



ENFERMERÍA ESPACIAL



RODRIGO GÓMEZ AYALA

MIGUEL MARCOS PUENTE DURÁN

SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



ENFERMERÍA ESPACIAL

RODRIGO GÓMEZ AYALA

MIGUEL MARCOS PUENTE DURÁN

SCT

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

ENFERMERÍA **ESPACIAL**, primera edición

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse, almacenarse en cualquier sistema de recuperación de datos inventado o por inventarse, ni transmitirse en forma alguna y por ningún medio electrónico o mecánico, incluidas fotocopias, sin autorización escrita del titular de los derechos de autor.

DERECHOS RESERVADOS © 2018, por:

Rodrigo Gómez Ayala y Miguel Marcos Puente Durán

Editado, impreso y publicado, por



Intersistemas, S.A. de C.V.

Aguilar y Seijas 75
Lomas de Chapultepec
11000, México, D.F.
Tel. (5255) 5520 2073
Fax (5255) 5540 3764
intersistemas@intersistemas.com.mx
www.intersistemas.com.mx

ISBN 978-607-443-720-1



Reproducir esta obra en cualquier formato es ilegal. Infórmate en: info@cempro.org.mx

Créditos de producción

Alejandro Bravo Valdez
Dirección editorial

Rodrigo Gómez Ayala, Miguel Marcos Puente Durán
Cuidado de la edición

LDG Marcela Solís
Diseño de portada e interiores y diagramación

J. Felipe Cruz Pérez
Control de calidad

Impreso en México

Printed in Mexico



"El estudio del universo es un viaje para
auto describirnos"

Carl Sagan

Contenido

Foreword/Prólogo	IX, X
Linda M. H. Plush, MSN, CNS/FNP, FRSH	
Presentación	XI
Dr. Enrique Luis Graue Wiechers	
Prefacio ENEO	XIII
Dra. María Dolores Zarza Arizmendi, Mtra. Guadalupe E. Leyva Ruiz	
Prefacio AEM	XVII
Dr. Francisco Javier Mendieta Jiménez	
Introducción	XIX
Rodrigo Gómez Ayala, Miguel Marcos Puente Durán	
CAPÍTULO 1	
Contextualización	1
CAPÍTULO 2	
Espacio sin límites	5
Introducción	5
Viajes espaciales: evolución	6
El entorno espacial	11
Capas de la atmósfera	12
Composición química de la atmósfera	14
Propiedades físicas de la atmósfera	15
Breve historia de la Medicina espacial	17
CAPÍTULO 3	
Fisiopatologías sistémicas inherentes al entorno espacial	21
Contexto	21
Neurológico y vestibular	23
Cardiovascular	24
Inmunológicos	27

Óseo	29
Muscular	31
Digestivo	33
Oftálmico	34
Célula	35
Efectos psicológicos	35
Renal	40
Hematopoyético	42
Líquidos y electrolitos	43
Respiratorio	44
CAPÍTULO 4	
Enfermería espacial	47
Proceso enfermero y el cuidado del astronauta	47
Cuidados y habilidades clínicas	49
Clasificación de afecciones y lesiones para la planeación de los cuidados durante los viajes espaciales.....	49
Pertinencia del modelo de Virginia Henderson en el proceso de cuidado al astronauta	50
Previo al viaje espacial	51
A bordo de la nave espacial	51
Regreso a la Tierra	51
Contribuciones de la Enfermería a los programas espaciales de la NASA	52
CAPÍTULO 5	
Sistema de oxigenación y astronautas	57
Hematosis y procesos de compensación aeróbica	57
Ventilación y hematosis	60
Cuidados de Enfermería en la necesidad de oxigenación	63
Valoración, diagnósticos e intervenciones previos al viaje espacial	64
Valoración, diagnósticos e intervenciones a bordo de la nave espacial	65
Valoración, diagnósticos e intervenciones al regreso a la Tierra	66
CAPÍTULO 6	
Nutrición y viajes espaciales	69
Nutrición orgánica y celular	69
La alimentación en el espacio	70
Cuidados de enfermería en la necesidad de Nutrición	77
Valoración, diagnósticos e intervenciones previos al viaje espacial	77
Valoración, diagnósticos e intervenciones a bordo de la nave espacial	80
Valoración, diagnósticos e intervenciones al regreso a la Tierra	86
CAPÍTULO 7	
El astronauta y la necesidad de eliminación en el espacio	89
Procesos de excreción orgánica	89

Evolución de los sistemas de eliminación en la astronave	90
Cuidados de enfermería en la necesidad de eliminación	93
Valoración, diagnósticos e intervenciones previos al viaje espacial	93
Valoración, diagnósticos e intervenciones a bordo de la nave espacial	99
Valoración, diagnósticos e intervenciones al regreso a la Tierra	103
 CAPÍTULO 8	
Movimiento y postura en entorno de microgravedad	105
Dinámicas cinemáticas osteomioarticulares	105
Cuidados de enfermería en la necesidad de movimiento y postura	108
Valoración, diagnósticos e intervenciones previos al viaje espacial	108
Valoración, diagnósticos e intervenciones a bordo de la nave espacial	110
Valoración, diagnósticos e intervenciones al regreso a la Tierra	114
 CAPÍTULO 9	
Descanso, sueño y microgravedad	117
Neurofisiología del sueño	117
Ciclo circadiano, un sistema biológico del sueño	118
Modificaciones del ciclo circadiano en microgravedad	119
Cuidados de enfermería en la necesidad de descanso y sueño	120
Valoración, diagnósticos e intervenciones previos al vuelo espacial	120
Valoración, diagnósticos e intervenciones a bordo de la nave espacial	123
Valoración, diagnósticos e intervenciones al regreso a la Tierra	127
 CAPÍTULO 10	
Trajes espaciales	129
Necesidad de vestirse y desvestirse	129
Traje de actividad intravehicular	131
Traje de actividad extravehicular	131
Casco espacial	132
Torso superior rígido	133
Brazos	133
Guantes	133
Torso inferior	134
Sistema portable de soporte de vida	134
Ropa interior	135
 CAPÍTULO 11	
Termorregulación en el astronauta	137
Termorregulación en el espacio exterior	137
 CAPÍTULO 12	
El viaje espacial: cuidado de la higiene e integridad cutánea	141
Protección dérmica y sistemas sanitarios espaciales	141
Higiene en microgravedad	142

Cuidados de enfermería en la necesidad de mantener la higiene corporal y la integridad cutánea	146
Previo al vuelo espacial	146
Valoración, diagnósticos e intervenciones a bordo de la nave espacial	148
CAPÍTULO 13	
Evitar riesgos en la misión espacial	151
Entorno espacial	151
CAPÍTULO 14	
Comunicación interestelar	159
Comunicación interplanetaria	159
Los sonidos de la Tierra	160
Previo al viaje espacial	163
Durante el viaje espacial	163
Al regreso a la Tierra	165
Comunicaciones y transportes extraterrestres	165
CAPÍTULO 15	
Cosmovisión y experiencia espacial	169
Necesidad de vivir conforme a valores y creencias	169
CAPÍTULO 16	
Misión espacial: de la ocupación estelar a la autorrealización	175
Necesidad de ocuparse en labores que lleven a la realización personal	175
La ocupación como astronauta	175
Roles a bordo de la nave espacial	177
CAPÍTULO 17	
Recreación y estancia espacial	179
Recreación en astronautas	179
CAPÍTULO 18	
El aprendizaje, ciencia y viajes espaciales	185
Necesidad de aprendizaje	185
Previo al vuelo espacial	186
A bordo de la nave espacial	188
CAPÍTULO 19	
Conclusiones	191
Referencias	198
APÉNDICE Vinculación entre Enfermería espacial y Medicina espacial	207
ÍNDICE	215

Foreword / Prólogo

The future of humanity is likely to involve expanding into space. The nursing profession has been with human destiny since the beginning of people in one form or another. Nursing care was needed in ancient times and traveled with the movement of people across villages and continents. Nursing care was needed with expansions in the old and new worlds, whether it was provided by lay people or later by professionals. It is important for the nursing profession to prepare for the logical expansion of the future treatment people in off world environments. This enterprise will require the cooperation of all people of the world. Many professions will be needed, and nursing will be among them; whether planned as a profession or not.

It has been stated by many in the aerospace community that the 21st century is likely to involve the establishment of lunar scientific bases as a step to a journey to future trips to Mars. Intermediate steps will involve various space locations in between. Talk around these environments has included orbiting space stations, possible space hotels, mining asteroids, space elevators, various types of space crafts, plus there will be some unique environments of the future that have not yet been envisioned. Each of these unique environments, will have health issues specific to them that will

Es probable que el futuro de la humanidad implique expandirse al espacio. La profesión de Enfermería ha estado con el destino humano desde el comienzo de las personas de una forma u otra. El cuidado de enfermería era necesario en la antigüedad y viajaba con el movimiento de personas a través de pueblos y continentes. El cuidado de enfermería era necesario con expansiones en el mundo antiguo y nuevo, ya sea que fuera proporcionado por laicos o más tarde por profesionales. Es importante que la profesión de Enfermería se prepare para la expansión lógica del tratamiento futuro de las personas en entornos fuera del mundo. Esta empresa requerirá la cooperación de todas las personas del mundo. Se necesitarán muchas profesiones y la Enfermería estará entre ellas; ya sea planificada como una profesión o no.

Muchos han afirmado en la comunidad aeroespacial que es probable que el siglo XXI implique el establecimiento de bases científicas lunares como un paso para una travesía a futuros viajes a Marte. Las etapas intermedias implicarán varias ubicaciones espaciales entre ellas. Hablar en torno a estos entornos incluye órbitas de estaciones espaciales, posibles hoteles espaciales, asteroides mineros, ascensores espaciales, varios tipos de astronaves, además habrá algunos entornos únicos del futuro que aún no se han imaginado. Cada uno

need to be addressed by healthcare professionals, and this includes nursing.

There currently is a wide variety of health issues being worked on by the aerospace community.

Among the most pressing issues at this time are: ability to protect and care for humans exposed to radiation, reliability of the life-support systems, dangers of living in prolonged zero-G environments, the lack of knowledge of what is the gravity requirement for optimum health, bone loss issues, fluid shifts, vision problems, plus a lack of a thorough understanding of what counter measures are needed to reverse negative effects that cannot be avoided.

This book is a step in the right direction for the nursing profession to begin to seriously work toward caring for humans working and living in space. Since the current experience in space, plus work in space physiology, including healthcare, has been deemed as "preludial" by the aerospace community, the reader should understand that this is the beginning of a great adventure into the next century. Revisions, changes and updates are expected as new information comes to light with more experience in these environments. We should buckle up and enjoy the ride.

de estos ambientes únicos tendrá problemas de salud específicos a ellos que deberán ser atendidos por profesionales de la salud, y esto incluye la Enfermería.

Actualmente existe una amplia variedad de problemas de salud que están siendo trabajados por la comunidad aeroespacial. Entre las cuestiones más apremiantes en este momento se encuentran: la capacidad de proteger y cuidar a los seres humanos expuestos a la radiación, la fiabilidad de los sistemas de soporte vital, los peligros de vivir en entornos de gravedad cero prolongados, la falta de conocimiento de lo que es la salud óptima, problemas de pérdida de hueso, cambios de líquidos, problemas de visión, además de falta de una comprensión completa de qué contramedidas son necesarias para revertir los efectos negativos que no pueden evitarse.

Este libro es un paso en la dirección correcta para la profesión de Enfermería para comenzar a trabajar seriamente hacia el cuidado de los seres humanos que trabajan y viven en el espacio. Dado que la experiencia actual en el espacio, más el trabajo en la fisiología espacial, incluida la atención sanitaria, ha sido considerada como "un preludio" por la comunidad aeroespacial, el lector debe entender que este es el comienzo de una gran aventura en el próximo siglo. Se esperan revisiones, cambios y actualizaciones a medida que vayan surgiendo nuevas informaciones con más experiencia en estos entornos. Deberíamos abrochar el cinturón y disfrutar del paseo.

Linda M. H. Plush, MSN, CNS / FNP, FRSH

Presidenta Fundadora del pasado:

Sociedad de Enfermería Espacial 1991-1996

Asociados en Medicina Espacial - Miembro de la Junta Directiva Fundadora

Consultora de la NASA: JSC- Wyle Labs.:

Proyectos Avanzados y Terapéutica y Cuidados Clínicos
División de Paneles / Farmacias

Presentación

La Universidad Nacional Autónoma de México es el proyecto cultural y científico más importante de nuestro país. Esto se debe, en buena medida, a su capacidad para responder tanto al presente como al futuro. La Universidad de la Nación ha sabido mantenerse vigente en el mundo del conocimiento contemporáneo pues ha sabido liderar las distintas ramas de estudio en las que su comunidad incursiona y a hacerse partícipe de los procesos científicos más novedosos a nivel internacional.

Para la UNAM, la necesidad de incluir distintas miradas científicas en torno a cada uno de los fenómenos de interés contemporáneo ha conducido hasta un abordaje integral de campos tales como las ciencias espaciales. Desde distintos frentes, nuestra Casa de Estudios ha fomentado la participación de equipos multidisciplinarios e interinstitucionales que generan y difunden conocimiento en materia de tecnología espacial. Es en este marco que la Universidad ha emprendido un proyecto de colaboración con la Academia Nacional de Medicina de México para impulsar un fortalecimiento significativo en el área de Medicina espacial. En esta ocasión, ambas instituciones contaron también con el apoyo de la Agencia Espacial Mexicana, y concibieron un proyecto vanguardista de relevancia internacional: el libro *Enfermería espacial*.

Este trabajo, realizado por egresados de la Escuela Nacional de Enfermería y Obstetricia de la UNAM, es un proyecto de investigación y difusión que abreva diversos campos de conocimiento encargados de estudiar los fenómenos biológicos, sociales y psicológicos de los astronautas en condiciones de microgravedad. Los hallazgos y propuestas son producto del entrecruce de disciplinas como la telemedicina, la biotecnología, la medicina aeronáutica y la Medicina espacial. A lo largo de sus 19 capítulos, el texto aborda temas como los sistemas de oxigenación de los astronautas, el movimiento y la postura durante los viajes espaciales largos, o el descanso y el sueño en estas condiciones.

Con esta publicación se ha dado, por primera vez en la historia de la Enfermería en México, un proyecto de argumentación teórica para sustentar los futuros viajes interplanetarios y las unidades médicas espaciales. El presente libro ejemplifica la obligación científica universitaria de ver hacia el futuro, generando investigaciones de la talla de aquellas elaboradas por las agencias espaciales internacionales como la NASA, la Agencia Espacial Europea o la Agencia Espacial Rusa.

Los autores, Rodrigo Gómez Ayala y Miguel Marcos Puente Durán, discuten la estructura, análisis y metodología de una nueva teoría para implementar una base de cuidados bajo dinámicas de viajes espaciales prolongados. Su investigación hace uso de los últimos hallazgos de los programas de investigación fisiológica de la Estación Espacial Internacional en órbita, y de los reportes astronáuticos de los programas internos de las misiones espaciales.

La investigación es una muestra de colaboración interinstitucional y multidisciplinaria, con la virtud de estrechar relación y hacer partícipes a científicos internacionales y nacionales, suscitando la ampliación de producción científica en el campo espacial. El futuro del campo espacial e interplanetario, cada vez menos lejano, es de interés de toda institución científica que quiera mantenerse vigente en años venideros.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

RECTOR

DR. ENRIQUE LUIS GRAUE WIECHERS

Prefacio ENEO

La Enfermería es una disciplina científica producto de una historia secular, de un quehacer natural y espontáneo que se ofrece como respuesta a necesidades de la humanidad. El cuidado, objeto de estudio de la Enfermería, significó una práctica que a través de diversas culturas y organizaciones sociales permitió acumular experiencias, técnicas adaptadas, conocimiento primero común, luego sistémico, métodos de trabajo propio y el uso de tecnologías, que se adaptaron y dominaron hasta racionalizar e institucionalizar su pertinencia y aplicación.

El cuidado está presente desde la conformación de las sociedades primitivas, en donde las distribuciones de sus funciones giran alrededor de garantizar la supervivencia de la raza humana.

Para comprender la situación actual de la Enfermería mexicana, es necesario recordar su historia, reconocer dos momentos históricos fundamentales; su surgimiento en la Escuela Nacional de Enfermería y Obstetricia (ENEO) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), inicia con una formación académica técnico-profesional en 1903 y 65 años después, en 1968, inicia su formación profesional, a 49 años de su profesionalización estos dos niveles de formación coexisten y en algunas instituciones de salud aún no se logra precisar sus diferencias.

Sin embargo, en la ENEO desde su profesionalización ha quedado plasmado en sus planes de estudio, el formar profesionales para desempeñar un papel protagónico en equipos inter- y multidisciplinarios, con mentalidad innovadora, creativa, con los conocimientos y habilidades necesarios para construir los nuevos sistemas de cuidado que respondan a las necesidades de una sociedad expectante.

Uno de los componentes de la sintaxis disciplinar lo constituyen los fenómenos que la Enfermería debe investigar para desarrollar conocimientos. Éstos se derivan de sus núcleos básicos, constituidos por los conceptos que influyen y determinan a la práctica profesional y su área de competencia, surgen de los fenómenos abstractos y generales, dando una perspectiva universal a la disciplina.

Son muchas las propuestas teóricas sobre la Enfermería que explican los fenómenos de los que se derivan conceptos que les son comunes, permiten su análisis, dan significado y especificidad a la disciplina. Estos conceptos son: el cuidado como

el objeto de estudio, la persona como el sujeto del estudio y cuidado, la salud como un valor y un derecho humano y el entorno, interno y externo de cada persona.

En este libro se muestra y demuestra que el conocimiento enfermero tiene cabida en cualquier entorno en donde vive la persona, sea en un entorno de gravedad o de microgravedad, y pone el acento en comprender el medio interno; lo genético, fisiológico, psicológico y espiritual, y el medio externo del astronauta, compuesto por el conjunto del universo del que la persona forma parte: los aspectos físicos, ecológicos, sociales, culturales, políticos, económicos; así como la visión del mundo y todo factor que tenga influencia sobre el estilo de vida de la persona, de tal forma que todas las influencias del entorno proporcionan significado a las experiencias de la salud y de la vida.

También se aplica el proceso enfermero, el cual es un método sistemático y organizado para administrar cuidados individualizados, de acuerdo con el enfoque básico de que cada persona o grupo de ellas responde de forma distinta ante una alteración real o potencial de la salud y está clasificado como una teoría deductiva.

La historia ha dado a la profesión de Enfermería el privilegio del encargo social del cuidado a la persona, la ubica hoy en un lugar destacado de aporte al bienestar y la seguridad humana, otorgando al cuidado su condición imprescindible que lo define como insumo esencial para la salud, la realidad exige la utilización de las ciencias, razonamiento, sensibilidad ética frente a los desafíos del cuidado a la persona en ambientes de gravedad y ahora de microgravedad, atributos todos de un profesional de Enfermería.

La Escuela Nacional de Enfermería y Obstetricia se suma a otras instituciones que colaboran con la Agencia Espacial Mexicana, por tener la voluntad y el potencial de colaboración en el tema de *Enfermería espacial*.

Objetivos

- Establecer estrategias para el desarrollo y difusión de la *Enfermería espacial* a nivel nacional e internacional y participar activamente con la Agencia Espacial Mexicana y sus redes de colaboración para estimular la aplicación y el desarrollo de la investigación científica y tecnológica de la Medicina espacial y las ciencias biológicas espaciales en nuestro país e incorporar este conocimiento en beneficio de las personas sujetas a cuidado-enfermero
- Aprovechar la gradual incorporación de la tecnología de telecomunicaciones para hacer llegar servicios de enfermería a distancia, como la prevención de enfermedades transmisibles y crónicas degenerativas a la población más desprotegida de la sociedad, que viven en poblaciones remotas a las que sólo es posible llegar vía satélite

Estrategia

- Impulsar el desarrollo del capital humano, en *Enfermería espacial*, que contribuya a la generación y aplicación del conocimiento científico en este ámbito

Líneas de acción

- Promover en nuestra comunidad académica la incorporación a programas de especialidad en ciencias médicas y biológicas espaciales
- Favorecer la interacción con grupos multidisciplinarios con la que se obtengan nuevas líneas de investigación encaminados al desarrollo de la *Enfermería espacial*
- Promover en nuestra comunidad académica la asistencia a foros y congresos tanto nacionales como internacionales en los temas afines a las ciencias médicas y biológicas espaciales

Conclusión

Cuando en 1968 el “*Apollo VIII*” nos mostró imágenes de la Tierra desde la Luna, nos parecían de ciencia ficción, ahora son una realidad constante en nuestro entorno, a partir de ese momento el aprendizaje sobre lo que está fuera de la zona de la influencia gravitacional de la Tierra ha sido de gran relevancia para comprender los fenómenos propios de la supervivencia terrestre y de la vida humana, así como se ha impulsado el desarrollo tecnológico de manera exponencial.

Hablar de cuidado enfermero en ambientes de microgravedad, nos pareciera lejano, sin embargo, es una realidad, este libro da cuenta de ello, jóvenes universitarios egresados de nuestra escuela lograron aplicar con gran rigurosidad científica, una teoría de Enfermería aplicada sólo en ambientes terrestres y logran trascender al demostrar que la disciplina es universal.

