 1 o Role 2 sin especialista en radiología.

El establecimiento de equipos de telemedicina de vanguardia mediante métodos de transferencia tecnológica que combinen la experiencia médica multidisciplinar y el progreso tecnológico supondría un aumento en las capacidades sanitarias de las FF. AA. Un aspecto fundamental y diferenciador entre la telemedicina espacial y militar con respecto a la telemedicina civil es el papel que

tiene en la asistencia primaria. En casos de urgencia médica en grandes urbes, lo que se premia es la atención médica y el traslado al hospital en el menor tiempo posible, relegando la telemedicina a un segundo plano. En cambio, en circunstancias de necesidad en ambientes rurales, en ZO, en el espacio o ambientes extremos terrestres, la telemedicina es la única opción disponible. En muchas ocasiones, en estos escenarios, solo hay disponible personal técnico no especializado y, en el mejor de los casos, un enfermero o un médico. Por tanto, disponer de tecnología en telemedicina de vanguardia es la única alternativa posible para salvar la distancia y dar apoyo remoto al personal sanitario o al propio paciente. Las limitaciones de la telemedicina espacial y militar no solo se presentan en el proceso de desarrollo tecnológico, sino también en la falta de normas universales, en la disponibilidad de señal, en la calidad y rapidez de la transferencia de información, en los aspectos éticos y legales, en la seguridad de los datos, y en la falta general de apoyo⁽³⁸⁻⁴⁰⁾. La posibilidad de llevar la atención sanitaria a lugares remotos y ofrecer así una interacción inmediata y personalizada con el paciente tanto civil como militar mediante la telemedicina permite incrementar la visibilidad exterior, la excelencia profesional y la calidad asistencial del cuerpo militar de sanidad dentro y fuera de las FF. AA. Finalmente, el empleo de la telemedicina y equipos de vanguardia en las FF. AA. facilita la cooperación no solo entre proveedores de servicios de salud civiles y militares, sino también entre los servicios médicos de las fuerzas armadas aliadas⁽⁴¹⁾. Finalmente, otra limitación es el nivel de formación de los OM y del personal militar con cierto grado de responsabilidad sanitaria. El éxito de los programas de telemedicina en el ámbito militar radica en la integración de los distintos sistemas con el fin de adquirir, transmitir, distribuir y archivar cantidades significativas de información médica privada tanto antes y durante la misión como en actividades posteriores o mediante un enlace de telemedicina. Consecuentemente, esto implica coordinar y trabajar de manera conjunta en el desarrollo y la utilización de sistemas y dispositivos de telemedicina integrados dentro del marco de la OTAN⁽⁴¹⁾.

Las mayores desventajas de la telemedicina son los tiempos de latencia, la integración de los sistemas, la calidad de las comunicaciones y el nivel de preparación del OM, especialmente fuera de órbita terrestre, aunque las evidenciadas durante el despliegue de las FF. AA. en ZO son muy similares. La implantación de equipos de telemedicina de vanguardia que combinen la experiencia médica multidisciplinar con los avances tecnológicos y la portabilidad supone el siguiente paso en el apoyo sanitario a nuestros efectivos dentro de las FF. AA. De todas las tecnologías en telemedicina encontradas, el sistema Melody, basado en un brazo robótico unido a un transductor ecográfico, se propone para una valoración más exhaustiva por parte de la Unidad de Telemedicina del Hospital Central de la Defensa «Gómez Ulla», y del Ministerio de Defensa por el interés militar que presenta.