La postura presenta de manera muy general el objetivo, la estrategia y algunas líneas de acción, porque a partir del presente libro se abre un nuevo espacio científico para la Enfermería y la ENEO asume el compromiso de ser pionera al explorar e indagar en el cuidado a la persona y al desarrollo de nuestra disciplina.

DRA. MARÍA DOLORES ZARZA ARIZMENDI

DIRECTORA DE LA ESCUELA NACIONAL
DE ENFERMERÍA Y OBSTETRICIA, UNAM

MTRA. GUADALUPE E. LEYVA RUIZ

JEFE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
DE LA ESCUELA NACIONAL DE ENFERMERÍA
Y OBSTETRICIA, UNAM

Prefacio AEM

Desde su inicio, la Agencia Espacial Mexicana, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, ha redoblado esfuerzos para desarrollar políticas, estrategias y líneas de acción, a fin de avanzar hacia la noble meta de contribuir a que México llegue a su máximo potencial en esta materia espacial. De conformidad a lo establecido en el Programa Nacional de Actividades Espaciales, formulamos y conducimos las acciones necesarias en el país para la construcción de capacidades nacionales que fomenten, en estrecha coordinación con el Sector Central y Paraestatal del Gobierno Federal, gobiernos estatales, instituciones educativas, centros de investigación, industria, y en general la sociedad y todos los participantes del sector espacial, a fin de contribuir al desarrollo de soluciones para el país y sus habitantes.

Para todo ello, la Agencia Espacial Mexicana impulsa de manera decidida la construcción de las capacidades nacionales para desarrollar la investigación y la innovación en ciencia espacial básica, fomentando, entre otras áreas relevantes, las asociadas con medicina espacial, astrobiología, experimentación biológica en ambiente de microgravedad, y desarrollo de aplicaciones espaciales para el sector salud.

Dada la relevancia y el impacto de las tecnologías espaciales, la Agencia Espacial Mexicana en conjunto con la Academia Nacional de Medicina de México, publicaron el primer libro de medicina espacial el cual se presentó como un documento de postura de la Academia. Ahora, con el fin de seguir potenciando las aplicaciones del sector espacial nacional en el sector salud, se ha identificado la *Enfermería espacial* como segmento de oportunidad para seguir contribuyendo al posicionamiento de México en esta área del conocimiento. Mucho agradecemos y valoramos el vínculo con la Academia Nacional de Medicina de México, la Academia Mexicana de Cirugía, la Sociedad Mexicana de Medicina del Espacio y Microgravedad, y en especial a la Escuela Nacional de Enfermería y Obstetricia de la Universidad Nacional Autónoma de México, mediante la cual tenemos la posibilidad de tener jóvenes talentosos que nos dan la oportunidad de hacer llegar a ustedes este trabajo en *Enfermería espacial* a través de los apoyos invaluable del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

A fin de darle conclusión a este breve prefacio e inicio a esta aventura, que estamos seguros será motivo de grandes beneficios y desarrollos, la Agencia Espacial

Mexicana extiende una invitación a los lectores para que se atrevan a inspirarse con el infinito del espacio, y se sumen a los esfuerzos conjuntos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes del Gobierno Federal y este notable conjunto de instituciones, que realizamos por primera vez en la historia del país en esta materia.

DR. FRANCISCO JAVIER MENDIETA JIMÉNEZ

DIRECTOR GENERAL

AGENCIA ESPACIAL MEXICANA

Introducción

El objetivo del presente libro es proponer e implementar una valoración sistemática, realizada desde el enfoque de atención sanitaria del profesional de Enfermería, en los astronautas cuyas necesidades básicas se ven alteradas por las condiciones de microgravedad.

Para esta investigación documental se consultaron diversas fuentes bibliográficas científicas que dan sustento a la propuesta que aquí se realiza. *Enfermería espacial* consta de 19 capítulos que abordan de manera general diferentes tópicos relacionados con la Enfermería y el astronauta en el espacio, subdivididos en apartados que profundizan las particularidades derivadas de la concepción teórica del capítulo al que pertenecen. Al final se complementa con una conclusión general y un Anexo escrito por el académico Dr. Raúl Carrillo Esper.

En el primer capítulo realizaremos una contextualización de los temas principales que se revisan en este libro. Conoceremos la cronología evolutiva del ser humano, misma que le acercó al entendimiento tecnológico de la exploración espacial. Ahondaremos en las bases de la navegación aeroespacial y comprenderemos la perspectiva teórica de los científicos en aeronáutica y ciencias afines, para así aterrizar este constructo y dar paso a la *Enfermería espacial*.

En el segundo capítulo haremos una reconstrucción sucesiva de los hitos históricos más trascendentes de la exploración espacial. Realizaremos una revisión cronológica de la evolución de los artefactos para volar, describiendo desde los primeros bocetos hasta las máquinas que actualmente se utilizan para la investigación del espacio. Contextualizaremos al lector acerca del entorno atmosférico, para dar referencia de las condiciones ambientales que ocasionan alteraciones anatomofisiológicas al astronauta. Finalmente revisaremos los antecedentes históricos que dieron origen a la Medicina espacial, puntualizando a los científicos más representativos de dicha área y cómo esta participación se añade al marco de desarrollo argumentativo de este libro.

En el tercer capítulo haremos una documentación de diversas investigaciones realizadas por distintos programas espaciales, sobre las repercusiones orgánicas que resultan de la exposición humana a un entorno espacial. Abordaremos afecciones

inherentes al viaje espacial en temas como neurología, somatología, cardiología, nefrología, e inmunología, entre otros.

En el capítulo 4 argumentaremos la pertinencia de la implementación de conceptos propios de Enfermería en los cuidados espaciales relacionados con los estudios en Medicina espacial, además realizaremos una clasificación de las afecciones espaciales y otros conceptos usados en la estructura de este libro.

A partir de los siguientes apartados se comienza el abordaje de los cuidados al astronauta desde el rol de enfermería, correlacionando la valoración mediante el método clínico y las investigaciones fisiológicas de las agencias espaciales junto con el proceso de atención de cuidados, a partir de tres tiempos esenciales: previo al viaje espacial, a bordo de la nave y al regreso a la Tierra.

A lo largo del capítulo 5 abordaremos las condiciones espaciales relacionadas con la hematosis y ventilación del astronauta, en las cabinas de la Estación Espacial Internacional, los transbordadores espaciales y la actividad extravehicular, además señalaremos el proceso de actuación metodológica para la atención a dicha necesidad.

En el sexto capítulo rescataremos la forma en que se llevan a cabo los procesos nutritivos en microgravedad. Revisaremos los mecanismos de aprovechamiento calórico e hídrico en el espacio, así como los sistemas de reciclaje de agua. También detallaremos la importancia de la participación del profesional de Enfermería en relación con esta necesidad a través de oportunas intervenciones y los cuidados en tres tiempos principales.

En el capítulo 7 enlistaremos los sistemas higiénicos de eliminación biológica a bordo de las naves y cómo éstos han evolucionado hasta su perfeccionamiento. Haremos una revisión de las similitudes y diferencias entre los medios de eliminación humana y las adaptaciones de los sistemas de recolección que se incluyen en una nave espacial. Se abordan 4 vías de eliminación fundamentales: urinaria, fecal, menstrual y por pérdidas insensibles. Finalmente detallaremos las acciones de enfermería en torno a los tres momentos del viaje espacial, para así establecer las etapas de atención sanitaria de los cuidados del astronauta.

En el capítulo 8 describiremos los principales retos de la ingravidez y cómo se relaciona con los cuidados particulares a la necesidad de movimiento en el espacio, proponiendo niveles de actuación en la atención a los astronautas y remarcando las recomendaciones de contramedida de las agencias espaciales que involucran a sus astronautas en misión.

La descripción de cómo se lleva a cabo la necesidad de “Descanso y sueño” en un ambiente de microgravedad lo abordaremos en el capítulo 9, retomando la importancia del ciclo circadiano y la respuesta hormonal fisiológica que llevan al cumplimiento de esta necesidad. Asimismo se correlacionan las principales afecciones y a través de la atención de Enfermería, se elabora un plan de cuidados aplicado al astronauta.

En el capítulo 10 *Trajes espaciales*, conoceremos cada vestimenta, tanto el traje de actividad extravehicular como el traje de actividad intravehicular, las partes que

lo componen y sus particulares funciones. Conoceremos el argumento de interacción e interrelación con el cuidado de diversas necesidades en el espacio a través de la tecnología de vestido en el espacio.

En el undécimo capítulo describiremos uno de los más grandes retos fuera de la atmósfera terrestre: la termorregulación, y cuáles son los recursos tecnológicos en ingeniería de los cuales la Enfermería puede echar mano para la atención y cuidado a esta necesidad, además rescata elementos esenciales de termodinámica a considerar por los profesionales en las misiones espaciales.

En el capítulo 12 describiremos la importancia de la octava necesidad básica aquí propuesta para la atención al astronauta, y cómo ésta se realiza en ambientes extraterrestres. Se esclarecen los medios y sistemas de higiene corporal a bordo de una nave espacial y cuál es su repercusión perceptual y fisiológica. Haremos énfasis en las alteraciones más comunes de la integridad cutánea y la higiene corporal, entendiendo la participación activa de enfermería en la valoración previa y durante el viaje espacial.

En el capítulo 13 profundizaremos sobre el hostil entorno que resulta el espacio para la vida, reconoceremos los riesgos espaciales que rodean al astronauta desde la radiación ionizante hasta la estructura de las naves, de la misma forma comprenderemos la interrelación con las diferentes necesidades que emanan de ésta.

En el capítulo 14 recordaremos cuáles han sido los esfuerzos de la humanidad por establecer comunicación con el espacio exterior, cuáles son los nuevos retos en comunicación y transporte en el viaje a Marte y qué nivel de implicación conlleva esta necesidad para las futuras sociedades.

En el capítulo 15 entenderemos cuál es la creencia histórica humana sobre los astros que le rodean y cómo se relaciona con ellos, particularmente la cultura prehispánica mexicana. Conoceremos algunos indicios sobre creencias en los astronautas contemporáneos, de la misma forma podremos analizar los valores descritos por la NASA que rigen a los astronautas en las misiones espaciales.

En el capítulo 16 abordaremos la necesidad de “Ocupación”, correlacionando la ocupación espacial para alcanzar la autorrealización y la ejecución consecuente del trabajo como astronauta. También enlistaremos las aptitudes y actitudes individuales que caracterizan y hacen única esta labor. Además, se exploraremos los diversos roles que los tripulantes pueden fungir a bordo de la nave.

En el capítulo 17 podremos ver cuáles son las prácticas de recreación más habituales prescritas para los astronautas durante su larga estancia espacial, comprenderemos cuan relevante es esta necesidad para el ser humano y cómo cuidar de ella.

En el penúltimo capítulo definiremos el proceso de aprendizaje y retomaremos su importancia dentro de la clasificación de las necesidades básicas del ser humano. Enlistaremos los aspectos a evaluar en esta necesidad y los requerimientos para alcanzar su cumplimiento. Asimismo, se contextualiza al aprendizaje como una necesidad de índole científico-espacial y se explica cómo ésta puede llevarse a cabo

previo al viaje y a bordo de la nave espacial. Se concluye el capítulo proponiendo la colaboración activa de Enfermería, desde el rol de la enseñanza, para favorecer el aprendizaje de las técnicas de salud que complementen la investigación fisiológica espacial y, por lo tanto, la supervivencia de los astronautas.

Finalmente, este libro contiene las conclusiones generales y un Anexo que refuerzan el contenido.

Contextualización

La característica central de todo ser humano es la capacidad de pensar y esto le diferencia de otros seres. Dicha singularidad es el acto de razonar, reflexionar y llegar al conocimiento. El conocimiento es la facultad del ser humano para comprender la naturaleza, cualidades y relaciones de las cosas por medio de la inteligencia. A través de esta comprensión del entorno, se llega al saber, haciendo una distinción evolutiva como *homo sapiens*, del latín “hombre sabio”. La necesidad del ser humano por el saber, lo ha acompañado durante toda su vida y es el eje central de su evolución.

La inquietud de saber es impulsada por la curiosidad natural en el hombre, de esta manera, podríamos definirla como el deseo de entender y conocer. Pascal decía:

“Una de las principales enfermedades del hombre es su inquieta curiosidad por conocer lo que no puede llegar a saber”.

La curiosidad del individuo se asocia con la inquietud de comprender y con la necesidad de constituirse con el medio, es decir, del crecimiento.

A través de la curiosidad es como el ser pensante intenta revelar y comprender el entorno donde vivimos. El ser humano, por naturaleza, se interesa por el descubrimiento de nuevas tecnologías y territorios, mismos que le llevan a la exposición de cambios ambientales. Estas modificaciones a las que se ve sometido en su impulso de exploración le llevan a un significativo proceso de adaptación que se traduce paulatinamente en una configuración genética y concluye con la evolución de la especie. La evolución está sujeta al medio en el que se desarrolla el ser, ejemplo de esto es el *homo habilis* y su destacada adaptación al medio con el uso de herramientas, posibilitado por el desarrollo del pulgar oponible; otro ejemplo es el *homo erectus*, quien se diferenció del resto de *homos* por dejar de ser cuadrúpedo, desplazándose en bipedestación y dando lugar al desarrollo de cambios anatómicos y fisiológicos del sistema osteomioarticular que le permitían desplazarse durante largos viajes en la Tierra. Así es como la evolución ha estructurado de modificaciones al hombre de la actualidad, esta habituación ha dado lugar al ser con características que le permiten comunicarse, relacionarse, desplazarse, y pensar.

Más adelante, en la cronología de la historia moderna, a partir de la implementación de nuevas técnicas de producción, se llevaron a cabo distintos avances tecnológicos que estratifican las posibilidades del desplazamiento, y por lo tanto de generar nuevo conocimiento, lo que creó nuevos métodos de transporte; marítimo: conociéndose los primeros barcos a la par de diversas enfermedades, tales como el escorbuto, las enfermedades descompresivas en buzos, la desorientación de espacio-tiempo, mareo, vértigo, etc.; terrestres: como el primer vehículo autopropulsado por vapor creado en 1771¹ donde se pudieron observar distintos factores, tales como, vibración, ruido, fuerzas de aceleración aplicadas al cuerpo humano, entre otros, y de aviación: impulsado por primera vez por los hermanos Wright en el año 1903 con el "*Flyer 1*", donde se comienzan a observar los cambios fisiológicos a partir de modificaciones de presión atmosférica dada la elevación de las aeronaves. Indirecta y causalmente a través de la investigación y progreso en aviación, se estableció un estrecho lazo con el estudio de la Medicina Aeroespacial.

Una vez que el hombre logró el primer acercamiento a la aeronavegación, se realizaron múltiples aproximaciones al espacio extraterrestre. Esto se pudo conseguir mediante la puesta en órbita de distintos satélites artificiales durante el periodo 1957-1969. A partir de ese momento la incógnita no era ¿Qué había en el espacio exterior? sino ¿podría el hombre salir de la órbita terrestre?, ¿sobrevivir en este ambiente externo? y ¿cuáles serían sus cambios fisiológicos?

La acción de volar tiene la capacidad de exponer al ser humano a diversos factores estresantes que superan la capacidad de adaptación. La disminución del oxígeno disponible o la disminución de la presión barométrica, junto con las bajas temperaturas y la acción de las fuerzas de aceleración sobre los sistemas de equilibrio, son sólo algunos de dichos factores estresantes. Esto se constató cuando el hombre alcanzó la exploración espacial, el miércoles 12 de abril de 1961,² día que el cosmonauta Yuri Gagarin logró ser el primer humano en viajar al espacio exterior, a bordo de la "*Vostok 1*" que circunvaló el planeta Tierra durante una órbita. Otro ejemplo de los cambios y adaptaciones fisiológicas durante el periodo de exposición a microgravedad se pudo comprobar el 20 de julio de 1969 durante la misión estadounidense "*Apollo XI*" en la cual se consiguió llegar a otro cuerpo celeste y alunizar por primera vez en la historia de la humanidad.³ Esto supuso uno de los más grandes avances en la tecnología aeroespacial y lógicamente en el estudio de los cambios de salud, fisiológicos y anatómicos, de los astronautas.

Los retos que ofrecen las tecnologías de viaje es lo que ha motivado al hombre al desarrollo de métodos de investigación que buscan comprender y tratar la adaptabilidad del hombre a los diferentes territorios a medida de su exploración. En el siglo **xxi** la exploración estará centrada en el espacio interestelar y su cohabitación, motivando así al ser humano al estudio de las ciencias de la salud en el espacio. Debido a esto es como hoy en día se han logrado grandes avances en el estudio de las alteraciones humanas; antes, durante y después de la exposición a microgravedad. De esta manera proponemos que dichos trastornos sean explo-

rados mediante el sustento médico espacial con el desarrollo de la visión a los cuidados a la salud abordados desde la perspectiva de enfermería, misma que proporciona un campo de asistencia más amplio y complementando holísticamente la atención sanitaria en los astronautas.

La investigación de los cuidados médicos en materia de enfermería ha evolucionado desde los avances en investigación de enfermería en Estados Unidos en conjunto con el esfuerzo para llevar a cabo la instauración en 1962 del “*Programa de Enfermería Espacial*” de la National Aeronautics and Space Administration (NASA), fue así como en 1991 se fundó la “*Sociedad de Enfermería Espacial*” por Linda Plush, con la ayuda de la Dra. Martha Rogers. El principal objetivo de dicha sociedad fue encaminado a la búsqueda de estrategias de cuidado en astronautas, con un enfoque inicial basado en el modelo teórico del “*Ser unitario*”, y que actualmente tiende al lado de la Medicina espacial.

Desde la primera misión espacial de vuelo tripulado humano, “*Vostok I*” en 1961, surgió la intención de las agencias espaciales de todos los países por analizar y estudiar la adaptación fisiológica del ser humano en el ámbito espacial, muestra de este interés científico de grado médico fue la creación en 1949 por el Dr. Armstrong, en Estados Unidos, del primer departamento de Medicina espacial, en el que participó el Dr. Strughold que posteriormente sería considerado el “*padre*” de esta rama de la Medicina.⁴

La Medicina espacial tiene así el enfoque de estudio en los cuidados médicos y la fisiología de adaptación en el entorno espacial, puesto que los problemas de salud relacionados con el viaje aeroespacial afectan integralmente al ser humano, desde la descalcificación ósea hasta el sistema cardiovascular, en aquellos viajes que implican fuerzas de aceleración, presión o ingravidez. Dichos problemas están relacionados con las, cada vez más constantes, misiones espaciales, que implican retos para la anatomía humana y que desde las agencias espaciales internacionales se han buscado soluciones en la investigación fisiológica debido a las condiciones extremas a las que se ven sometidos los astronautas; esto se ve reflejado en la creación de la estación espacial MIR, Estación Espacial Internacional (EEI, o ISS por sus siglas en inglés) y la estación espacial *Skylab*, centradas, entre otras cosas, al estudio biomédico espacial.

Las líneas que inciden sobre el desarrollo en materia de *Enfermería espacial* están relacionadas con los ejes teóricos de estudio de la salud por los científicos representantes de estas ramas, por un lado el Dr. Strughold en Estados Unidos, con el análisis de aceleración sobre el cuerpo humano y por otro su colega el Dr. Ramiro Iglesias Leal, cardiólogo, quien es considerado el padre de la Medicina espacial en México, por su contribución con la tele-electrocardiografía, y la atención al cuidado cardiovascular del astronauta Anders, que tripulaba la nave “*Apolo VIII*” en 1968. Siendo éste el inicio de la investigación médica espacial en México y los horizontes trazados por la ciencia en materia de medicina del futuro.⁵

El impacto social de los actuales viajes espaciales y las perspectivas de viaje interestelar e interplanetario como la reciente misión a Marte, han abierto un

campo de estudio para todas las ciencias, entre las que se incluyen biología, química, física, astronomía, ingeniería y medicina primordialmente. Dado que las ciencias espaciales como física o química estudian el ámbito espacial y la ingeniería y la robótica los accesorios espaciales, es deber de la medicina y la enfermería incursionar en el campo de la ciencia enfocada en el ser humano y su salud; de aquí el interés científico de postular una tesis que busque encontrar la correlación de los modelos clínicos de atención especializada en materia de enfermería, con el ámbito de investigación ya realizado por los organismos internacionales dedicados a la Medicina espacial y los laboratorios de fisiología espacial, como lo es la centrífuga humana de la NASA.

Es así que en el 2016 el impacto de la investigación espacial ha sido retomado como un tema eje para los gobiernos del mundo, no sólo la NASA en Estados Unidos, también la European Space Agency (ESA), la agencia aeroespacial de exploración japonesa, la agencia espacial de la Federación Rusa y por supuesto la Agencia Espacial Mexicana (AEM), cuya contribución se ha centrado en materia de Medicina, y ha generado un gran impacto político y social en la investigación mexicana. Incentivando a los científicos a ahondar en este sentido, dada esta relación, la intención de la aportación clínica en materia de atención y entendimiento de los cuidados a la salud en el espacio. A partir de esto la incursión de enfermería espacial, para buscar dicha correlación teórica en la atención e implementación de planes de cuidado en astronautas previos al viaje espacial, durante la estancia en el cosmos y de adaptación gravitacional posteriores.