AGRADECIMIENTOS

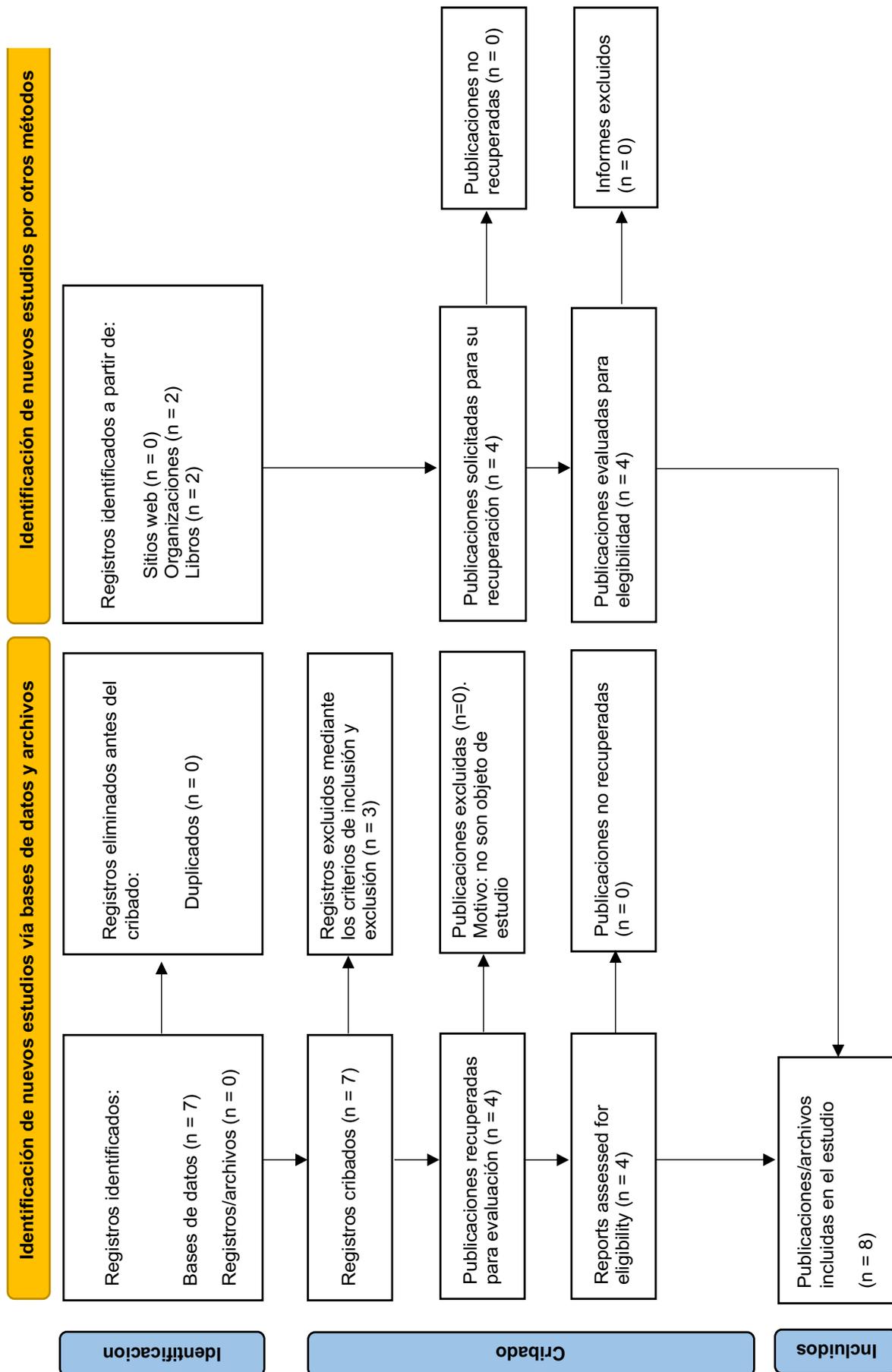
Los autores no solo agradecemos la cortesía de NASA y de AdEchoTech por el empleo de sus imágenes para este trabajo original, sino también la colaboración de la Unidad de Telemedicina del Hospital Central de la Defensa «Gómez Ulla» en la realización de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. NATO. (2018) *AMedP-5.3. Development and implementation of telemedicine systems*.
2. Doarn, C. R. y Merrell, R. C. (2014). Telemedicine in Space Medicine and Extreme Terrestrial Analogs [en línea]. *Telemed e-Health*. 20, pp. 405-407. Disponible en: <https://doi.org/10.1089/tmj.2014.9989>.
3. Doarn, C. R. y Merrell, R. C. (2011). Reflections of Space Exploration and Its Impact on Telemedicine [en línea]. *Telemed e-Health*. 17, pp. 507-508. Disponible en: <https://doi.org/10.1089/tmj.2011.9978>.
4. Descartín, K. S., Menger, R. P. y Watkins, S. D. (2015). Application of Advances in Telemedicine for Long-Duration Space Flight [en línea]. *NASA Rep 2015*. Disponible en: <https://doi.org/NASA/TM-2015-218562>.
5. Doarn, C., Polk, J. y Shepanek, M. (2019). Health challenges including behavioral problems in long-duration spaceflight [en línea]. *Neurol India*. 67, p. 190. Disponible en: <https://doi.org/10.4103/0028-3886.259116>.
6. Barratt, M. R., Baker, E. S. y Pool, S. L. (2019). Principles of Clinical Medicine for Space Flight [en línea]. *NY: Springer New York*. New York. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9889-0>.
7. Balasingam, M., Ebrahim, J. y Ariffin, I. A. (2017). Tele-echocardiography – Made for astronauts, now in hospitals [en línea]. *Indian Heart*. 69, pp. 252-254. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ihj.2017.01.010>.
8. Gallego-Colón, E. y otros. (2020). Cardiology on the cutting edge: updates from the European Society of Cardiology (ESC) Congress 2020. [en línea] *BMC Cardiovasc Disord* 2020, 20. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12872-020-01734-4>.
9. Balasingam, M. y Sivalingam, B. (2015). Future of Tele-echocardiography. *GSTF J Nurs Heal Care* [en línea], 3. Disponible en: https://doi.org/10.5176/2345-718X_3.1.109.
10. Law, J. y Macbeth, P. B. (2011). Ultrasound: from Earth to space [en línea]. *Mcgill J Med* 13, p. 59. Disponible en: <https://doi.org/22399873>.