Ante todo esto y con la visión en materia de salud que hay sobre los horizontes cósmicos, es que este libro integra campos de la ciencia como es Medicina espacial, Aeronáutica, y Fisiología de microgravedad, entre otros, para servir al enfoque y entendimiento de la propuesta de instauración en *Enfermería espacial* y su concepción a través de un modelo teórico que contempla necesidades biológicas, sociales y espirituales, con el fin de entender de una manera holística al astronauta en los viajes espaciales. Siendo éste sólo uno de los nuevos escenarios que todas las ciencias, pero en especial la Enfermería debe atender, si pretende evolucionar a la modernidad y mantenerse a la vanguardia de acción con una visión prospectiva y una misión clara, en un contexto social, cultural, político y económico sobre los que influye en los distintos campos científicos de interés nacional e internacional.

Espacio sin límites

El espacio profundo y la concepción interestelar de los viajes abre una gran incógnita para el abordaje de las ciencias, por eso es necesario comprender las dimensiones del contexto espacial y cómo el hombre a través del tiempo se ha involucrado en los viajes en microgravedad. Por esto se realizará una interesante revisión a las tendencias de exploración extraterrestre sobre la Luna y otros planetas.

Como precursor de la Enfermería espacial, conoceremos la historia detrás del desarrollo moderno de la Medicina espacial, el papel de los médicos alemanes en el desarrollo de ésta y el acercamiento de los científicos mexicanos a la Medicina en ambientes de microgravedad. El papel clave de la investigación mexicana como vía de desarrollo de las ciencias espaciales a través de las ciencias de la salud, promovido por la Agencia Espacial Mexicana. Finalmente expondremos las condiciones del entorno espacial, con el fin de ilustrar al lector sobre la composición atmosférica en torno a las variables como temperatura y presión, también conoceremos las capas que constituyen la atmósfera terrestre, cuál es su función, características químicas y físicas para la aeronavegación.

Introducción

El hecho científico más relevante en el siglo xx podría ser el lanzamiento del ser humano a la conquista del espacio, no obstante, este suceso ha sido impulsado por avances científicos muy trascendentales, tales como: los antibióticos, la teoría de la relatividad general, el descubrimiento del genoma humano, el reconocimiento de la expansión del universo y la mecánica cuántica. Aun a pesar de estos avances, que incluso han sido ganadores de Premio Nobel, el atractivo de la exploración de lo desconocido y la aventura de viajes espaciales serán consideradas como el mayor de todos los hallazgos. Ejemplo de esto es el reconocimiento científico que otorgó la Asociación Internacional para la Mujer del Año, establecida en 1955, decidiendo como vencedora, tras largas deliberaciones para “Mujer del siglo” a Valentina Tereshkova, la primera mujer en salir al espacio.⁶

Es entonces que en el siglo xxi la ciencia se enfoca más allá de la exploración próxima del espacio profundo, en un esfuerzo por lograr el entendimiento de las

condiciones del espacio y la atmósfera para generar conocimiento que otorgue la posibilidad de desarrollar sistemas que contiendan con la compatibilidad fisiológica humana en microgravedad.

El espacio es comprendido por la ciencia como uno de los mayores logros y retos para la humanidad, donde se establece, una cada vez más clara interacción del hombre con los viajes espaciales, los retos que representa para su salud y las condiciones de adaptación diferentes a la atmósfera terrestre.

Viajes espaciales: evolución

El sueño incansable del ser humano por llegar al espacio exterior ha estado presente desde hace muchos siglos, incluso quizá desde hace miles de años, manteniéndose latente a través del tiempo, hasta llegar al estudio científico contemporáneo. Eventualmente la inquietud por la comprensión de los medios que faciliten alcanzar esta meta ha correspondido al desarrollo tecnológico y, por lo tanto, a la creación y perfeccionamiento de medios que permiten al hombre conocer el Universo en el que habita. Sin embargo, este camino no fue nada fácil (Figura 2.1).

Uno de los principales precursores de la creación de artefactos para poder volar fue Leonardo da Vinci, un erudito cuyo estudio científico y exploración de la naturaleza lo llevó a sentar las bases de las máquinas de vuelo.⁷ Su interés en el diseño de artilugios y el estudio de los fenómenos de la naturaleza, le sirvió para dirigir algunos de sus dibujos a la producción de bocetos⁸ que explicaban y detallaban minuciosamente los mecanismos y herramientas necesarias para conseguir el vuelo. Basado en las alas de las aves, la mayoría de sus esquemas proponían la utilización de alas articuladas para conseguir volar, sin embargo, en esa época no se tomaba en cuenta que era necesario contemplar la diferencia de presiones y sustentación del aire, mecanismo que utilizan actualmente los aviones.⁹ Aparte de innovar en artefactos para el vuelo horizontal, propuso la primera máquina que anticipaba un vuelo vertical: el “*Tornillo aéreo*”,¹⁰ cuya forma helicoidal giraba en torno a un eje vertical, esto estableció los principios del helicóptero. Desafortunadamente ninguna de sus propuestas pudo demostrar su funcionamiento y mucho menos la capacidad para elevarse desde el suelo pues era imposible alcanzar la aceleración necesaria para vencer la gravedad ya que la propulsión en aquella época era de muy baja potencia.

En 1706, Emanuel Swedenborg en uno de sus estudios de aviación “*Sketch of a Machine for Flying in the Air*” (Esbozo de una máquina para volar por el aire), escribió que parecía más viable hablar de una máquina con la capacidad de volar que la facilidad de construir una máquina capaz de despegar y elevarse. Esto claramente se atribuye a las condiciones tecnológicas de la época, las cuales no permitían al hombre producir y generar una aceleración que fuera capaz de vencer a la fuerza gravitacional. A pesar de las condiciones y conocimientos que se tenían en el s. XVIII, hubo muchos avances en la navegación aérea. Ejemplo de esto fue unos primeros vuelos que realizó el humano, los cuales datan del año 1783,¹¹ cuando los hermanos

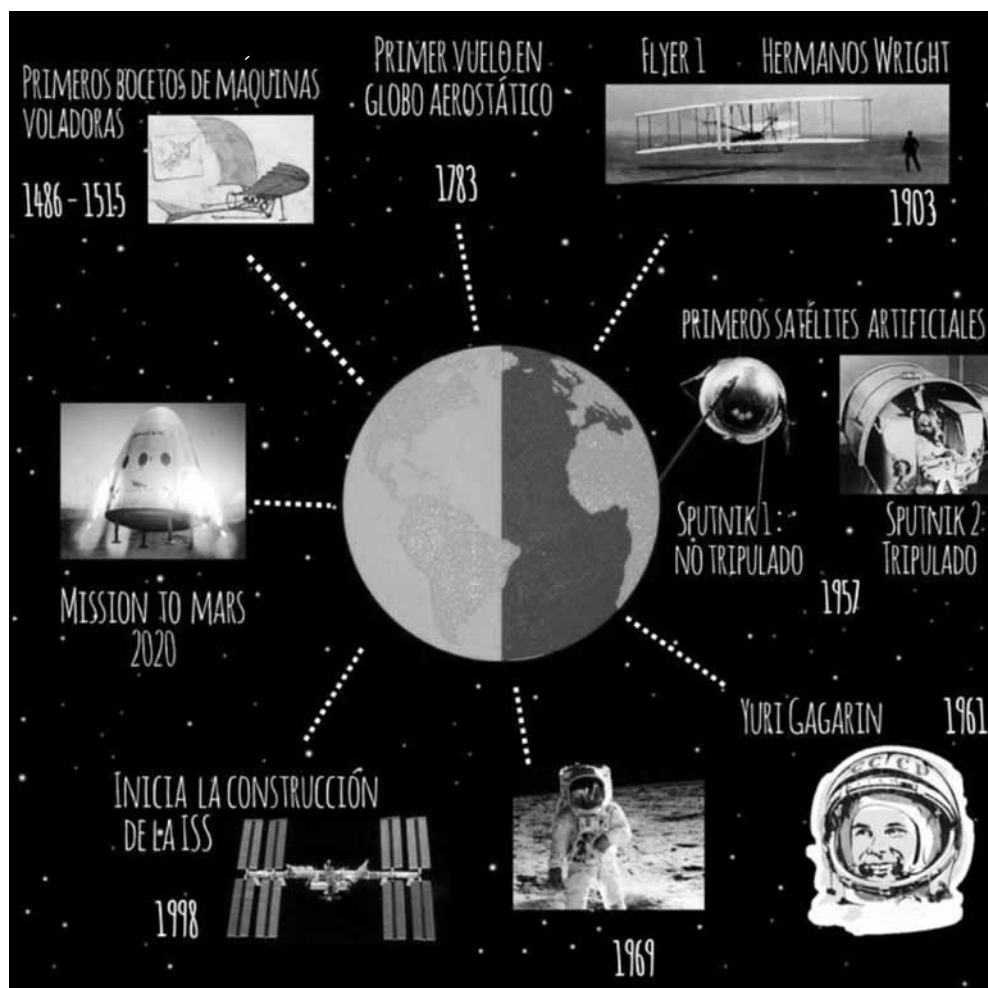


FIGURA 2.1.

Breve cronología de los viajes aeroespaciales.

Montgolfier¹² consiguieron el vuelo en un globo. Éste se hizo mediante la creación de una máquina que lograba concentrar aire, mismo que se calentaba con la ayuda de una hoguera de madera, dentro de un globo. Evidentemente, este artefacto logró establecer las bases de lo que hoy se conoce como “globo aerostático” y permitió profundizar la relación de conocimientos entre la altitud y la atmósfera terrestre.

Durante la Revolución Industrial, se desencadenó el desarrollo de nuevas tecnologías, por lo que fue necesaria la expansión de conocimiento científico-tecnológico, lo cual ofreció una oportunidad para mejorar e innovar los productos de consumo.

Esto se pudo observar con la implementación de medios de comunicación como el teléfono, radio, fotografía, cine; la utilización de fuentes de energía, tales como carbón, petróleo, electricidad, entre otros y la implementación de nuevos medios de transporte; tren de vapor, automóvil, tranvía y avión.¹³ Sin duda esta aproximación con los nuevos recursos para el traslado fue el precedente para la obtención de avances en la navegación aérea.

A mediados del s. XIX, en el año 1852, Henri Giffard,¹⁴ ingeniero francés, diseñó e inventó el dirigible. Este artefacto era una máquina cuya característica esencial era poder ser más ligera que el aire y por lo tanto tenía la capacidad de volar, además tenía beneficios como la adaptación de un timón y un motor a vapor, consiguiendo así dirección y control del mismo. A partir de esta evolución y aprovechamiento científico se obtuvieron más acercamientos del humano para explorar el espacio aéreo. Otro adelanto importante que precedió a las máquinas modernas de aviación fueron los planeadores. En el año 1891, Otto Lilienthal¹⁵ construyó varios prototipos de alas, basados en diseños gráficos de Leonardo da Vinci, los cuales estaban hechos principalmente de mimbre y tela. Con dichos planeadores consiguió hacer más de 2 000 vuelos durante los cuales logró superar los 300 m de recorrido. Claro está, dicha creación fue la precursora del avión. Pero ocurrió hasta 1903 que se logró el primer acercamiento con la navegación aeroespacial: el primer vuelo controlado en un avión con motor. Fueron los hermanos Wilbur y Orville Wright quienes consiguieron tal hazaña al crear una máquina más pesada que el aire, misma que pudo elevarse del plano terrestre durante 12 segundos con una velocidad media de 48 km/h. Esta peculiar máquina fue conocida como "*Flyer 1*".¹⁶

Paradójicamente, los siguientes años, es decir, durante la Primera Guerra Mundial, el periodo de entreguerras y el final de la Segunda Guerra Mundial, fueron muy fructíferos para la investigación aeroespacial, pues se consiguieron mayores alcances en la exploración de nuevas tecnologías debido a la utilización de artefactos aéreos, los cuales tuvieron gran aplicación en el uso estratégico militar utilizado durante la época. De esta manera, se sentaron las bases de la navegación aérea con la innovación e implementación de aditamentos que hicieron más factible la exploración, mismos que lograron el perfeccionamiento en la ingeniería aeroespacial. Se consolidaron las características específicas que se necesitaban para lograr vencer la fuerza gravitacional y conseguir salir de la órbita terrestre. Dichas características fueron: calcular la potencia y rendimiento de la nave, llegar a una velocidad estable a partir del escape de gases, alcanzar una velocidad máxima dada por la relación de masas totales y masas útiles y conseguir una fuerza de empuje e impulso necesaria para salir de órbita.

A inicios de 1950, la comunidad científica internacional proponía la utilización de nuevas tecnologías que permitiesen ampliar los conocimientos sobre la Tierra y la atmósfera en la que habita el ser humano. Para llevar a cabo esta tarea, se requería desarrollar un satélite artificial que orbitara el planeta Tierra y así poder facilitar el

estudio de la ionósfera. Los intereses cruzados de varios países, entre los cuales destacan Estados Unidos y Rusia, dieron el impulso para participar en esta labor de reconocimiento, y fue así que el presidente estadounidense Eisenhower, en el año 1955, decide tomar ventaja y anunciar su participación. La respuesta soviética no se hizo esperar y en agosto del mismo año, durante el *6th International Aeronautical Congress* (IAC) celebrado en Copenhague, el académico ruso Leonid I. Sedov comentó:

“La realización del proyecto soviético puede esperarse para el futuro próximo”.

Aunque entonces no pareciera un discurso trascendental, se estaba iniciando una lucha, no armada, entre dos potencias mundiales: *La carrera espacial*.¹⁷

La entonces URSS (Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas) y Estados Unidos (EU) fueron precursores de la exploración espacial que tuvo lugar en la segunda mitad del s. xx. El primer gran logro, se obtuvo el 4 de octubre del año 1957, la hoy Federación Rusa consiguió poner en órbita al primer satélite artificial no tripulado; *“Sputnik I”*.¹⁸ Este satélite, parecido a una esfera metálica, pesaba entre 80 y 85 kg y consiguió mantener una trayectoria elíptica alrededor de la atmósfera terrestre en aproximadamente 95 minutos.¹⁹ Su objetivo fue recoger datos sobre la Tierra. Tan sólo tres meses después, Rusia volvió a sorprender al mundo, enviando a órbita terrestre al *“Sputnik II”*, primer satélite tripulado por un ser vivo: Laika (*“Ladradora”* en español). A pesar de haber conseguido ser el primer mamífero en llegar a la órbita terrestre, desafortunadamente no regresó con vida a casa,²⁰ sin embargo, este suceso tuvo gran trascendencia en la recopilación de datos para el monitoreo de los efectos fisiológicos durante el viaje de un ser vivo al orbitar la Tierra.

Los hallazgos obtenidos por la Unión Soviética desencadenaron una respuesta inmediata por parte de Estados Unidos, que audazmente apostaron por la investigación y exploración aeroespacial, logrando gran apogeo entre 1957 y 1959. Durante 1957 construyeron el primer satélite artificial no tripulado; *“Vanguard I”*.²¹ Sin poder conseguir su cometido, éste tuvo desperfectos que le hicieron estallar en la plataforma de lanzamiento, representando el primer fracaso tecnológico de los estadounidenses. Contradictoriamente, este descalabro fue el precursor de diversos avances durante los años siguientes. Tan sólo 2 meses, en enero de 1958, después del *“Vanguard I”*, se construyó un nuevo satélite no tripulado; el *“Explorer I”*.²² Dicho vehículo fue enviado con éxito al espacio y permitió el descubrimiento de los *“Cinturones de Van Allen”*^{23,24} los cuales están íntimamente relacionados con las radiaciones magnéticas que afectan al astronauta. En julio del mismo año, 8 meses después, Dwight D. Eisenhower fundó la National Aeronautics and Space Administration (NASA).²⁵ Una de sus primeras acciones fue la implementación del Proyecto *Mercury* que tuvo cabida entre los años 1961 y 1963.

Continuando con las labores de exploración espacial para el reconocimiento e investigación de las alteraciones fisiológicas en los seres vivos, los estadounidenses llevaron a cabo más misiones tripuladas por animales. En mayo de 1959, el mundo

volteó la mirada al cohete “*Jupiter AM-18*”, el cual puso en órbita a Able (“Capaz”) y Baker;²⁶ los primeros monos que lograron volver con vida al planeta Tierra. Este hecho, sin duda alguna, acercaría cada vez más al ser humano a tripular una nave espacial.

Por otro lado, la Unión Soviética realizaba investigaciones científicas mediante la observación controlada, para comprender las respuestas fisiológicas en los mamíferos, adquiriendo así el entendimiento de las condiciones idóneas para enviar al hombre al espacio. Para el año 1961, se puso en atmósfera terrestre al primer ser humano: Yuri Gagarin, quien, a bordo de la nave “*Vostok I*”,²⁷ pasó a la historia el día 12 de abril por realizar el primer viaje espacial tripulado por un cosmonauta.²⁸ Ante tal hito mundial, EU no podía quedarse atrás, por lo que el 5 de mayo (23 días después del vuelo soviético) durante las misiones *Mercury*, Alan Shepard se convierte en el primer astronauta estadounidense²⁹ en completar un vuelo suborbital a bordo del “*Freedom VII*”.³⁰ Estos sucesos además de establecer un parteaguas en la exploración espacial, dan lugar al perfeccionamiento de los vuelos tripulados donde se estudiaban las afecciones biológicas en el ser humano. En adelante todos los viajes orbitales que le precedieron, materializaban los resultados de investigaciones científicas que demostraban las condiciones permisibles para el traslado del hombre.

Durante los años 60 sobresalen importantes misiones espaciales: en 1962 John H. Glenn consigue ser el primer astronauta estadounidense que navegó hasta la órbita terrestre,³¹ realizando 3 vueltas alrededor del planeta a bordo de la nave “*Friendship VII*”. En 1963 la Unión Soviética consigue enviar a Valentina Tereshkova en el “*Vostok VI*” para convertirse en la primera mujer en viajar al espacio.³² En 1965 el cosmonauta Alexei Leonov, en la misión rusa “*Voskhod II*”,³³ alcanza un hecho histórico por realizar la primera “*caminata espacial*”, unido a la nave con el uso de una correa especial que medía alrededor de 5 m, realizando actividad extravehicular durante más de 12 minutos.³⁴

Pero fue hasta el año 1969 que, dentro del programa estadounidense “*Apollo*”,³⁵ el hombre concluyó uno de los más grandes descubrimientos científicos y tecnológicos: la llegada y permanencia del ser humano en la Luna,³⁶ hallazgo que marca un adelanto en la capacidad para controlar las condiciones compatibles con la vida. Este hecho muestra el nuevo desarrollo de elementos que permiten establecer la conquista del espacio. Durante estos años, el límite ya no era el cielo.

A partir de los años 70 el reto espacial no sólo consistió en enviar personas fuera de la órbita terrestre sino poder asegurar su permanencia aprovechando las condiciones para la comprobación e instauración de nuevas tecnologías amigables con la estancia y supervivencia humana. De esta manera es como se iniciaron los diseños de las “Estaciones espaciales”. Como resultado, en el año 1971 se pone en órbita la primera estación espacial en órbita terrestre: el “*Salyut I*”, enviada por la Unión Soviética. Esta compleja estación contaba con características ambientales similares al resto de las naves rusas: atmósfera de presión, 80% nitrógeno y 20% de oxígeno y humedad, temperatura estable y contenido de CO₂ compatible para la estancia de

los tripulantes. Durante esta y las demás misiones de “*Salyut*”, en especial VI y VII, se llevaron a cabo distintos estudios médicos que ampliaron el entendimiento de la salud de los viajeros. Tales estudios fueron: ecocardiograma, electrocardiograma, ultrasonido, oscilometría, ejercicios en la banda sin fin, mediciones de la masa muscular, estudios de psiconeurología, microbiología, recolección de productos de desecho, entre otros.³⁷

Los avances científicos y tecnológicos realizados por la Unión Soviética repercutieron en las investigaciones estadounidenses. Fue así como en 1973, dos años después, enviaron la primera estación espacial estadounidense: “*Skylab*”.³⁸ Este fue un laboratorio espacial que se mantenía orbitando la Tierra y cuyo principal fin era el estudio de la fisiología humana en un entorno de microgravedad.

Todas las misiones espaciales antes mencionadas coadyuvaban al entendimiento actual de los cambios fisiológicos del ser humano en el espacio, por lo que es importante recalcar que debido al avance tecnológico, el tiempo de estancia de los astronautas fuera de las condiciones terrestres se había incrementado, y en consecuencia, la alteración fisiológica sería extensa, obligando a la adaptación del individuo.

La nueva tendencia internacional apuntaba a la exploración del espacio y al reconocimiento de las consecuencias ocasionadas por la exposición humana a lapsos prolongados en microgravedad. Esta inquietud reflejaba la necesidad de crear un ambiente artificial, hermético y ecológico que recibiera y asegurara la permanencia humana y la de otros seres vivos como las plantas o los parásitos. Es así como se llegó al auge de las Estaciones espaciales. De esta manera, se diseñó y construyó la Estación Espacial Internacional (EEI) donde países del mundo (EU, Rusia, Canadá, Brasil, Unión Europea, y Japón) se volvieron participantes activos con un común acuerdo: crear y organizar dicha estación y que ésta tuviera la capacidad de contener en su interior laboratorios de investigación, servicio médico, instalaciones para la recreación y deporte del astronauta, medios para la comunicación terrestre y sobre todo para la implementación de nuevas técnicas para la Medicina espacial.

Sin duda a la par del descubrimiento e investigación aeroespacial, se llegó a la creación de diversas tecnologías que hoy en día son utilizadas cotidianamente, tales como: la navegación satelital, la comunicación inmediata, el internet, las gafas de realidad virtual, etc. Y más allá de dichos avances, se perfeccionaron los medios de desarrollo y estancia en ambientes incompatibles con la vida, los cuales revelan el mejoramiento por la navegación fuera de las condiciones a las que el hombre está habituado.

El entorno espacial

El concepto de lo que actualmente se conoce como vida ha tenido una transformación progresiva desde hace miles de años, la cual ha estado condicionada por el entorno en el que evolucionó: las condiciones terrestres durante el origen del Sistema Solar eran completamente distintas e incompatibles con la existencia de seres vivos.

El comienzo de la vida, hace alrededor de 3.5 millones de años,³⁹ se estableció en un complejo ambiente químico, mismo que carecía de elementos fundamentales para la existencia e inclusive para la misma protección terrestre. Sin embargo, durante millones de años hubo modificaciones progresivas que posibilitaron la transformación del entorno y de las necesidades del ser vivo a partir de la acumulación y adquisición de nuevas características que se complementaron, hasta conseguir la peculiar atmósfera terrestre a la que hoy en día estamos habituados.

Las condiciones indispensables para la vida se han puntualizado en distintas publicaciones sobre la evolución y adaptación de los seres vivos. En dichos textos se concreta en común acuerdo cuáles son los requerimientos esenciales para el entorno terrestre: la existencia de agua, elementos químicos, energía y la presencia de una atmósfera que brinde estabilidad terrestre.

Capas de la atmósfera

Se considera como atmósfera a la capa que rodea a un cuerpo celeste y está constituida por una mezcla de diversos gases.⁴⁰ La atmósfera terrestre está organizada en una serie de capas superpuestas y, para su estudio y conocimiento, se clasifica según diversas variaciones: temperatura, altura, composición, hechos climatológicos, densidad de gases, exploración aeroespacial, presión barométrica, etc. Su clasificación, desde la Tierra hacia el espacio, es: tropósfera, estratósfera, mesósfera, termósfera o ionósfera y exósfera⁴¹ (Figura 2.2). A continuación se mencionan las principales características de cada una.⁴²⁻⁴⁴

Tropósfera

El término *tropósfera* proviene etimológicamente de "*tropos*" que significa "*girar*" pues se caracteriza por los movimientos convectivos y de mezcla. Esta capa es la más próxima a la superficie terrestre. El límite superior se conoce como "*tropopausa*", y éste tiene variaciones espaciales, es decir, dependiendo de la altitud y latitud terrestres; por ejemplo, sobre los polos varía entre los 9 km sobre nivel del mar (s.n.m.) y sobre el ecuador alrededor de los 18 km s.n.m.

Esta capa contiene la mayoría de los gases atmosféricos y por lo tanto 75% de la masa total de la atmósfera. También incluye elevadas concentraciones de vapor de agua lo cual tiene gran repercusión en la captación de rayos infrarrojos, permitiendo la regulación de la temperatura y favoreciendo la sobrevivencia humana. Por otra parte, hay importantes flujos convectivos de aire, producidos por la energía térmica y la diferencia de presión, permitiendo dar lugar a los fenómenos meteorológicos; prácticamente aquí se desarrollan y presentan todos los eventos climatológicos: nubes, lluvia, turbulencias de aire, ciclones, neblina, tornados, relámpagos, etc.

El aire de la tropósfera recibe el calor de la superficie de la Tierra, haciendo la temperatura variante e inversamente proporcional a la altura, esto quiere decir que es máxima en la parte inferior (alrededor de 15 °C de media) y a partir de ahí comien-

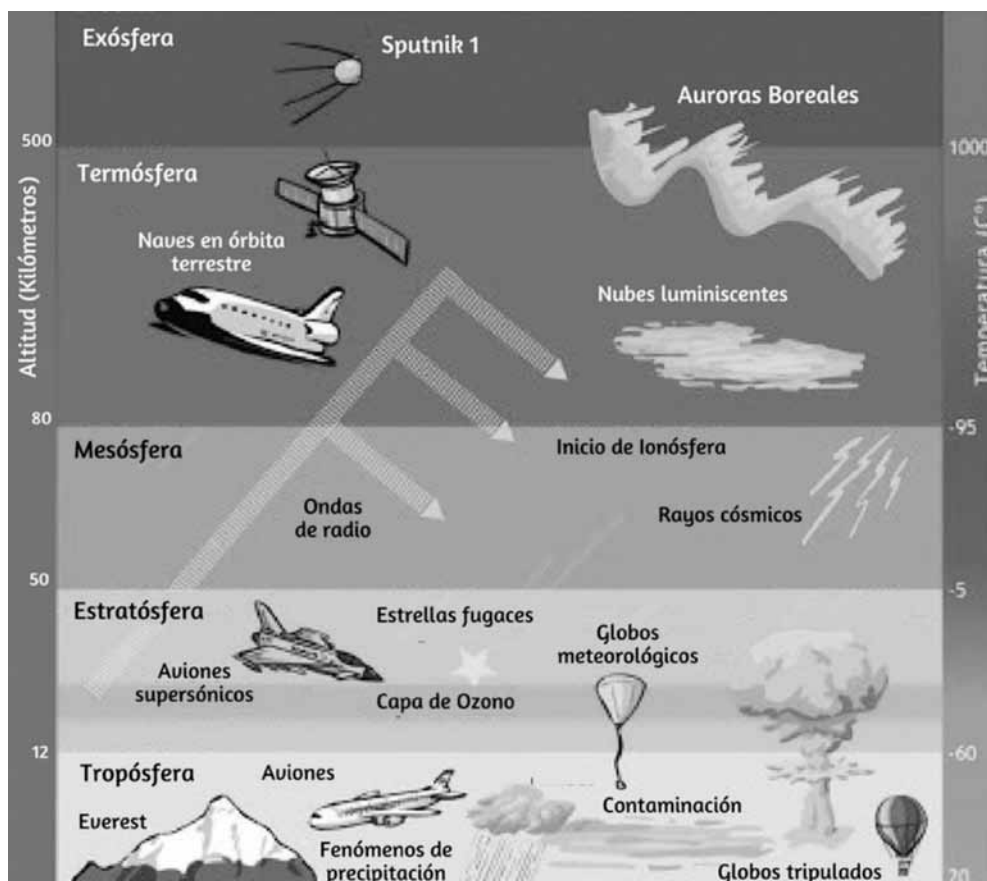


FIGURA 2.2.
Distribución de las capas de la atmósfera.

za a descender con la altura según el Gradiente Térmico Vertical (GTV) que establece un descenso aproximado de 6.5 °C por cada km de altura.

Estratósfera

La palabra “*estratósfera*” proviene del vocablo “*stratum*” que significa *capa estratificada*. Esta capa se extiende desde la tropopausa hasta una altura aproximada de 50 km s.n.m.: este límite superior se conoce como “*estratopausa*”. En este espacio se genera la mayor parte del ozono atmosférico, por lo tanto, sobresale la participación del ozono (O_3) y el oxígeno (O_2), dichos elementos filtran la llegada de rayos UV:⁴⁵ la capa de ozono, cerca de los 20 a 30 km s.n.m., estabiliza la temperatura y absorbe la radiación UV mediante un proceso fotodisociativo que repele la entrada y consume

la mayor parte de la luz UV (luz de onda larga). En términos sencillos una parte de la luz UV transforma el oxígeno en ozono y otra parte de esa misma luz realiza el proceso inverso. Esta captación de energía luminosa regula la temperatura, misma que varía con el ascenso.

Mesósfera

El término “*mesósfera*” proviene del griego “*meso*” que significa *media*. Esta capa comienza en la estratopausa y se extiende hasta los 80 km de altura s.n.m. donde se conoce como “*mesopausa*”. A lo largo de esta capa la temperatura disminuye hasta que alcanza cerca de -140 °C: esta es la zona más fría de la mesósfera. En esta capa se observa un sorprendente fenómeno espacial: las estrellas fugaces, ocasionadas por la desintegración de los meteoroides debido al rozamiento con las partículas que se encuentran en este espacio.

Ionósfera/termósfera

Esta capa se extiende desde la “*mesopausa*” (alrededor de los 80 km s.n.m.) hasta llegar al límite superior, la “*termopausa*”, localizada entre 600 y 700 km s.n.m. aproximadamente. El nombre “*ionósfera*” hace alusión a la ionización de las partículas atómicas y moleculares provocadas por la absorción de la radiación UV, los rayos gamma y los rayos X provenientes del sol, lo que ocasiona que el nitrógeno y oxígeno pierdan electrones quedando con una carga positiva, así los electrones que se han desprendido permiten que se produzcan campos eléctricos alrededor de la capa. La interacción de partículas subatómicas y estos átomos ionizados dan lugar a un fenómeno llamado aurora polar (en el polo norte *aurora boreal* y en el polo sur *aurora austral*). El calor en la termósfera es directamente proporcional a la altura debido a la absorción de radiaciones de alta energía por lo que se puede llegar a más de 1 000 °C, sin embargo, el aire se encuentra tan rarificado que resulta imposible conceptualizar a la temperatura.

Exósfera

Algunos autores consideran una quinta capa: la exósfera. Ésta va desde los 600 a 700 km s.n.m. hasta los 10 000 km. Tiene como particularidad que la distribución de gases es muy dispersa, por lo tanto la densidad llega a ser similar a la del espacio exterior, tal como las condiciones de vacío. Asimismo, se caracteriza por la ausencia de luz (también conocido como oscuridad total) debido a la disipación de las partículas que no permite la captación luminiscente.

Composición química de la atmósfera

Los componentes químicos que se encuentran en la atmósfera terrestre se clasifican en dos grupos: mayoritarios y minoritarios o también conocidos como gases permanentes y gases variables.⁴⁶ Por una parte, los compuestos mayoritarios ocupan una cantidad superior en la distribución de elementos en el espacio atmosférico. Dichos

CUADRO 2.1.

Distribución de gases atmosféricos

Gas	Concentración
Nitrógeno, N ₂	78.1% por volumen
Oxígeno, O ₂	20.9% por volumen
Argón, A	0.9% por volumen
Dióxido de carbono, CO ₂	350 ppm
Vapor de agua, H ₂ O	0 – 4%, variable
Ozono, O ₃	4 – 65%, ppb
Metano, CH ₄	1 750 ppb
Monóxido de carbono, CO	150 ppb
Óxido nitroso, N ₂ O	280 ppb

elementos son: nitrógeno (N₂) 78.083%, oxígeno (O₂) 20.945%, argón (Ar) 0.934%, vapor de agua (H₂O) y dióxido de carbono (CO₂) 0.035%, los cuales representan 99.007% de la composición total.⁴⁷ El 0.003% restante lo ocupan otros elementos conocidos como componentes minoritarios, mismos que aparecen en pequeñas cantidades que inclusive deben ser medidas en partes por millón como el neón (Ne), helio (He), criptón (Kr), hidrógeno (H₂), xenón (Xe), metano (CH₄), ozono (O₃), óxidos de nitrógeno (NOx),⁴⁸ entre otros (Cuadro 2.1).

Aproximadamente, entre los primeros 80 y 100 kilómetros s.n.m., la composición atmosférica es homogénea, es decir, se mantienen proporciones uniformes en la distribución de los gases, por lo tanto, esta capa, con base en la distribución de elementos químicos, es conocida como homósfera. Pasando esta altura, es decir, más allá de los 100 km s.n.m., la composición y concentración de los gases tiene distintas variaciones, notándose la predominancia de ciertos gases; nitrógeno molecular (N₂) localizado entre 100 y 200 km s.n.m., oxígeno atómico (O) entre 200 y 1 000 km s.n.m., helio (He) predominante entre los 1 000 y 35 000 km, haciendo que la distribución de gases sea inversamente proporcional entre la altura y la masa atómica del gas, por lo tanto, ésta cambia según la altura determinada. Esta capa se conoce como heterósfera.⁴⁹

Propiedades físicas de la atmósfera

Son dos las propiedades físicas esenciales con las que cuenta la atmósfera terrestre: temperatura y presión atmosférica.

Temperatura

En física, la temperatura se conceptualiza como una cantidad obtenida por la medición de la energía interna de la materia; frío si hubiera poca energía y caliente en el

caso contrario. Ahora bien, el calor se entiende como la energía que es transmisible desde un cuerpo hacia el entorno o hacia otro cuerpo que esté asociado con este último, todo esto en virtud y relación con una diferencia térmica del sistema. Además, se debe agregar que, según el *Principio de la Conservación de la Energía*, ésta no se crea ni se destruye, sino que se transforma. Como resultado, en la atmósfera terrestre podemos encontrar a la temperatura en diversas formas de energía: cinética, potencial, química y/o calorífica, sin embargo, toda procede en última instancia de la energía solar y una parte pequeña del movimiento de rotación de la Tierra. Como se mencionó anteriormente, la temperatura de un cuerpo indica el nivel de energía y, por lo tanto, necesita una unidad de medida: los grados Celsius o centígrados (°C) o los grados Kelvin (°K).⁵⁰

En la Tierra, la temperatura de los distintos sitios dentro del sistema climático: océano, aire, nivel del mar, atmósfera, etc., se determina a través de la cantidad de calor (y, por lo tanto, energía) que está almacenada y las variaciones dependen del balance entre adquisición y pérdidas de calor. En la atmósfera terrestre, la temperatura cursa un proceso cambiante al estar sujeta al calor terráqueo y la energía calórica solar.⁵¹ Dichas variantes obedecen dos circunstancias: tiempo y espacio.

Por una parte, las modificaciones temporales corresponden a la variabilidad de la radiación solar. Podemos ver que el régimen térmico diario es muy parecido en distintas partes del globo terráqueo, es decir, se caracteriza por presentar un máximo después del mediodía y un mínimo poco después de la salida del sol. Esto se mantiene atado a distintos factores: nubosidad, corrientes cálidas o frías, cambios climatológicos, entre otros. El régimen térmico anual o estacional se distingue por ofrecer un máximo durante el solsticio de verano y presentar un mínimo en el solsticio de invierno.

Por otra parte, las variaciones espaciales dependen de factores geográficos como la distribución de tierras y mares, la continentalidad, las corrientes marinas, entre otras. Esto se observa en las isotermias anuales que disminuyen del ecuador a los polos. En el hemisferio norte sucede un hecho interesante pues la distribución territorial y marítima producen amplias desviaciones, por lo tanto los océanos y las costas occidentales de los continentes con latitud media y alta son más templados que el interior continental y las costas orientales, esto es producto de los vientos y las corrientes marítimas cálidas. En cuanto a las latitudes bajas, sucede el proceso inverso; los vientos de noreste a sureste (alisios) y las corrientes son distintas. Otra variación espacial es debida a la latitud pues se puede observar una asimetría según las pendientes más cálidas, que son aquellas que reciben una cantidad mayor de calor solar. Aparece también un gradiente altitudinal que es variable en función de las condiciones del relieve.

La temperatura atmosférica varía con la altitud. La relación que hay entre altitud y temperatura tiene cambios dependiendo de la capa atmosférica, la concentración de moléculas de O₂, la densidad de las partículas de O₃, condiciones climatológicas, entre otras.⁵² A esto se le conoce como *Gradiente térmico atmosférico*.

En la tropósfera el aire se calienta a partir de la energía calórica que la superficie terrestre emite. Tomando esto en cuenta, la temperatura máxima a nivel del

mar gira alrededor de los 15 °C en promedio y conforme la altura s.n.m. comienza a descender con respecto al Gradiente Térmico Vertical (GTV) descendiendo 6.5 °C cada km que se asciende (se establece que cada 100 m, la temperatura baja 0.65 °C) hasta que, a los 12 km de altura, llega hasta -70 °C, aproximadamente. En este punto, paradójicamente, la temperatura incrementa con la altura hasta que llega próximo a los 0 °C en los 50 km. Como se mencionó en párrafos anteriores, esta elevación en la energía térmica se debe a la absorción de la radiación ultravioleta por la capa de ozono. De los 50 hasta los 80 km, la temperatura disminuye hasta alcanzar los -140 °C. Es aquí donde la temperatura vuelve a elevarse proporcionalmente con la absorción de la radiación de alta energía, logrando alcanzar en cierto punto hasta 1 000 °C (alrededor de los 600 km s.n.m.), al cruzar esta altura, la densidad de las partículas de gas impide la transmisión de calor y resulta imposible establecer un valor conciso de temperatura.

Presión atmosférica

Se define a la presión atmosférica como la fuerza que ejerce el aire de la atmósfera sobre la superficie de la Tierra. También se conoce como la “columna de aire” que se encuentra sobre cualquier objeto que está situado en la superficie terráquea. La masa de aire que cubre la Tierra, por ser materia, tiene un peso como cualquier otro cuerpo. Esta presión se puede calcular con un barómetro y para su medición se estableció el parámetro estándar de 1 atmósfera a nivel del mar o su equivalente, el peso de una columna de mercurio de 760 mm de altura. Dicha fuerza actúa inversamente proporcional a la altitud, es decir, casi la totalidad de la masa (y, por lo tanto, de la fuerza) atmosférica se encuentra en los primeros kilómetros a partir del nivel del mar (esto se debe a la fuerza gravitacional que actúa sobre los gases). Siguiendo dicho principio, la presión atmosférica disminuye con la altura. Para tener noción de la fuerza atmosférica, si medimos la presión atmosférica que se ejerce sobre un humano de talla y complexión promedio (con una superficie corporal de 17 000 cm²) será de 17 000 kg. Esta persona no es aplastada por la columna de aire pues los gases del interior del cuerpo mantienen la misma presión, pero actúan como una fuerza contraria.⁵³

Breve historia de la Medicina espacial

La historia de la Medicina espacial tiene su origen de estudio en la Medicina aeronáutica, que a su vez está estrechamente ligada al nacimiento y desarrollo de la aviación, significa que el desarrollo logrado en materia de medicina está íntimamente relacionado al desarrollo en ingeniería aeronáutica y tecnológica.

Dado que el campo de estudio referente a ingeniería, física o matemáticas no compromete la salud de los seres humanos, es que la Medicina espacial ha desarrollado los mayores avances en soporte vital y fisiología humana en el espacio. Dicho progreso de la Medicina aeroespacial es debido a la mejora progresiva de las máquinas que iban excediendo poco a poco los límites humanos.

La Medicina clásica tiene la mirada en comprender la fisiopatología y semiología en el medio terrestre, en contrapunto, con la transición histórica y la exposición del ser humano a otro ambiente, como lo es el ambiente espacial y la microgravedad. La Medicina espacial se ha enfocado en estudiar la adaptación del hombre al medio ambiente anómalo, puesto que el fenómeno del viaje espacial tiene el efecto adverso de exponer al ser humano a factores altamente estresantes que superan la adaptabilidad. La disminución del oxígeno disponible, o la disminución de la presión barométrica, junto con las bajas temperaturas y la acción de las fuerzas de aceleración sobre los sistemas de equilibrio, son sólo algunos de los factores estresantes a los que este campo ha tenido que ir dando respuestas. La capacidad de ir combinando aspectos fisiológicos, con los fisiopatológicos en relación con el medio ambiente aéreo y espacial es la peculiaridad representativa del desarrollo de la Medicina espacial.

Los “padres de la Medicina aeroespacial” fueron científicos que trabajaron en el campo de la fisiología experimental, comprendiendo los efectos sobre la salud que tenían los entornos de gran altitud. En 1590, el padre español Acosta fue el primero en sospechar que los síntomas que él mismo experimentó al atravesar los Andes centrales del Perú tenían su etiología en la rarefacción del aire. Diferenció muy bien entre los efectos del frío y los efectos de la altura. Su descripción del mal de altura (*soroche*, en lengua quechua) le hace merecedor de ser uno de los precursores de la Medicina aeroespacial.

Pero fue hasta que los ingleses Glaisher y Coxwell documentaron una descripción semiológica de su experiencia tras haber ascendido hasta los 9 450 metros de altura, donde el médico fisiólogo Paul Bert pudo concluir las repercusiones barométricas sobre el cuerpo humano y plasmarlo en su trabajo sobre efectos de presión barométrica. Considerado por muchos como el padre de la Medicina aeronáutica y por todos como el padre de la Fisiología de la Altitud.⁵⁴ Publicó sus conclusiones en 1877 en su famoso libro: *La presión barométrica, investigación en fisiología experimental*.⁵⁵

En 1898 nace Hubertus Strughold, fue un médico y fisiólogo alemán de Westtuennen, que dedicó su vida a investigar, entre otras cosas, los cambios fisiológicos que presentaban los pilotos, lo que lo llevó a tener un gran reconocimiento en materia de Medicina aeroespacial⁵⁶ e incluso recibió la nominación por la NASA como miembro de honor, pues muchas contribuciones se le atribuyen al Dr. Strughold como el término “Medicina espacial”. Posteriormente durante el simposio “Consideraciones fisiológicas sobre la posibilidad de vida extraterrestre” al que acudió a mediados del siglo xx, sin ningún registro de exploraciones hasta el momento expuso en público el acentuado grado de probabilidad que tiene el hombre para cohabitar el espacio. Cuestión que sólo se vería demostrada hasta 1961 por los rusos.⁵⁷

Durante su vida, desarrolló actividades de investigación sobre las condiciones y cambios en la fisiología del hombre, que se presentan en los vuelos extraatmosféricos. Con cientos de publicaciones en materia de Medicina aeroespacial, el Dr.