11. Otto, C. y otros. (2013). Evaluation of Tele-ultrasound as a Tool in Remote Diagnosis and Clinical Management at the Amundsen-Scott South Pole Station and the McMurdo Research Station [en línea]. *Telemed e-Health*. 19, pp. 186-191. Disponible en: <https://doi.org/10.1089/tmj.2012.0111>.
12. Kim, C. y otros. (2016). Feasibility Study of Smartphone-Based Telesonography for Evaluating Cardiac Dynamic Function and Diagnosing Acute Appendicitis with Control of the Image Quality of the Transmitted Videos [en línea]. *J Digit Imaging*. 29, pp. 347-356. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10278-015-9849-6>.
13. Palop Asunción, J. y otros. (2018). Aplicaciones de la telemedicina en montaña y entornos hostiles [en línea]. *Sanid Mil*. 74, pp.175-178. Disponible en: <https://doi.org/10.4321/s1887-85712018000300007>.
14. Sargsyan, A. E. y otros. (2005). FAST at MACH 20: Clinical Ultrasound Aboard the International Space Station [en línea]. *J Trauma Inj Infect Crit Care*. 58, pp. 35-39. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/01.TA.0000145083.47032.78>.
15. Chiao, L. y otros. (2005). Ocular Examination For Trauma; Clinical Ultrasound Aboard The International Space Station [en línea]. *J Trauma Inj Infect Crit Care*. 58, pp. 885-889. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/01.TA.0000162456.37962.01>.
16. Vernice, N. A. y otros. (2020). Long-term spaceflight and the cardiovascular system [en línea]. *Precis Clin Med*. 3, pp. 284-291. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/pcmedi/pbaa022>.
17. Scott, J. M. y otros. (2021). Teleguided self-ultrasound scanning for longitudinal monitoring of muscle mass during spaceflight [en línea]. *IScience*. 24, art. 102344. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102344>.
18. Hurst, V. W. y otros. (2015). Concept of Operations Evaluation for Using Remote-Guidance Ultrasound for Exploration Spaceflight [en línea]. *Aerosp Med Hum Perform*. 86, pp. 1034-1038. Disponible en: <https://doi.org/10.3357/AMHP.3244.2015>.
19. Kirkpatrick, A. W. (2019). Point-of-care resuscitation research: From extreme to mainstream: Trauma Association of Canada Fraser Gurd Lecture 2019 [en línea]. *The journal of trauma and acute care surgery*. 87(3), pp. 571-581. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002375>.
20. Garcia, K. M. y otros. (2018). Real-time Ultrasound Assessment of Astronaut Spinal Anatomy and Disorders on the International Space Station [en línea]. *J Ultrasound Med*. 37, pp. 987-999. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jum.14438>.