FIGURA 2.3.

Charla con el Dr. Ramiro Iglesias Leal (*derecha*) durante el congreso de “Medicina Espacial”.

Strughold podía afirmar que la conquista espacial era inminente, pero no fue hasta su publicación “*¿Where does space begin?, functional concept of the boundaries between the atmosphere and space*” que deja por sentado de manera científica esta potencialidad humana. Por ello y más, el Dr. Strughold fue considerado el Padre de la Medicina espacial, aun a pesar de su pasado relacionado con el régimen nacionalista alemán de Hitler.⁵⁸

El Dr. Strughold trabajó con múltiples científicos en este campo, pero quizá no haya nadie tan reconocible para la Medicina espacial en México como el Dr. Ramiro Iglesias Leal (Figura 2.3), médico y cardiólogo mexicano que destacó por su interés en la ciencia médica aeroespacial dedicando su actividad profesional, académica y producción científica alrededor de este campo. Mucho se puede reconocer por su gran trayectoria científica y médica, pero quizá el mayor logro en materia de medicina espacial sea el suscitado en 1968 donde tras su visita a la NASA logró recibir el primer electrocardiograma desde el “*Apolo VIII*” del astronauta Anders.⁵⁹

Tras este evento el Dr. Ramiro Iglesias Leal fue considerado un pionero en la Medicina espacial en México, actualmente es una figura icónica de esta ciencia y ha sido reconocido y premiado en diversas ocasiones por sus libros *La ruta hacia el hombre cósmico* y *Cardiología aeroespacial*. Para los médicos relacionados con el campo y para todas las disciplinas afines el trabajo del Dr. Iglesias representa una referencia de introducción con la que no se podría concebir el desarrollo de la Medicina

espacial en México llevándolo a ser una figura central para diversas instituciones académicas y gubernamentales, como lo es la Agencia Espacial Mexicana, la Academia Mexicana de Cirugía, la Academia Nacional de Medicina de México, el IPN y la UNAM que han sido partícipes activos en la investigación y publicación internacional de Medicina espacial. También han organizado eventos que conjuntan con gran éxito a los profesionales de medicina y a los interesados en ramas científicas afines entre las que destacan la astronomía, la astrobiología, la geomedicina y por supuesto Enfermería.

Siguiendo esta corriente se fundó recientemente la Sociedad Mexicana de Medicina del Espacio y Microgravedad, que en conjunto con las instituciones ya mencionadas ha desarrollado el primer libro de *Medicina espacial* y con gran vehemencia mantiene a la vanguardia en investigación a México.

Fisiopatologías sistémicas inherentes al entorno espacial

En este capítulo comprenderemos el grado de afección fisiológica en órganos y sistemas, durante el viaje espacial y bajo condiciones de microgravedad. Descrito a través de investigaciones de fisiología humana de la NASA y puntualizado en libros de Medicina espacial.

Abordaremos el síndrome de desadaptación espacial y cómo repercute sobre el cerebro y los órganos otolitos, cuál es el mecanismo compensatorio a la redistribución de líquidos al corazón, qué alteraciones hemodinámicas y pulmonares se suscitan, también revisaremos las condiciones y modificaciones leucocitarias en el espacio y cuáles son las contramedidas generales en relación al sistema inmunitario, exploraremos los principios de osteopenia y sarcopenia que les sucede a los astronautas en ingravidez y cuál es la microbiología del sistema óseo, muscular y articular.

Exploraremos los efectos deletéreos sobre los sistemas digestivo y oftálmico, describiremos brevemente las alteraciones celulares producto de la radiación cósmica, además ahondaremos en el perfil psicológico del astronauta para ser considerado apto al vuelo, comprenderemos las bases de fisiología renal y aumento de filtración glomerular, de igual manera inspeccionaremos sobre las alteraciones hematológicas y el desarrollo de la anemia espacial.

Contexto

Durante el vuelo espacial, y bajo las condiciones de microgravedad se produce un fenómeno trascendental para el organismo, puesto que cruza por un periodo de adaptación diferente a las condiciones gravitacionales en la Tierra. Sobre todo, en la función cardiopulmonar, neurosensitiva, y musculoesquelética. Sin dejar de lado las repercusiones endocrinas, renales, respiratorias, oftálmicas e inmunológicas. Y contemplando la exposición crónica a las condiciones espaciales, se añaden factores como la radiación y riesgos aledaños que comprometen la salud del astronauta aun después de llegar a la Tierra.

Los estudios más avanzados en materia de fisiología espacial han logrado obtener datos representativos para el análisis fisiológico en condiciones de adaptación

Influencia de la ingravidez en el organismo de los cosmonautas

En el vuelo:

- A** Aparato vestibular
- Desorden de actividades; alucinaciones asociadas con la posición del cuerpo
- B** Sistema circulatorio
- Reducción de la capacidad de trabajo
 - Flujo de sangre a la cabeza
 - Reducción del volumen de sangre circulante
 - Deshidratación
- C** Aparato locomotor
- Atrofia de algunos grupos de músculos responsables de contrarrestar la fuerza de gravedad en condiciones terrestres
 - Pérdida de calcio en los huesos

Después del vuelo:

- B** Sistema circulatorio
- Reducción de la resistencia a la sobrecarga en el trabajo físico
 - Trastornos en la circulación de la sangre
- C** Aparato locomotor
- Sensación incómoda de aumento de peso
 - Alteración de la coordinación al caminar
 - Disminución de la resistencia a las sobrecargas

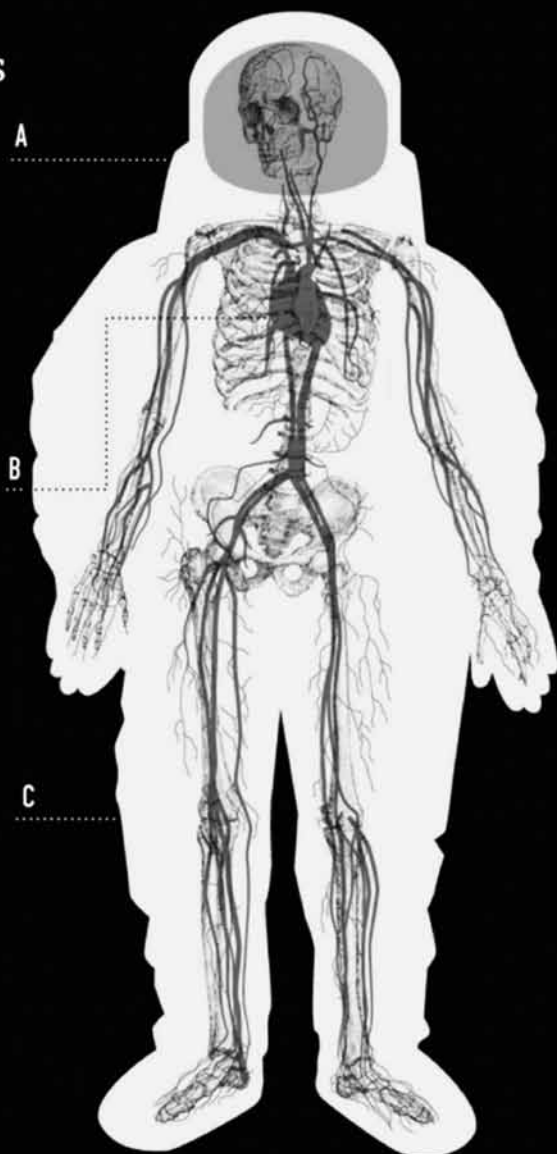


FIGURA 3.1.

Cambios anatomofisiológicos durante y posterior al viaje espacial.

que genera y caracteriza el vuelo espacial (Figura 3.1). Entre los datos más relevantes en investigación médica espacial durante el viaje se rescata: el desplazamiento de los líquidos orgánicos en sentido cefálico, hipovolemia y redistribución de líquidos cuando un astronauta adopta la posición para el despegue, la reducción de volumen total de agua corporal, alcalosis transitoria, aumento de la secreción de adrenalina, mineralocorticoides y exacerbación de la respuesta simpática. Como respuesta adaptativa en la aceleración y cinetosis del viaje espacial, para más tarde en el ambiente de ingravidez encontrar una adaptación orgánica diferente.

En este capítulo se abordan algunos de los efectos fisiológicos de adaptación orgánicos y sistémicos durante el viaje al entorno espacial.

Neurológico y vestibular

La exposición orgánica al espacio tiene una relación directa con la redistribución de líquidos corporales, con una tendencia cefálica debido a la ingravidez, y por consiguiente estos efectos generan riesgos y repercusiones neurológicas, con datos semiológicos destacables:

Cefalea y jaqueca intensa, debido a los trastornos de perfusión cerebral. Vómito y mareos debido al síndrome de desorientación espacial que sólo al cabo de la variable tiempo de adaptación se soluciona el problema, en aproximadamente 15 días.

Los trastornos de perfusión cerebral son ocasionados debido a la presencia de válvulas unidireccionales venosas en la cabeza, cuello y tórax, requiriendo asistencia gravitacional para drenar la sangre, pues viaja en sentido contrario al flujo sanguíneo. Esto genera un aumento de la PIC (presión intracraneal) y un ligero aumento sobre los senos venosos y durables como repercusión de la estasis sanguínea. La elevación de la presión del líquido cerebroespinal es también consecuencia del bloqueo a la absorción a través de la aracnoides, resultando en un edema epicraneal.⁶⁰

Aunque existen ensayos clínicos actuales de experimentación en reposo prolongado por 24 horas que señalan en contraste con la teoría prevaleciente, que la microgravedad reduce la presión venosa central e intracraneal. Señalando que la eliminación de la gravedad no eleva patológicamente las cifras de la presión venosa central sino que impiden la disminución normal de la presión cuando se encuentran en posición vertical. De esto se pudo concluir que el cerebro humano está protegido por los ciclos circadianos diarios en los PIC regionales, sin que pueda producirse patología. Sin embargo, este fenómeno hemodinámico de redistribución continúa en experimentación.

Los científicos espaciales han encontrado alguna evidencia tras ensayos clínicos de una de las más importantes repercusiones neurológicas prevalecientes a la estancia espacial, que puede afectar el desempeño cognitivo y en los neurotransmisores cerebrales de los astronautas. En la Universidad de Padua, Italia, los hallazgos sugieren que la microgravedad puede afectar la capacidad de aprendizaje como consecuencia de los vastos cambios psicológicos, hormonales y cardiovasculares típicamente observados en estas condiciones.⁶¹

En relación al sistema vestibular y somatosensorial, en la actualidad se sabe gracias a los ensayos de investigación clínica de la NASA que, en el ambiente de ingravidez, la información aferente derivada de los órganos otolitos (sáculo y utrículo), se encuentra alterada como consecuencia del cese de señales. Traduciéndose en la imposibilidad del sujeto para interpretar las señales relacionadas con la dirección del cuerpo respecto al movimiento vertical, conllevando importantes procesos adaptativos para la actuación de los cosmonautas y su adaptación al entorno. Afectando la coordinación, la postura corporal y el movimiento. También la información aferente sensorial afecta las condiciones mecánicas del cuerpo, llevando la disfunción vestibular a generar síntomas claros de cinetosis espacial que afectan entre 40 a 50% de los astronautas.⁶²

Existe una clara diferenciación entre la semiología producida por la cinetosis terrestre y espacial, en la segunda se incluyen datos como letargia, anorexia, malestar general y la sensación de giro, con la particularidad de no acompañarse con un reflejo nauseoso previo. Apareciendo en los primeros minutos, tras producir el ingreso a la órbita y tendiendo a agravarse con los cambios de posición de cabeza o cuerpo.⁶³

Se han establecido múltiples hipótesis científicas sobre la etiología de la cinetosis, entre las que destacan: la relación con el conflicto sensorial y la desarmonía de la aferencia recibida por los órganos otolitos y los canales visuales, así como la relación de la ingravidez, la redistribución de líquidos y su influencia sobre el órgano estatoacústico. Aunque no existe evidencia comprobable sobre una disfunción auditiva en astronautas tras haber regresado a la Tierra.⁶⁴

Cardiovascular

Los primeros efectos cardiovasculares en el viaje espacial son apreciables a partir de la postura inicial que les permitirá resistir la aceleración de la nave espacial para lograr escapar de la órbita gravitatoria del planeta, esto es en posición supina con las piernas levantadas y flexionadas, para más tarde experimentar la aceleración repentina de fuerzas G en la aceleración de la nave, hasta finalmente entrar en órbita, esto es a 28 000 km/h, donde los objetos pierden la gravedad y se encuentran flotando.⁶⁵

Probablemente el corazón, las venas y las arterias, que en conjunto son el sistema cardiovascular, sean los órganos más resistentes y adaptables en condiciones de microgravedad. Aunque sufre interesantes modificaciones anatómicas y fisiológicas y, por ende, repercusiones sobre todo el organismo. Dichas modificaciones dependen de mecanismos de adaptación sujetos a etapas o fases de vuelo, altura, presión, etc.

Como ya lo hemos visto en el apartado anterior, también es concerniente a la adaptación cardiovascular la redistribución de líquidos en sentido cefálico, generando una sobrecarga cardíaca e incremento sustancial de la vascularización⁶⁶ (Figura 3.2).

Entre las alteraciones al sistema cardiovascular se encuentran puntualmente efectos como: incremento considerable en las primeras 24 horas de la frecuencia cardíaca y la tensión arterial diastólica, pues el estrés psicológico se impone a la misión, más adelante en su misión el astronauta presentará una reducción percep-

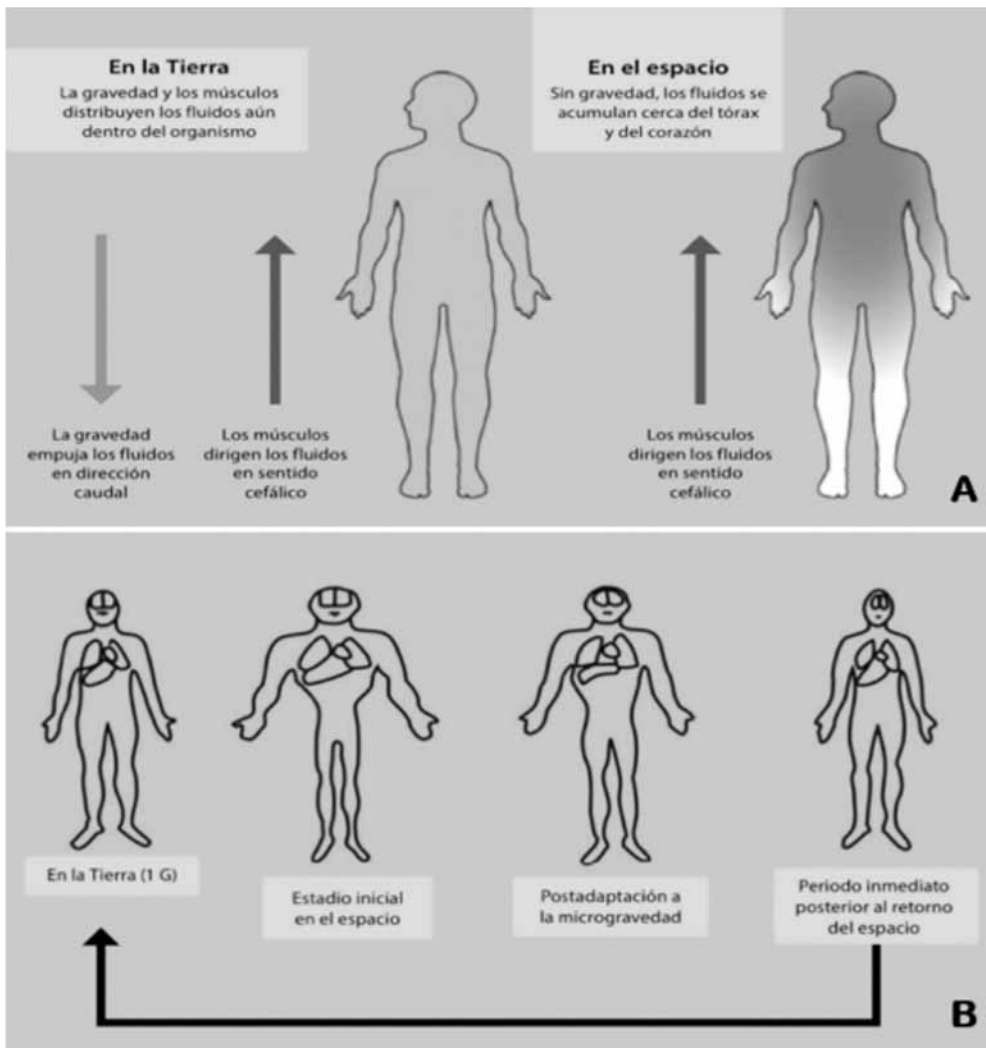


FIGURA 3.2.

A. Diagrama del modelo anatómico humano con redistribución de líquidos en sentido cefálico, ocasionado por exposición a microgravedad. **B.** Diagrama del modelo anatómico humano con redistribución orgánica adaptativa en sentido cefálico durante los diferentes estadios gravitatorios.

tible de la masa muscular cardíaca, donde el ventrículo izquierdo se encoge y disminuye. El ECG se ve modificado a causa del eje eléctrico desviado, disminución de la frecuencia cardíaca y la tensión arterial, aunque existen variables de astronauta a astronauta, pero ninguna de ellas tiene relevancia clínica. Con la exposición

prolongada el corazón toma una forma ligeramente esférica que retoma su posición original tras el regreso a G1, la Tierra.⁶⁷

En todos los viajes espaciales se ha registrado un aumento de la presión diastólica, recuperándose a través de las semanas. El volumen sistólico sufre un considerable incremento tras el primer día, para disminuir posteriormente. No existe evidencia significativa que señale lesiones o arritmias cardíacas importantes. En otra dirección la disminución plasmática en sangre se ha explicado por la mantenida presión cardiopulmonar compensada, es esta disminución el inicio de variados mecanismos compensatorios como la filtración transcápilar, el volumen incrementado intravascularmente y la reducción de poco menos de un quinto del volumen intersticial, provocando una intolerancia ortostática en los cosmonautas tras su regreso. Los efectos se pueden dividir en tempranos y tardíos para su análisis y debido a su adaptación.⁶⁸

Añadido a todo ello, las variaciones sobre la presión intracraneal y la estimulación de los barorreceptores arteriales, también se ha descubierto una inversión de valores plasmáticos, aumentando la concentración de proteínas en 9% y reduciendo el volumen del plasma en 17% en las primeras horas de vuelo.⁶⁹

Algunos datos de experimentación en la estación *Skylab* muestran registro de congestión cefálica bajo forma de edema facial, denominado “rostro de Luna llena” (Figura 3.3), congestión y engrosamiento de párpados, venas yugulares y de la sien, vasos del cuero cabelludo y la frente. Por contraparte se registra una reducción cuantificable del diámetro en diferentes partes de la pierna, como muslo y pantorrilla. Esta redistribución sanguínea continúa con una curva exponencial, alcanzando un máximo a las 24 horas y estabilizándose en el transcurso aproximado de 3 a 5 días, consecuentemente existe la probabilidad latente de sufrir un síncope espontáneo, junto con un aumento del tono vagal sostenido.^{70,71}

Los estudios realizados posvuelo, no han generado evidencia científica compatible con el compromiso pulmonar, no obstante, se sabe que durante el vuelo hay una notable reducción de la capacidad vital pulmonar, probablemente derivado del nivel de presión en la cabina y el desplazamiento orgánico en sentido cefálico dentro del tórax, aunado a la condición propia de la microgravedad.

Los estudios de estos efectos hemodinámicos del cuerpo humano en el espacio son muy parecidos, o probablemente idénticos a los efectos vasculares de la exposición del organismo a estancias prolongadas en clinostatismo o flotando en el agua. Debido a esta razón, los estudios preliminares de la NASA en la Tierra son resueltos experimentando en estas condiciones. La distribución de aproximadamente 800 mL de sangre desde la parte podal a la cefálica, se traduce en semiología vascular clínica como aumento de la precarga, incremento del gasto sistólico y por consiguiente del gasto cardíaco, aumento del flujo pulmonar, disminución de la resistencia vascular periférica, a su vez aumenta la diuresis significativamente entre las 4 a 8 horas, que es donde se encuentra su clímax, para después disminuir y junto con ella la disminución de Na y K durante las primeras 24 horas, sin síntomas de deshidratación.⁷²



FIGURA 3.3.

Astronautas de la NASA con estancia de 300 días a bordo de la Estación Espacial Internacional (EEI) y acentuando edema facial conocido como “rostro de Luna llena”.

A pesar de ser el sistema que mejor se comporta en la adaptación espacial, aún sigue siendo muy estudiado por la NASA en laboratorios como el de la *centrífuga humana*, debido a la importancia hemodinámica y su grado de influencia con otros órganos y sistemas. Es abordado también desde la electrocardiografía y en México con el Dr. Ramiro Iglesias Leal con la teleelectrocardiografía, y sus grandes aportaciones en materia de cardiología aeroespacial.

Inmunológicos

Durante los viajes espaciales los astronautas sufren diversos efectos inmunológicos que ponen en riesgo su vida y, por ende, la misión. Debido a la resistencia de los virus para sobrevivir en el entorno de la microgravedad, aunado al debilitamiento inmunológico y los cambios hematológicos es como aumenta la posibilidad de infección en astronautas. Informes de registros durante misiones espaciales, descritas de 1960 a 1970 concluyen que la mitad de los astronautas del “*Apollo*” fueron afectados por infecciones virales o bacterianas durante la misión espacial.

Las medidas preventivas como la esterilización de los alimentos también da lugar al sistema inmunológico debilitado. Las primeras pruebas hematológicas apuntan a la reducción de la actividad linfocitaria y alteración de anticuerpos; la producción de anticuerpos baja de forma considerable. Pruebas inmunológicas realizadas

en astronautas que regresaban de la estación espacial *SkyLab*, documentando la activación linfocítica mediada por mitógenos, que son factores que actúan en el ciclo celular estimulando la división celular, el hallazgo mostraba una activación significativamente mermada en contraste con las muestras tomadas prevuelo.⁷³

Un reto latente para la Medicina espacial y para los astronautas es desarrollar y mantener en un nivel óptimo la respuesta del sistema inmune celular y humoral particularmente durante estancias largas en estaciones espaciales y vuelos prolongados, debido a la serie de cambios en la condición inmune, como: producción anómala de citocinas, función deprimida de los granulocitos, niveles alterados de inmunoglobulinas, inmunidad viral específica alterada y respuestas neuroendocrinas alteradas, así como la distribución de la circulación leucocitaria alterada.⁷⁴

Entre los aspectos más considerables de la inmunología espacial se encuentra la notable inactivación de forma muy importante de las denominadas células T, que son clave del sistema inmunitario. Se piensa que la etiología podría guardar relación con el cambio que experimenta en las membranas en el interior de las células bajo condiciones de microgravedad,⁷⁵ otra célula que sufre una repercusión del sistema inmune son las células NK (*natural killer*), de gran trascendencia puesto que estas células son esenciales como parte de la respuesta inmune innata y también por su colaboración en la respuesta inmune adaptativa, debido a que en las primeras fases de la infección, las células NK actúan especialmente frente a virus, de ahí que cuando estas células no actúan correctamente, el individuo se hace vulnerable sobre todo a infecciones virales, promoviendo la liberación de citocinas sin la necesidad de previa inmunización. Además, tienen un rol activo e inherente a los mecanismos antiinflamatorios, vigilancia de tumoraciones y regulación de desórdenes autoinmunes. La microgravedad afecta a la función y actividad de las células NK de una forma interesante para la investigación fisiológica.⁷⁶

Con el objetivo de entender y solucionar el problema, la NASA llevó un experimento aprovechando a los astronautas gemelos Scott Kelly y Mark Kelly⁷⁷ (Figura 3.4), siendo sujetos de experimentación con la vacuna de influenza y sus efectos directos sobre el sistema inmunitario, la intervención fue determinar las vías y formas en las que los virus afectan al hombre, puesto que existe evidencia experimental que demuestra que los tejidos o células desafiadas por antígenos de memoria o por activadores policlonales de un modelo de microgravedad pierden toda su habilidad para producir anticuerpos y citocinas, y a su vez afecta su actividad metabólica. Debido a esto el “Departamento de salud del astronauta” de la NASA se centró en evitar el potencial efecto sobre el sistema inmunitario a través de disminuir la exposición a alérgenos, toxinas, comida caduca y material en degradación.⁷⁸

La inmunología espacial sigue siendo uno de los temas más relevantes para la investigación de las agencias espaciales de todo el mundo y para todos los científicos en materia de salud espacial, así como un riesgo continuo para la salud de los astronautas y un reto añadido para la futura colonización a Marte.



FIGURA 3.4.

Mark y Scott Kelly, astronautas gemelos sujetos a experimentación inmunológica a bordo de la EEI de la NASA.

Óseo

El sistema óseo es un tema que aún mantiene ocupados a los médicos espaciales debido a los efectos de desadaptación gravitacional que vive el organismo completo, en relación con los huesos, pero que afecta directamente en conjunto al sistema osteomioarticular. La estructura ósea está conformada por tejidos metabólicamente activos que sufren continuamente procesos de remodelamiento, permitiéndole regenerarse y adaptarse a la función del esqueleto. Existe mucho conocimiento sobre los factores que intervienen en la regulación de procesos de remodelación, pero aún es un campo en estudio ya que integra factores múltiples mecánicos, citocinas, hormonales y factores de crecimiento.⁷⁹

Los astronautas en los entornos de microgravedad sufren una disminución de la densidad ósea, debido a la ingravidez a la que están sometidos y cómo el remodelamiento óseo es directamente proporcional al nivel de tensión dentro del hueso, la ausencia de gravedad refleja un efecto significativo sobre la salud. Aunque según estudios también se relaciona la pérdida de densidad ósea con bajos niveles de iluminación, resultando en una deficiencia de la vitamina B, aunado al aumento de los niveles de CO₂ en el ambiente.⁸⁰

Dentro de las funciones del remodelado se considera principalmente la función de mantenimiento de características mecánicas del hueso a través de la sustitución

de zonas dañadas con tejido óseo nuevo, aunque también tiene relación con la organización espacial del tejido óseo a la carga mecánica y fuerzas gravitatorias experimentadas en cada momento, contribuyendo a la homeostasis mineral y el balance fosfocálcico. El cuerpo humano experimenta procesos de pérdida de minerales óseos tras los cambios en la atmósfera del espacio inmediatamente, con la producción de 60 a 70% de calcio en micción y deyección, con tendencia al aumento de manera en que se está expuesto a la microgravedad⁸¹ (Figura 3.5).

Se entiende la microgravedad como un factor mecánico natural ausente en el proceso de remodelamiento del tejido interno del hueso, ya que es responsable de

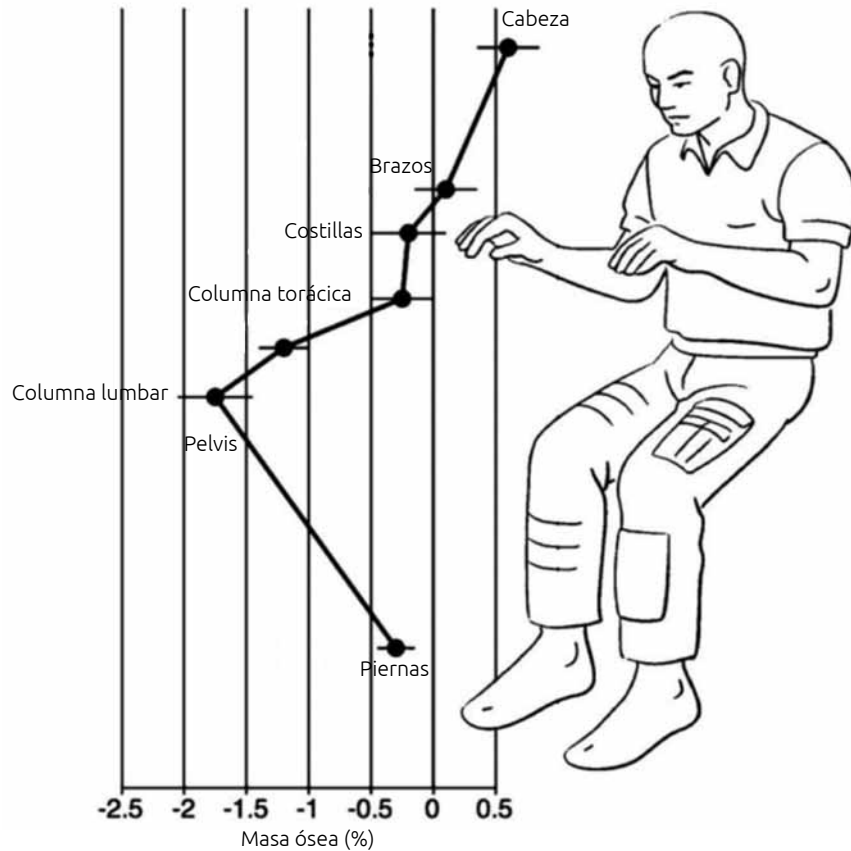


FIGURA 3.5.
Cambios en la masa ósea en cosmonautas durante misiones de larga duración a bordo de la estación MIR.

la pérdida de masa ósea inducida por la falta de actividad física. El ejercicio físico moderado e intenso tiene un efecto positivo sobre la masa ósea, que tiende a reducir con la edad debido al deterioro de las células mecanosensoras del hueso, que son la forma por la cual los osteocitos detectan y traducen los estímulos físicos, permitiendo los procesos de señales biológicas de remodelación. Por eso está prescrito ejercicio intenso durante las misiones espaciales como la banda sin fin, bicicleta y ejercicios de resistencia con liga, ya que es directamente proporcional a los procesos mecánicos inducidos sobre el hueso. Permitiendo que los microdaños por fatiga induzcan la apoptosis de las células óseas en zonas adyacentes del tejido, seguida de la resolución de los tejidos afectados, todo este proceso es mediado por osteocitos conectados entre sí y células de revestimiento óseo.⁸²

Resulta lógico inferir que los huesos sometidos a esfuerzo encargados de soportar el peso, como lo son las vértebras lumbares, trocánter, pelvis, calcáneo, tibia y cuello femoral, sufran repercusiones de manera directa. Los astronautas tienden a la osteopenia en rangos de 1 a 2% al mes sobre estos huesos y algunos individuos después de 6 meses han perdido hasta 20% de masa ósea en extremidades inferiores. La osteopenia del hueso reticular tiene el riesgo potencial de alcanzar un desgaste irreparable sobre la densidad ósea tras el regreso a la exposición gravitacional en la Tierra.⁸³

El calcio óseo medido posvuelo se encuentra críticamente reducido en comparación al nivel de calcio original, el grado de pérdida de este elemento es directamente proporcional a la duración del viaje espacial y el proceso de recuperación ósea es largo y a veces incluso mayor al tiempo invertido en el espacio. Esto expone a los astronautas a fracturas constantes, padecer osteoporosis a edades más tempranas y una marcada predisposición a la litiasis renal debido a los niveles de excreción de calcio.

Los cuidados médicos previos al vuelo están enfocados en prever la viabilidad de la exposición ósea a la microgravedad, los cuidados médicos durante, tienen la misión de preservar el tejido óseo mediante diversas contramedidas en la estancia espacial y los cuidados médicos posteriores al vuelo tienen que ver con terapia de rehabilitación y procesos de readaptación gravitacional.⁸⁴

Muscular

Con las funciones de producción de movimiento y desplazamiento del cuerpo, el mantenimiento de la postura corporal, la mayor fuente de calor del organismo y la protección de huesos es que el sistema muscular y los efectos sobre la masa muscular tienen gran relevancia previa, durante y posterior a los viajes espaciales.

El tejido muscular sufre un acentuado atrofiamiento después de días de exposición a la microgravedad, iniciando con un marcado aumento de la excreción de componentes de nitrógeno en orina. Esta atrofia es caracterizada por la alteración estructural y funcional del tejido muscular, tomando como medida una disminución en la talla de las fibras musculares, sin incidencia sobre el número total de fibras.

Los músculos que sufren mayores repercusiones en el volumen y fuerza muscular son los encargados de soportar actividades relacionadas con la gravedad como caminar, cargar objetos y los esfuerzos de bipedestación terrestre en comparación con los músculos no posturales, los cuales sufren una pérdida ínfima. La pérdida de masa muscular en misiones cortas para astronautas puede ser entre 10 y 20%, la pérdida de masa muscular en misiones de larga duración sin contramedidas para el deterioro podría llegar hasta 50%.⁸⁵

Un indicador visible de reducción sobre la masa muscular es la circunferencia de la pierna, aunque también puede estar influenciada por el desplazamiento de líquidos a la región torácica desde las piernas en condiciones de microgravedad. Durante las mediciones posteriores al viaje espacial y aun después de la rápida rehidratación del organismo, los diámetros de volumen muscular en pierna no vuelven inmediatamente al nivel prevuelo. Esta diferencia de medidas es un indicador de la disminución de masa corporal en el muslo. Un indicador con mayor grado de evidencia sobre la reducción de masa muscular es la pérdida de nitrógeno, este es un elemento esencial que constituye a cada proteína y la mayor parte de proteínas en el cuerpo proviene del sistema muscular, por ende, es el mayor sitio de proteólisis. Tomando en cuenta que la degradación muscular es variable dependiendo el tipo de músculo, se entiende a la “prueba ureica de nitrógeno excretado” como análisis concluyente que refleja el estado muscular. En orina ante una proteólisis y condiciones de microgravedad se puede encontrar un incremento en la excreción de proteína con sarcosina, creatinina y 3-metilhistidina. Aún no se ha determinado con pruebas experimentales si el deterioro muscular logra alcanzar una meseta durante los vuelos espaciales de larga duración.^{86,87}

Añadido a todo esto la pérdida muscular puede tener su origen en los cambios de metabolismo muscular y repercute en el proceso de degradación y construcción de las proteínas del músculo. Algunos experimentos realizados en misiones de estancia larga a bordo de la estación espacial MIR han revelado una disminución alrededor de 15% de la tasa de síntesis de proteínas en los seres humanos. No suficiente a la pérdida de músculo puro, algunas clases de fibras relacionadas con las contracciones musculares cambian sus propiedades contráctiles y son debilitadas. Esto se puede traducir en la disminución de fuerza en los músculos de la rodilla, el tronco y hombros.⁸⁸

En el ambiente de microgravedad la regeneración de la fibra muscular tiene menos éxito, afectando principalmente a los músculos extensores sobre los músculos flexores, sin contar el nocivo daño nutricional y hormonal que ocasiona la continua excreción de nitrógeno. Estos efectos exponen y comprometen las habilidades de los cosmonautas para continuar con la realización de sus actividades en el espacio. De la misma forma podría ocasionar efectos a la salud a su regreso tras soportar el estrés gravitacional terrestre.⁸⁹

En microgravedad existe una relación directa entre la sarcopenia y la disminución del diámetro en la pierna, también conocido como “Síndrome de piernas de

pollo". Sólo al final del tercer mes de la misión, el perímetro de la pierna podría disminuir de entre 10 y 20%, aunque como ya se dijo, gran parte de esta disminución se debe a la tendencia de aglutinación hemática en dirección cefálica.⁹⁰

Exactamente los grupos musculares que sufren mayores efectos son los denominados músculos antigravitatorios como espalda baja, abdomen, cuádriceps y gemelos a diferencia de los músculos de brazos y hombros. Estos músculos son críticos en el mantenimiento de la postura y balance en la Tierra, por tanto, resienten los efectos de la desadaptación en ingravidez. Las pequeñas pérdidas de los músculos superiores podrían estar causadas al aumento de su uso y función. En efecto, en virtud de la ingravidez, predominantemente los brazos se utilizan para moverse dentro de la nave espacial y durante las actividades fuera del vehículo espacial. Así como también es más grave en los grupos de fibras de contracción lenta en comparación con las de contracción rápida. El deterioro muscular guarda paralelidad al nivel de ejercicio físico prescrito a bordo de la nave.⁹¹

Cabe resaltar que la debilidad muscular, fatiga, falta de coordinación y dolor muscular de aparición tardía en las experiencias fisiológicas de los astronautas después de los vuelos espaciales imitan los cambios vistos en pacientes con descanso en cama y ancianos. Añadido a esto es relevante comprender que la etiología de sarcopenia por desuso también es partícipe de la inestabilidad postural y dificultades de locomoción vistas después de los viajes espaciales y que son inversamente proporcionales al nivel de intensidad y frecuencia con que realizan los ejercicios físicos a bordo, llegando a ser de hasta 2 horas y media por cada veinticuatro.⁹²

Digestivo

Los efectos fisiológicos sobre el sistema digestivo son menores en relación con los órganos anteriores, pero no por ello menos importantes. Las repercusiones gástricas e intestinales que genera la microgravedad están bien estudiadas y tienen profunda relación con el estado hemodinámico, de hidratación y deglución del astronauta.

Inicialmente existe una gastroparesia o detención temporal del sistema gastrointestinal, ocasionando un cese del funcionamiento gastrointestinal hasta el segundo o tercer día de vuelo. Sumado a esto hay deshidratación por poliuria, derivada de la aumentada tasa de filtración glomerular y la falta de actividad física en los primeros días, ocasionando estasis fecal hasta el estreñimiento y aumento de gases intestinales producto de una mayor fermentación. Aunque logra estabilizarse posteriormente, los astronautas conservan la función gástrica ralentizada y desarrollan leve anorexia, en parte debido a la menor actividad física y la dificultad de la deglución. Hay una acentuada disminución en las secreciones digestivas, aerogastria y aerocolia.⁹³

En el espacio los astronautas suelen experimentar una pérdida de peso relacionada con la anorexia y ésta a su vez mantiene relación con la disfunción hipotalámica de proteínas denominadas neuropéptidos, que son controladas en producción por

la leptina, aumentando en condiciones de microgravedad, inhibiendo la sensación de hambre, además del tipo de alimentos y el estrés psicológico al que se encuentran permanentemente expuestos.⁹⁴

Los estudios sobre el sistema digestivo en astronautas durante el viaje espacial incluyen coprocultivos y urocultivos.

Oftálmico

Resulta inherente la capacidad sensorial que requieren los astronautas durante el viaje espacial. Gozar del buen funcionamiento de los sentidos favorece el cumplimiento de los objetivos de cada misión y evita riesgos que peligren la vida de los tripulantes. Sin embargo, durante la exposición a microgravedad, se presentan muchos factores que afectan a los sentidos. En este apartado se habla de aquellas afecciones que perjudican la visión en el ambiente espacial.⁹⁵⁻⁹⁷

Desde hace más de 40 años se han enviado astronautas al espacio, esto con la tarea de descubrir cómo el ambiente de ingravidez afecta al ser humano. Dentro de estos cambios, se observó que había modificaciones anatómicas y fisiológicas en estructuras relacionadas con la visión. Al respecto, se notó que las primeras alteraciones observadas en el cuerpo humano, durante el viaje y específicamente al salir de órbita, ocurren en la redistribución de líquido, causado por la aceleración expuesta. Todo este líquido se redistribuye con dirección cefálica, ocasionando un aumento en la presión y por consiguiente en la presión ocular (se mostró que los astronautas que en la Tierra presentaban síntomas como cefalea crónica, acúfenos y diplopía, tenían mayor probabilidad de tener daños visuales durante el viaje). Este problema ha sido estudiado y catalogado por científicos de la NASA, quienes lo han descrito como síndrome VIIP (*Visual Impairment-Intracranial Pressure Syndrome*; Síndrome de discapacidad visual por presión intracraneal). Para dicho síndrome, se examinan los efectos ocasionados en la estructura ocular que ocurren por la exposición a microgravedad, asimismo, estudia los cambios en la visión cercana y a distancia de los tripulantes antes y después de una misión espacial. El origen exacto no se ha determinado, pues una gran proporción de astronautas no muestran efectos oculares, lo que supone una respuesta biológica variable, sin embargo, se sugiere que el principal agente causal es la elevación de la presión intracraneal.

Dada la alteración de la agudeza visual en los astronautas que se exponen a microgravedad, en los últimos años, se han realizado investigaciones acerca del síndrome VIIP. Los resultados demuestran que los astronautas manifiestan síntomas que se relacionan con la variación y disminución del rendimiento visual. Algunos tripulantes presentan “manchas de algodón” mientras que otros padecieron aplanamiento del globo posterior y otros tantos sufrieron distensión del nervio óptico. En las primeras misiones, donde se comenzaban a identificar síntomas de déficit visual y aún no se nombraba este síndrome, se encontró en repetidas ocasiones un patrón patológico; distintos tripulantes en siete diferentes misiones padecieron una o más

de estas afecciones: “manchas de algodón”, asimetría por edema de disco, pliegues coroides, engrosamiento de las fibras nerviosas, hemorragia del disco óptico, reducción de la visión cercana y/o lejana, escotoma ocular y aplastamiento del globo posterior. Esto representó un innegable daño visual durante las misiones espaciales.

Los recientes avances obtenidos en la investigación patológica en astronautas sugieren que las afecciones en el sistema visual se presentan por los cambios en la estructura y deterioro ocular y por lo tanto del nervio óptico, causado principalmente por el movimiento del líquido cefalotorácico al aumentarse la presión del líquido cefalorraquídeo y la elevada presión intracraneal. En particular, desencadena una sintomatología concurrente: cefalea, *tinnitus* pulsátil (acúfenos), oscurecimiento transitorio de la visión (e incluso pérdida temporal), diplopía y edema de papila. Por otro lado, se recomienda complementar la valoración espacial mediante el uso de técnicas avanzadas imagenológicas como tomografías oculares, mismas que esclarecerán el comportamiento anatomofisiológico del sistema visual del viajero espacial.