21. Marshburn, T. H. y otros. (2014). New heights in ultrasound: first report of spinal ultrasound from the international space station [en línea]. *J Emerg Med*, 46, pp. 61-70. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2013.08.001>.
22. Auñón-Chancellor, S. y otros. (2020). Venous Thrombosis during Spaceflight [en línea]. *The New England journal of medicine*, 382(1), pp. 89-90. Disponible en: <https://doi.org/10.1056/NEJMc1905875>.
23. Gil-López, P. y otros. (2020). Present and future of Spanish Military Telemedicine. 25 years of the Military Telemedicine Unit at the Central Defense Hospital «Gómez Ulla» [en línea]. *Sanid. Mil.*, 76(3), pp. 197-204. Doi:10.4321/s1887-85712020000300012.
24. Liberati, A. y otros. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration [en línea]. *BMJ*, 339, art. b2700. Disponible en: <https://doi.org/10.1136/bmj.b2700>.
25. Page, M. J. y otros. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews [en línea]. *Syst Rev*, 10, p. 89. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>.
26. Silva-Martínez, J. P. y otros. (2017). Remotely Guided Breast Sonography for Long-Term Space Missions: A Case Report and Discussion [en línea]. *Telemedicine journal and e-health: the official journal of the American Telemedicine Association*, 23(12), pp. 1016-1022. Disponible en: <https://doi.org/10.1089/tmj.2016.0245>.
27. Arbeille, P. y otros. (2018). Remote Echography between a Ground Control Center and the International Space Station Using a Tele-operated Echograph with Motorized Probe [en línea]. *Ultrasound in medicine & biology*, 44(11), pp. 2406-2412. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmed-bio.2018.06.012>.
28. ESA. (2008). ARTIS: a step towards an end-to-end robotic tele-echography service [en línea]. Disponible en: https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Space_for_Earth/Space_for_health/ARTIS_a_step_towards_an_end-to-end_robotic_tele-echography_service
29. ESA. (2008). Robotized tele-echography: preparation of full-scale trials [en línea]. Disponible en: https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Space_for_Earth/Space_for_health/Robotized_tele-echography_preparation_of_full-scale_trials
30. ESA. T4MOD [en línea] Disponible en: <https://business.esa.int/projects/t4mod> (acceso: 20 de febrero de 2022).
31. Hillán García, L., Setién Dodero, F. y Del Real Colomo, A. (2014). El Sistema de Telemedicina Militar en España: una aproximación histórica [en línea]. *Sanid Mil*, 70, pp. 121-131. Disponible en: <https://doi.org/10.4321/S1887-85712014000200010>.
32. Guzman, R. D. y otros. (2017). ¿En qué hemos cambiado a lo largo de una década? Estudio comparativo de la asistencia sanitaria prestada en Líbano (Operación UNIFIL) en 2006 y 2016 [en línea]. *Sanid Mil*, 73, pp. 245-252.
33. Ministerio de Defensa. (2015). La Unidad de Sanidad en el Líbano en vanguardia de la telemedicina europea [en línea]. Disponible en: https://ejercito.defensa.gob.es/noticias/2015/06/4364_unidad_sanidad_libano_vanguardia_telemedicina_europea.html (accessed December 25, 2022).
34. ESA (2016). Long-distance ultrasound: made for astronauts, now reaching hospitals [en línea]. Disponible en: https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Long-distance_ultrasound_made_for_astronauts_now_reaching_hospitals.
35. ESA MELODY telerobotic ultrasound [en línea]. Disponible en: <https://business.esa.int/projects/melody-junior>.
36. National Library of Medicine. Clinical trials website. Disponible en: <https://clinicaltrials.gov>.
37. Granada Salud. (2022). Radiólogos granadinos prueban un nuevo sistema de ecografía a distancia de la mano de la fundación pts [en línea]. Disponible en: <https://granadaessalud.es/2022/03/25/radiologos-granadinos-prueban-un-nuevo-sistema-de-ecografia-a-distancia-de-la-mano-de-la-fundacion-pts/>
38. Kichloo, A. y otros. (2020). Telemedicine, the current COVID-19 pandemic and the future: a narrative review and perspectives moving forward in the USA [en línea]. *Fam Med Community Heal*, 8, art. e000530. Disponible en: <https://doi.org/10.1136/fmch-2020-000530>.
39. Annaswamy, T. M., Verduzco-Gutierrez, M. y Frieden, L. (2020). Telemedicine barriers and challenges for persons with disabilities: COVID-19 and beyond [en línea]. *Disabil Health*, 13, art. 100973. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dhjo.2020.100973>.
40. Raposo, V. L. (2016). Telemedicine: The legal framework (or the lack of it) in Europe [en línea]. *GMS Health Technol Assess*, 12, Doc03. Disponible en: <https://doi.org/10.3205/hta000126>.
41. Ministerio de Defensa. PDC-4.10. Doctrina Sanitaria en Operaciones [en línea]. *EMAD*. Disponible en: https://emad.defensa.gob.es/unidades/CCDC/Documentos_CCDC.html

Diagrama PRISMA 2020 para revisiones sistemáticas



Anexo I. Diagrama PRISMA 2020 para revisiones sistemáticas. Basado en: Page, M. J. y otros. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372 (71). Doi: 10.1136/bmj.n71