Célula

Los principales efectos en la unidad anatómica fundamental de los seres vivos son causados por la exposición a los distintos tipos de radiación espacial. Independientemente de los progresos tecnológicos en materiales de protección, montados en trajes y naves espaciales, las emisiones de ondas de radiación afectan en gran medida al astronauta. Partiendo del concepto de *radiación*, ésta se entiende como la propagación de energía a través de ondas electromagnéticas o como partículas subatómicas disipándose en un medio material o en el vacío. Dependiendo del tipo de radiación, ésta depositará más energía (que producirá más efectos dañinos) ante la interacción con un tejido vivo, logrando *ionizar* la materia y producir consecuencias celulares.^{98,99}

Los efectos biológicos, causados por la radiación ionizante, provienen del daño producido en el núcleo celular y específicamente, en la molécula de DNA. Dicha radiación puede perjudicar la composición de DNA celular en dos formas principales: directa e indirecta. Hablando de lesión directa, la energía que se irradia, se deposita en la molécula. Si ocurriera de manera indirecta, lo realiza a través de radicales libres. Estos daños en el DNA pueden ser: rupturas, uniones cruzadas, cambios en las bases, entre otras.

El detrimento celular depende de factores como la dosis de radiación, el conjunto de células expuestas, tiempo de exposición, entre otros agentes (Cuadro 3.1).

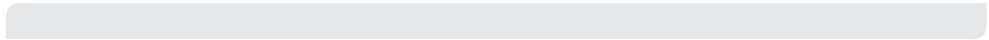
Efectos psicológicos

Las dificultades durante la misión espacial que no son de índole biológica como son los problemas psicológicos, guardan repercusiones sobre los miembros del equipo, la misión espacial y la salud del astronauta. A bordo de una nave lejos de la Tierra e internados en el profundo espacio a miles de kilómetros, son condiciones que pueden llevar a los astronautas a sufrir estrés, ansiedad, depresión o pánico. Asimismo,

CUADRO 3.1.

Alteraciones ocasionadas por la exposición a la radiación

Tejido	Dosis que causa un efecto severo (Gy)	Periodo de latencia	Causa	Efecto
Sistema hematopoyético	2.0	14 días	Leucopenia Plaquetopenia	Infecciones Hemorragias
Sistema inmunitario	1.0	Pocas horas	Linfopenia	Inmunosupresión Infección sistémica
Sistema gastrointestinal	5.0	7 días	Lesión del epitelio intestinal	Deshidratación Desnutrición
Piel	10.0	21 días	Daño en la capa basal	Descamación cutánea
Testículo	3.0	2 meses	Aspermia celular	Esterilidad
Ovario	3.0	1 mes	Muerte interfásica del ovocito	Esterilidad
Sistema respiratorio	10.0	3 meses	Falla en la barrera alveolar	Infecciones en vías respiratorias
Cristalino	5.0	> 1 año	Falla en la maduración	Catarata
Tiroides	10.0	> 1 año	Hipotiroidismo	Déficit metabólico
Sistema nervioso central	30.0	Variable	Desmielinización y daño vascular	Encefalopatías y mielopatías



pueden experimentar sentimientos de soledad, aislamiento y confinamiento, además de factores que reten su equilibrio emocional.

Es notable la importancia de los factores psicológicos que se conjugan durante las misiones espaciales, pues la salud mental y social juegan un rol crítico en la toma de decisiones y desenvolvimiento de los astronautas. La revisión metódica de dichos factores puede contener el punto crucial sobre el éxito o fracaso de la misión, en términos de interacción con el hábitat del equipo de trabajo, el ambiente espacial, y la relación interpersonal con otros miembros del equipo.¹⁰⁰

Durante una estancia prolongada en la estación espacial MIR, la agencia espacial rusa realizó un viaje de rescate con tres hombres a bordo de una cápsula para reemplazar a un astronauta en la estación mientras los dos restantes escoltaban al astronauta de regreso a Moscú. La razón oficial dada por los medios de comunicación explicando el porqué del regreso temprano a la Tierra resultó en un problema de origen cardiovascular. Algunos analistas expertos de Estados Unidos expresaron la posibilidad de que existieran condiciones adicionales y dificultades como el estrés

prolongado generado por la sensación de ingravidez, confinamiento y aislamiento.¹⁰¹ Esto muestra de una manera clara la importancia que el estado psicológico durante las misiones espaciales, a pesar de ser un tema central para la clasificación de astronautas aún tiene un grado de evidencia y asociación disminuido con problemas psiquiátricos durante la misión espacial, como ansiedad, depresión, psicosis, síntomas maniacos y cambios de la personalidad.

Las repercusiones negativas documentadas sobre el estado psicológico durante el viaje espacial comúnmente pueden incluir niveles reducidos de sueño, alteraciones en la sensación de tiempo, interacciones interpersonales escasas, trastornos del estado de ánimo y pensamiento. Las tensiones sobre las relaciones, necesidad de privacidad y la acción de sobrellevar la tarea frente al liderazgo emocional, son algunos de los problemas interpersonales que pueden ocurrir dentro de la nave.

En el registro documental de las misiones espaciales no existe gran evidencia de repercusiones negativas asociadas con estos problemas, probablemente debido a la extraordinaria motivación y compromiso de los astronautas. El límite del estrés y donde los conflictos interpersonales pueden ocasionar que las cosas se salgan de las manos, se encuentra entre la tercera y cuarta semanas según la doctora Patricia Santy, psiquiatra de la NASA.¹⁰²

Los astronautas se enfocan en lograr el establecimiento y mantenimiento eficaz de la misión, procuran las interacciones estables entre el equipo, ajustando su comportamiento individual dentro del parámetro de solución para los conflictos interpersonales, promoviendo la efectividad de la actuación grupal, ya que las alteraciones en el entorno social resultan peculiarmente exacerbadas en condiciones de marginación.

Las estaciones análogas de operación en la Antártica tienen algunos factores similares que comprometen el estado psicológico como el que viven los astronautas. En las estaciones antárticas se ha mostrado un incremento del estrés relacionado con síntomas como depresión, ansiedad, insomnio y hostilidad. De la misma manera ocurre en el espacio, donde el estrés se ve agravado por el estado de ingravidez prolongada, los problemas pueden ir más allá de la hostilidad y la ansiedad. A menudo los astronautas tras periodos prolongados se quejan de diversos síntomas psicomaniacos incluidos el dolor de cabeza, trastornos del sueño y la desorientación en tiempo.¹⁰³

Los factores relacionados al inicio del estrés son los tiempos extenuantes de trabajo, la carga de tareas, las condiciones propias de la microgravedad, las rutinas de higiene que consumen tiempo y energía, la calidad gustativa de los alimentos, los intervalos térmicos variables, la limitada privacidad, amplificados por el entorno ruidoso y variable. La motivación por establecer contramedidas necesarias incrementa la dificultad, relacionada con las instalaciones dentro de la astronave y las facilidades sanitarias en relación con todos los miembros del equipo.¹⁰⁴

Adicionalmente las adaptaciones fisiológicas en la microgravedad descritas previamente se incluyen en los factores que retan el estrés individual, y repercuten

negativamente en las interacciones interpersonales, concentración, habilidad de actuación en grupo y trabajo individual. En el futuro éste será uno de los temas más relevantes, pues cada vez se establecen vuelos espaciales más largos, probables viajes interestelares o interplanetarios y esta afección podría tener desastrosos efectos sobre la misión y la persona.

Normalmente, cuando un individuo o un grupo pequeño de individuos se excluyen de su entorno social natural y se somete a un entorno aislado y enclaustrado, los síntomas de espera se pueden dividir en cuatro grupos:

El primer grupo incluye el compromiso cognitivo, deficiencia en el nivel de atención y concentración, dificultad en los mecanismos de aprendizaje y alucinaciones. Estos problemas se plantean en todos los entornos que exponen al peligro, como el espacio.

El segundo grupo engloba la disminución de la motivación cuando la percepción de los beneficios inherentes a la situación del colectivo no sea mayor a éstos. Esto se puede ver en comparación con las primeras misiones espaciales y el trato heroico que se les dio, logrando la motivación política en las ciencias espaciales hasta lograr crear cierta situación que impulse los vuelos espaciales más regularmente.

La tercera categoría está relacionada con los síntomas somáticos como trastornos del sueño, cefalea, parestesia y estreñimiento. Estos efectos tienen un sustento en la naturaleza física del medio ambiente, pero también son sencillamente exacerbados o incluso causados por los altos niveles de estrés en el entorno.

La cuarta categoría es vital para las misiones, trata del estado de ánimo y la moral. Siendo un clima de actuación que promueve el astronauta a cargo, generando relaciones estables que ayuden a afrontar el trabajo y estableciendo los límites de las interacciones. Resulta interesante notar que durante las primeras semanas de misión los problemas interpersonales no juegan un papel importante y es alto el grado de disposición de los astronautas nuevos en la tripulación para con el líder.¹⁰⁵

Por todo eso los criterios de selección psicológica actuales en astronautas pretenden predecir el rendimiento óptimo en el entorno aislado a partir de la identificación y elección de los candidatos con características peculiares. Aunque sin implicaciones médicas o psiquiátricas, los criterios de selección psicológicos permiten reconocer aquellos rasgos de personalidad deseables o características vinculadas con una misión específica. Regularmente, se contemplan características como la aptitud para el trabajo, el coeficiente intelectual y la química dentro del equipo de trabajo. Incluidas, dadas las condiciones espaciales, cualidades como la capacidad de tolerancia ante el estrés, la flexibilidad, la motivación, la sensibilidad y estabilidad emocional, la capacidad para formar relaciones interpersonales de calidad estables, la madurez, son requisitos indispensables frente a los eventuales problemas sociológicos que se vivirán en el viaje (Figura 3.6).

A diferencia de los criterios de selección anteriores, donde se categorizaba a los astronautas con pocos indicadores de clasificación, limitándose a reconocer las habilidades de pilotaje, buena tolerancia al estrés, capacidad de toma de decisiones



FIGURA 3.6.

Astronauta Scott Carpenter durante el examen psicológico de resistencia al estrés previo a su misión a bordo de la cápsula Mercury.

y la motivación sobre la misión. Por ello algunos de los experimentos de clasificación psicológica de la NASA incluyen en su simulación condiciones de la misión, como cambios repentinos en la presión, periodos de aislamiento, elevados niveles de ruido, vibración y calor.¹⁰⁶

Un interesante dato sobre los problemas psicológicos que experimentan los astronautas en el espacio es la documentación de un gran número de informes que señalan la trascendencia psicológica de mirar desde la astronave en el espacio hacia la Tierra. Lo

cierto es que no poder mirar hacia la Tierra induce sentimientos de ansiedad, tristeza, depresión o pérdida de compromiso con el consenso habitual de normas conductuales. Lógicamente, se puede concluir que el rendimiento de la misión podría entonces verse afectado negativamente, al igual que el comportamiento individual, las interacciones interpersonales, así como la aceptación de la orientación de los controladores de la misión en la Tierra. Todo un reto para la atención de los cuidados integrales.

Renal

Los riñones tienen una relevancia estructural en el estado hemodinámico y metabólico de las personas en la Tierra. La filtración glomerular es un indicador en la medicina crítica para inducir las pruebas de función renal, pronosticar y predecir la situación general del sujeto. Dicho indicador señala los niveles de distribución de líquidos al interior del organismo y por tanto es vinculado con la vascularización y hemodinamia del astronauta, determinando el flujo sanguíneo en el sistema cardiovascular y una serie de principios biomecánicos aplicados al movimiento de los líquidos que engloba conceptos como flujo, presión, resistencia y capacitancia desde y hacia el corazón bajo condiciones de microgravedad.

Puesto que la vascularización tiende a la dirección cefálica en ingravidez, además de una ligera estasis sanguínea, la presión renal se ve aumentada y, por ende, la tasa de filtración glomerular (TFG), llegando a registrarse aumentos de hasta 20%. El incremento de la TFG genera poliuria, ocasionando deshidratación, estreñimiento, cefalea, hipotensión, y náusea.

Estudios del programa de investigación humana de la NASA señalan el alto riesgo de desarrollo de litiasis renal en astronautas. La etiología apunta a la poliuria saturada de altas concentraciones de citratos de calcio, sodio, magnesio, fósforo, potasio, y sulfatos de ácido úrico, entre otros. Ya que a través del plasma es que el sistema renal elimina la cantidad necesaria de agua y productos finales metabólicos¹⁰⁷ (Figura 3.7).

El laboratorio de microgravedad transportado por el transbordador espacial *Spacelab* realizó una investigación para determinar la función renal y las funciones hormonales que regulan al riñón. Encontraron en todos los experimentos indicios de una correcta función renal y del sistema renina-angiotensina-aldosterona, aunque sigue siendo un riesgo latente la nefrolitiasis derivada de la proteólisis y desechos electrolíticos. Debido a este potencial problema, los oficiales médicos prescriben la ingesta de agua más allá de la sed.¹⁰⁸

En cuanto a los criterios prevuelo de función renal, es recomendable hacer pruebas de función renal y urológicas completas con el fin de dictaminar si el sujeto es apto a ser sometido a una carga de presión renal prolongada, probablemente 6 meses. Conocer las cifras de tensión arterial a las que está expuesto regularmente para poder establecer un pronóstico y viabilidad de la misión espacial.

Pero ¿cómo es que los astronautas desarrollan anemia y cómo se relaciona con la función renal? Los riñones generan la hormona eritropoyetina, que es precursora



FIGURA 3.7.

Astronauta Thomas Reiter a bordo de la EEI procesando muestras para la investigación de litiasis renal. Expedición 13.

de la génesis eritrocitaria, por otro lado, los eritrocitos son los encargados de aportar el nivel de oxígeno tisular requerido. Cuando los habitantes de grandes altitudes bajan al nivel del mar o los astronautas entran a microgravedad, el cuerpo detecta el exceso de glóbulos rojos, ya que no es necesario el exceso de eritrocitos en sangre.

Durante los vuelos espaciales los astronautas experimentan una disminución de hasta 15% en el volumen del plasma total, cuando el cuerpo detecta el aumento en la cantidad de eritrocitos por unidad de volumen en sangre, la secreción de eritropoyetina de los riñones cesa. Esto aumenta la apoptosis eritrocitaria y la disminución de producción de células rojas por la médula ósea, desencadenando un proceso llamado neocitólisis, que es una hemólisis selectiva para eritrocitos jóvenes. La neocitólisis ocurre tras un estímulo que genera una reducción súbita en los niveles plasmáticos de eritropoyetina, presentándose una caída en el conteo eritrocitario total, del hematocrito (hto) y de la hemoglobina (Hb), no explicable por la disminución en la tasa de eritropoyesis. Se puede concluir que la correcta función renal es muy importante en el espacio, pues implica el transporte de oxígeno a los órganos y el estado hemodinámico del hombre.¹⁰⁹

Hematopoyético

Se ha observado en vuelos espaciales diversos efectos sobre el sistema cardiovascular en los astronautas, pero a nivel hematológico hay una incidencia de modificaciones interesantes para comprender la fisiología en microgravedad, registrando una considerable disminución del volumen plasmático de entre 15 y 20% en las primeras horas del viaje espacial, ocasionado por el colapso de las paredes de los vasos sanguíneos, vénulas y capilares, debido a que en microgravedad el peso de la sangre no consigue la fuerza suficiente para el mantenimiento permeable de las paredes vasculares; se logra de este modo la redistribución central, donde la ocupación sanguínea es menos dependiente de la gravedad. Esta hemoconcentración expresa signos como edema facial y dorsal, aumenta la diuresis y el trasudado hacia los tejidos.

La rápida disminución del conteo eritrocitario y una hemólisis selectiva de neocitos explica la reducción en la génesis del hematocrito. Dentro del registro de las misiones se halló que la significativa disminución de hemoglobina y hematocrito, en el conteo eritrocitario total, en astronautas, presentaba una baja más visible al contrastarlo con la reducción habitual de la masa eritrocitaria, señalando la respuesta de dicha disminución a un proceso hemolítico, puesto que el porcentaje de eritropenia es significativo en un reducido intervalo de tiempo.

Al contemplar que el periodo de eritropoyesis tiene un tiempo estimado de 9 días y éste perdura alrededor de 120 días, transcurridos diez días la disminución eritrocitaria sería de 7 a 8% aproximadamente, y no de 15 a 20% como se observa en los vuelos espaciales.

Con el fin de entender el fenómeno anémico en astronautas se experimentó marcando a los eritrocitos con el radioisótopo Cr^{51} dos semanas antes de su vuelo, para así lograr conocer la supervivencia celular y rectificar el proceso hemolítico, los resultados fueron asombrosos, la curva de supervivencia eritrocitaria que señalaba el Cr^{51} no tenía alteraciones, pero los parámetros hematimétricos seguían mostrando una disminución en la masa celular eritrocitaria. La explicación lógica de este fenómeno radica en la hemólisis y su destrucción selectiva sobre eritrocitos con una vida plasmática inferior al tiempo de marcaje con el radioisótopo y el despegue de la misión espacial desde la Tierra, es decir, reticulocitos. Esto condiciona el cuadro anémico en los astronautas y puede expresar signos como astenia, ictericia, orina marrón, disnea, palidez y malestar general.

El hematocrito central genera un estímulo negativo para la secreción de hormona eritropoyetina renal, debido a la aceleración en el descenso en los niveles séricos, disminuyendo a su vez el hematocrito y la masa eritrocitaria. Este proceso hematológico produce una hipoxemia e hipoxia, pues no hay capacidad suficiente para abastecer cada tejido del organismo (Figura 3.8).

Esto se evidenció específicamente en la misión "*Géminis V*", cuando marcaron con Cr^{51} a las células rojas sólo siete días antes del lanzamiento y en los resultados se encontró una disminución en la supervivencia eritrocitaria. Se comprobó así la razón



FIGURA 3.8.

Astronautas tomando muestra sanguínea para estudios hematológicos a bordo de la Estación Espacial Internacional.

de la anemia por hemólisis selectiva de neocitos y reticulocitos, afectando el cálculo de hematocrito.¹¹⁰

Líquidos y electrolitos

Los cambios en el equilibrio hídrico en el organismo acarrear modificaciones hidroeléctricas, especialmente en su función con el riñón, los músculos y el sistema cardiovascular. El peso corporal también es un reflejo de los niveles de deshidratación y pérdida de electrolitos, además la pérdida de peso ocasiona que la función hepática inicie la transformación de los polímeros de glucosa (glucógeno) y mayor pérdida hídrica. Todo esto transmite la señal de impulso a la hormona antidiurética (ADH) para conservar el agua corporal. La aldosterona por reacción aumentará el volumen de líquido corporal y las cifras de tensión arterial podrían aumentar. En los primeros días de vuelo espacial la ADH es alta, pero luego se reajusta al control de agua del cuerpo, mientras tanto la aldosterona y el péptido natriurético auricular actúan directamente sobre la cantidad de sodio.

El sodio (Na) y el potasio (K) tienen una función vital en este ciclo. El balance hídrico contempla electrolitos, específicamente los antes mencionados; el Na cumple una función iónica extracelular principalmente, mientras que el K es un electrolito intracelular.

Ambos tienen un rol clave en la función celular, el equilibrio osmótico, así como diversas reacciones en el cuerpo incluyendo la contracción muscular y miocárdica.

Estudios realizados en varias misiones a bordo del “*Spacelab*” han demostrado que la capacidad de adaptación fisiológica en los cosmonautas durante vuelos espaciales es alta, aun a pesar de la alta ingesta de Na, microgravedad y la tensión del viaje. Siendo estos factores recomendablemente monitoreables, ya que contribuyen a completar una valoración general del astronauta.¹¹¹

La alta ingesta de sodio en los astronautas puede tener serias repercusiones en la pérdida de masa ósea, el desequilibrio en potasio, por otra parte, contribuye al desequilibrio en el sistema de conducción eléctrica y muscular, poniendo en riesgo durante las misiones de larga duración, su vida y la misión.

Respiratorio

El aparato respiratorio se encarga del buen funcionamiento de células y tejidos a través de la oxigenación sanguínea y la eliminación del CO₂ o producto de desecho respiratorio. El astronauta, al realizar un viaje aeroespacial, se expone a cambios de altitud y presión atmosférica, que afectan la presión parcial de oxígeno alveolar y, por lo tanto, genera un déficit de oxigenación. Esta insuficiencia de O₂ en sangre, células y tejidos del organismo, se conoce como *hipoxia*. Esta afección, en el ambiente aeronáutico, suele originarse por la exposición a la altura con reducción de la presión atmosférica y/o a la falla o mal uso de los equipos de oxígeno en la aeronave.¹¹²⁻¹¹⁴

Clasificación de tipos de hipoxia en el ámbito aeroespacial

- **Hipoxia hipóxica:** ocasionada por una modificación en las fases de ventilación alveolar y/o difusión alveolocapilar de la respiración, lo cual cambia la entrega de oxígeno atmosférico a la sangre de los capilares pulmonares. Su etiología es variable, sin embargo, en un entorno de navegación aeroespacial, se debe a la pérdida de presurización de la nave o del traje, al inadecuado funcionamiento del equipo de oxígeno y/o por la exposición a la altitud
- **Hipoxia hipémica:** causada por una alteración en la fase de transporte de la respiración, es decir, una disminución en la capacidad de transportar oxígeno de la sangre. La modificación de la hemoglobina, incluida en los glóbulos rojos, por la combinación de elementos, reduce la capacidad de transporte. En la navegación espacial, es importante tener en cuenta al monóxido de carbono, pues está presente como producto de combustión y desecho espiratorio, y su afinidad por la hemoglobina es 250 veces mayor que el O₂
- **Hipoxia por estancamiento:** se debe a una alteración en la ventilación, por lo que reduce el flujo sanguíneo en una parte del organismo o en su totalidad. Esto sucede por una falla en la capacidad de la bomba cardíaca debido a las fuerzas de aceleración (fuerzas G)

El cambio de presión atmosférica y la altitud ocasionan una serie de signos y síntomas que desencadenan un padecimiento: *La enfermedad de la altitud*. La sintomatología que se presenta puede derivar en alguno de sus tres síndromes característicos: síndrome agudo de la montaña, edema pulmonar por alta altitud y/o edema cerebral. Hablando específicamente del “edema pulmonar por alta altitud”, es una afección pulmonar de etiología no cardiogénica, que ocurre cuando una persona asciende rápidamente a altitudes mayores a 3 000 m s.n.m. con circunstancias incompatibles para la vida; presión atmosférica inadecuada, disminución en la captación de O₂, temperatura inapropiada, etc. Dentro de la nave espacial esto podría ocurrir si se perdiesen las propiedades que mantienen las condiciones compatibles para el viajero. Esta afección fue reconocida y publicada por primera vez en Perú, lugar donde fue identificado como un edema asociado con signos electrocardiográficos de sobrecarga ventricular derecha.

Por otra parte, los tripulantes presentan diversos cambios anatomofisiológicos que son visibles desde el momento del despegue de la nave hasta salir de la órbita terrestre y estos son ocasionados por la fuerza de aceleración y por la acción de ingravidez. Dichas modificaciones se presentan en dos periodos: una inicial y una acelerada. En estas fases se observan alteraciones que suponen un cambio en el aparato respiratorio.

Durante la fase inicial, se puede observar una modificación sustancial en la morfología del tórax del astronauta. Éste se caracteriza por adoptar una forma peculiar: presenta un ensanchamiento del diámetro anteroposterior y en cuanto al eje longitudinal se vuelve más corto (alrededor de 5 cm) ocasionado por la “elevación” del diafragma como consecuencia del desplazamiento visceral en sentido cefálico. La nueva modificación morfológica tiene parecido a un padecimiento frecuente en pacientes enfisematosos; el “tórax en tonel”. Aunado a esto, el entorno de ingravidez causa, en toda la extensión de los pulmones, una distribución uniforme en la perfusión sanguínea y la capacidad ventilatoria, por lo tanto, no se distingue un asentamiento sanguíneo en las bases ni mayor concentración de aire en los vértices, sino que éstas se vuelven homogéneas. En la auscultación de los campos pulmonares se aprecia una disminución de los ruidos respiratorios basales y se valora una ventilación pulmonar uniforme tanto en las bases como en vértices.

La densidad vascular aumentada y la elevación del diafragma modifican el proceso ventilatorio. Sin embargo, no se han observado cambios relevantes ni de urgencia en las pruebas funcionales, al contrario, en diversas investigaciones, se muestra que el intercambio gaseoso tiende a mejorar debido al cambio de presiones que permite la expansión alveolar.

En la segunda fase, acelerada, se llevan a cabo cambios definitivos o que perduran durante la misión. Por una parte, el tórax alcanza una nueva estructura; se vuelve más corto al seguir el desplazamiento visceral y del diafragma, al mismo tiempo se modifica el diámetro anteroposterior hasta alcanzar el punto más amplio y los espacios intercostales se vuelven más anchos. En la exploración de campos pulmonares, los ruidos respiratorios se atenúan en las bases.

Enfermería espacial

A continuación, se describe una contextualización sobre la influencia de la Medicina espacial en los programas de investigación fisiológica y cómo éstos constituyen un vínculo de correlación para establecer los parámetros de cuidados médicos y a través de la multidisciplinariedad integrar un modelo de atención de enfermería que brinde cuidados a viajeros espaciales y astronautas. También se ahonda en el entendimiento de respuestas de emergencia mediante una clasificación de afecciones especializada en el espacio, se establecen las bases de correlación y propuesta de actuación de Enfermería para adoptar un modelo de atención a bordo de la nave, al regreso a la Tierra y previo al vuelo.

Proceso enfermero y el cuidado del astronauta

La Medicina espacial es una ciencia encargada de estudiar las contramedidas clínicas en el espacio, a través del estudio de la fisiología en condiciones de aceleración, entornos extremos y ambientes de microgravedad. Por su parte la Enfermería está encargada de los planes de atención, la atención integral a la salud y las intervenciones de cuidados clínico, psicológico y espiritual. Claramente existe una correlación directa entre estos campos científicos de enfoque a la prevención, tratamiento, y terapia. Con la peculiaridad que la mirada sobre el cuidado desde el paradigma de Enfermería se permite una percepción holística, heurística y humana, mirada necesaria para comprender el desarrollo de intervenciones en el espacio profundo, donde se conjugan complejas parcialidades de riesgo a la salud que implican una necesidad de entendimiento y acción más allá del mero enfoque biológico sobre el cuerpo del astronauta.

Ante los avances en materia de viajes espaciales, las pretensiones de colonización lunar o marciana y los cada vez más prolongados intervalos de exposición al cosmos, es que nace la congruente propuesta sobre el modelo de atención al cuidado en condiciones de ingravidez o microgravedad de Enfermería, producto de la convergencia y el desarrollo de multiparadigmas y multidisciplinas que permean, se fusionan y revolucionan la concepción clásica de atención a la salud y bienestar.

Durante la guerra de Crimea, Florence Nightingale estableció la correlación e importancia del entorno con la salud del paciente, fue el 21 de octubre de 1854 que

un equipo de salud, conformado por 21 enfermeras organizadas por Nightingale se enfrentó por primera vez al reto de la atención en cuidados de grado médico, bajo entornos de riesgo, ya sea guerra o infecciones y cómo el paciente interacciona con el medio. Esto muestra la relevancia y pertinencia desde el nacimiento de la mirada de enfermería, en la atención clínica del paciente con su entorno, pero quizá Florence nunca soñó que esta proporcionalidad tendría trascendencia incluso en el astronauta y el entorno espacial.¹¹⁵

Añadido a este paradigma se han establecido durante los años diferentes modelos, que teorizan sobre el abordaje de acercamiento clínico entre el rol del oficial sanitario y el paciente, conjugando en el tiempo su entorno, su psique, su espíritu. Uno de los modelos que explican la relación orgánica, social y psicológica, es el modelo teórico de Virginia Henderson, pues contempla las necesidades básicas humanas, enlistadas en 14 rubros. Con 7 necesidades biofisiológicas y 7 necesidades biopsicosociales que involucran campos como comunicación, entorno, aprendizaje, etc., es el modelo teórico que servirá como conducto inicial para crear la introducción al campo de la Medicina espacial desde la Enfermería, logrando así crear ejes que permitan la instauración de la Enfermería espacial.¹¹⁶

Aunque no queda exento de análisis, la correlación de los cuidados médicos en ambientes de ingravidez y los distintos modelos teóricos, como la visión humanista y fenomenología del sujeto de Jean Watson, puesto que es inherente al hombre, astronauta o no, la percepción humanista en relación con la salud. Como la Estación Espacial Internacional combina astronautas de todos los países y culturas, sería ilógico no concebir los cuidados desde la lupa de Madeleine Leininger y su teoría de la universalidad; Martha Rogers, como pionera y fundadora de la "Sociedad de Enfermería Espacial" (Figura 4.1), la concepción del hombre como sistema y el modelo teórico de los seres humanos unitarios, es importante señalar que el "Programa de Enfermería Espacial" de la NASA nació adherido a esta teoría, debi-



FIGURA 4.1.
Escudo oficial de la Sociedad de Enfermería Espacial fundada por Martha Rogers, añadido a los programas espaciales de la NASA.

do a la implicación de Rogers en el proyecto; sin dejar de lado la relación de los 11 patrones funcionales de Marjory Gordon, con especial énfasis sobre el décimo patrón, adaptación y tolerancia al estrés; o el modelo de adaptación propuesto por Callista Roy, que muestra una relación directa con el fenómeno de desadaptación fisiológica de los astronautas en el espacio, conservando las mismas variables sobre la condición fisiológica humana y su potencialidad adaptativa en la Tierra ante un entorno expuesto a microgravedad y radiación.

Cuidados y habilidades clínicas

Una forma práctica de planear las habilidades clínicas de cuidados médicos para las misiones espaciales y la probabilidad de respuestas de intervención, las patologías, heridas y afecciones en general puede dividirse en tres.

- a) Posibilidad de resolución sin cuidado o con el requerimiento mínimo
- b) Posibilidad de deterioro o pronóstico de reservado a ominioso sin los cuidados apropiados a tiempo, pero con la posibilidad de mejorar y recobrar la salud con cuidados
- c) Factiblemente fatal, a pesar de todos los esfuerzos posibles en el ajuste de atención¹¹⁷

Clasificación de afecciones y lesiones para la planeación de los cuidados durante los viajes espaciales

Afección clase I

Comprende síntomas leves, afección mínima de las habilidades y no es una amenaza para la vida. Algunos ejemplos son: el síndrome de adaptación espacial, desórdenes gastrointestinales, cefalea, úlcera leve, pequeñas laceraciones o abrasiones, lesión muscular, infección urinaria leve, infección de las vías respiratorias altas, alergia, dermatitis o conjuntivitis. Generalmente se pueden tratar con autocuidados sin la necesidad de prescripción, o medicamentos del cuadro básico.¹¹⁸

Afección clase II

Comprende síntomas de moderado a severo, con efectos acentuados y potencialidad de riesgo mortal. Incluye afecciones como enfermedad descompresiva, embolismo aéreo, arritmia cardíaca, ataque cardíaco no complicado, perforación duodenal por úlcera, síndrome de desorden respiratorio, exposición a sustancias tóxicas, quemaduras químicas, nefrolitiasis, diverticulitis, apendicitis, herida torácica abierta, fractura, lesión cefálica. Requiere un diagnóstico adecuado durante el vuelo y un tratamiento que le permita recuperarse en órbita, o por su defecto, permitir paliativos para disminuir el daño hasta que se pueda completar la extracción del astronauta en misión.

Afección clase III

Engloba síntomas de urgencias severos, compromete la vida si no es atendido inmediatamente, tiene un pronóstico ominoso y los cuidados médicos no son viables.

Un ejemplo de ellos es la descompresión explosiva, ataque cardíaco complicado, infección general (sepsis), lesión por choque masivo, lesión de exposición de tejido cerebral o quemaduras mayores a 40% del cuerpo. Si las probabilidades juegan a favor, y se logra preservar la vida, es necesaria una evaluación inmediata después de la reanimación, mantener el monitoreo y estabilización. De lo contrario, se recurre a cuidados paliativos para las afecciones de dolor, y se procura el cuerpo para ser devuelto a la Tierra y realizar una autopsia.

A pesar de que los problemas en la clasificación I son los más prevalentes y los de la clasificación III son los más dramáticos, la mayoría de los recursos para los cuidados en el vuelo espacial están pensados para manejar los problemas de clase II, es por este tipo de afecciones que el sistema médico a bordo está preparado y tiene la capacidad de anticipar y obtener el mayor impacto clínico para asegurar la misión. En las afecciones o lesiones serias los cuidados apropiados, eventualmente pueden evitar o prevenir la muerte, lesiones innecesariamente prolongadas, interrupciones sostenidas al objetivo de la misión, incapacidades permanentes, abortar la misión, contra lograr optimizar la recuperación. Los cuidados espaciales también pueden prevenir que muchas condiciones de clase II progresen a clase III, y, por el contrario, un buen plan de cuidados puede lograr que las afecciones de clase III evolucionen favorablemente a clase II. Proveer una valoración inicial adecuada en el astronauta tiene una repercusión sobre la configuración semiológica y establece una hipótesis diagnóstica, con el fin de desarrollar intervenciones que logren ejecutarse de una manera precisa durante el viaje espacial, promoviendo así, una subsecuente evaluación clínica en el astronauta que evolucione adecuadamente y apunte a un pronóstico favorable.

Pertinencia del modelo de Virginia Henderson en el proceso de cuidado al astronauta

La ciencia del cuidado correlaciona el método científico o, mejor dicho, método clínico, en conjunción al planteamiento de atención a las necesidades y las respuestas humanas. Para lograr el desarrollo de esta estructura de pensamiento que rodea a los paradigmas antiguos y nacientes de enfermería ha sido necesario adoptar un marco teórico conceptual que sirva como plataforma para basar los múltiples principios y objetivos de la Enfermería, así como contextualizar el método científico utilizando una metodología propia para resolver los problemas de su competencia, implicando la utilización de modelos sistemáticos para brindar resultados centrados en la consecución de los resultados predefinidos y con alto grado de evidencia científica. En definitiva, la necesidad de la implementación de un Proceso de Atención o Proceso Enfermero.

Para adoptar un proceso de atención de enfermería en ambientes de ingravidez es necesario comprender cada una de las partes que lo componen, pues la aplicación en las ciencias espaciales se caracteriza por la configuración estructural de actuación armónica y sincronizada en programas de ocupación clínica. Es entonces

como se puede entender la aplicación de los cuidados en astronautas, a través de la división propuesta para el estudio de la fisiología espacial: a) previo al viaje espacial; b) a bordo de la nave espacial, y c) al regreso a la Tierra.¹¹⁹

Previo al viaje espacial

Centrada en la valoración de las capacidades físicas y psicológicas, para clasificar las condiciones en las que el astronauta iniciará su viaje. Desarrollo de diagnósticos que señalen o nieguen si el sujeto es apto para la misión, identificación de prioridades inmediatas preparativas a la condición antes del despegue y su posterior puesta en práctica, como pueden ser prescripciones en dieta y su repercusión nutrimental, actividad física y la modificación de condiciones fisiológicas o cuidados especializados. Con todo ello es posible producir un extenso registro de resultados obtenidos y así poder ajustar las actividades de cuidado en relación con la modificación de indicadores de competencia en astronautas, propiciando las condiciones de estado vital más óptimo para el astronauta antes del inicio del viaje espacial, llegando a ser de años o decenios.

A bordo de la nave espacial

Durante la permanencia en la nave espacial, ya sea de días o meses, la operación de los oficiales clínicos a bordo o a distancia estará orientada a la valoración de los signos y síntomas provocados por la estancia espacial y a la clasificación de los niveles de afección desarrollados en el ambiente de microgravedad. Analizar y sintetizar los datos clínicos obtenidos con el fin de identificar mediante un diagnóstico la potencialidad o realidad de la problemática, estructurar intervenciones en la astronave, ya sea de rutina, de emergencia o de urgencia. Estas intervenciones son congruentes con las posibilidades del equipo médico a bordo y los tiempos de transición para los traslados médicos. También es importante señalar el registro del proceso evaluativo de estado general de salud en medios de monitoreo previo y continuo, como un medio de comunicación entre el organismo, el enfermero y el astronauta.

Regreso a la Tierra

Dirigido a percibir las fuentes de dificultad y efectos secundarios relacionados con la estancia en ambiente de microgravedad, estudiar los factores de riesgo añadidos tras el viaje espacial, el grado de afección y la interrelación de necesidades afectadas. Determinar los límites semiológicos en los que se registra la afección, para poderlo traducir en una hipótesis diagnóstica, que es la génesis de la planificación de las intervenciones, puesto que señala la etiología del problema. Generalmente la etiología de las afecciones más graves presentadas en astronautas a su regreso a la Tierra son de clase II, crónicas y requieren rehabilitación y terapia continua. Esto pone los objetivos de las intervenciones en términos realistas y alcanzables, materializado en un documento escrito llamado *plan de cuidados*, donde se señalan la serie de actividades de mantenimiento, modificación, revisión o suspensión de la ejecución. Es un modelo de atención muy parecido a las afecciones crónicas clásicas

en la Tierra y el tiempo de cuidados al regreso a ésta pueden ser muy tardados y dependen del grado de exposición al espacio.

Contribuciones de la Enfermería a los programas espaciales de la NASA

La profesión de enfermería, aunque habitualmente se encuentra en el inconsciente popular ligado al estereotipo de hospitales, emergencias médicas y la tradicional atención al parto, es una de las profesiones con más aristas profesionales de aplicación sobre el cuidado. Aunado a esto la transición de los paradigmas clásicos sobre la actuación y campo de estudio de la enfermería ha tenido un ritmo acelerado en países de altos ingresos en los que se desarrollan programas de gran presupuesto. Un ejemplo de esto es la asignación del “Programa de enfermería en Estados Unidos” en 1958 por el presidente Eisenhower a los programas de atención médica de aviación como apoyo, aunque las enfermeras siempre han estado relacionadas con los programas espaciales y trabajado con el equipo médico en torno a las afecciones corporales y psicológicas de los astronautas.

Esta estrecha relación de enfermería y el campo de la aviación se ha mantenido desde el principio, aunque ninguna enfermera ha sido elegida como astronauta potencial, las enfermeras han contribuido a los programas espaciales en diversas maneras. Enfermeras y otros proveedores de cuidados usan tecnología diseñada desde los programas espaciales, cuestión que ha añadido cierta experticia sobre telecuidados en este campo. El futuro de involucrarse en los vuelos espaciales se mantiene poco claro aunque el trabajo continúa en la estación espacial para estancias en la Luna y Marte, y según lo señalan las enfermeras fundadoras y el equipo de la Sociedad Espacial de Enfermería Czerwinsky y Linda Plush, las enfermeras serán parte del equipo de cuidados en estas excursiones.¹²⁰

La aproximación oficial de los cuidados al campo espacial se suscitó cuando dos enfermeras, Lucille Slattery y Mary Goddard, fueron asignadas a la Base de la Fuerza aérea de Brooks en 1959 para preparar enfermeras sobre el mantenimiento de la salud y las diferentes aproximaciones de intervenciones sobre cuidados que se proveen en hospitales contextualizados a estas necesidades. De la misma manera y tras cumplir el curso de “Fuerza aérea y enfermería” las reconocidas enfermeras Dolores “Dee” O’Hara y Shirley Sineath fueron asignadas para trabajar con los primeros siete astronautas del proyecto “*Mercury*” en los años cincuenta, ellos se encontraban en Cabo Cañaveral, Florida, bajo la dirección y supervisión del coronel George M. Knauf. Se desarrollaron los sistemas portales de emergencias hospitalarias y botiquín para astronautas que aún siguen en función. Por sus contribuciones la enfermera O’Hara fue nombrada la primera enfermera espacial americana (Figura 4.2).

Más tarde en 1962 el Dr. Bring Gen James W. Humphreys, Jr., comandante del hospital de la Fuerza aérea, fue elegido como líder del equipo médico de varios miembros por la NASA, incluyendo a dos enfermeras: Maj Marjorie Beakes y la ca-



FIGURA 4.2.
Dolores "Dee" O'Hara,
la primera enfermera espacial
americana.

pitana Rose M. Lubeto. Su misión era estar preparadas para cualquier emergencia y proveer los cuidados apropiados, preparar a los astronautas para el vuelo, y examinarlos antes y después de su viaje espacial. Esto abrió paso para que en el mismo año la NASA anunciara la formación oficial del "Programa de Enfermería Espacial" el cual requería enfermeras licenciadas por una universidad acreditada para ser seleccionadas al curso. En 1965 más enfermeras fueron asignadas a la Unidad de Apoyo y Operación Bioastronáutica de la Fuerza Aérea bajo la dirección de Maj Tucker, la cual desarrolló el curso aeroespacial de enfermería que estaba pensado para los participantes del programa de enfermería espacial. Algunos prerrequisitos del curso fueron estar licenciados en la ciencia de enfermería, tener una formación militar de tres años, y haber cumplido con éxito el entrenamiento de enfermeras aéreas. El curso entre otras cosas incluía el estudio de los efectos del viaje espacial en los humanos, salud ocupacional y requerimientos humanos espaciales durante el vuelo como higiene, alimentación y medicina preventiva.¹²¹

Finalmente fue fundada en 1991 la *Space Nursing Society* (SNS), que en la actualidad ha colaborado con varias instituciones internacionales y organizaciones aeroespaciales. Como fundadora y presidenta, Linda Plush fija la meta en establecer las contribuciones de enfermería al esfuerzo de las ciencias espaciales y mostrar a la Enfermería como una profesión capaz de contribuir al campo. Para dar a conocer estos objetivos la SNS y sus miembros aportaron especulaciones teóricas acerca del



FIGURA 4.3.

La enfermera O'Hara atendiendo y asesorando a los astronautas John Glenn y Wally Schirra.



FIGURA 4.4.
La enfermera Rose Church con un astronauta de la NASA.

sistema general hipotético sobre cómo el cuidado de enfermería podría ser provisto en estos ambientes.¹²²

Quizá nadie sea tan recordada como la enfermera O'Hara quien tuvo la experiencia cercana de hacer la revisión clínica de los primeros siete astronautas a su regreso a la Tierra. Haber conocido de cerca a los astronautas Alan Shepard y John Glenn (Figura 4.3). En una entrevista por la NASA la enfermera O'Hara¹²³ revela la suerte de haber estado involucrada en programas espaciales, la emoción de compartir espacio con múltiples disciplinas como ingenieros y físicos en los hangares de lanzamiento en Florida y los retos clínicos venideros para la profesión, "Fue realmente un accidente, tuve la suerte de estar en el lugar correcto en el momento correcto", comentó.¹²⁴

Otro testimonio de gran valía es el de la enfermera espacial Rose Church, quien se había enterado que habían contratado a un médico aeroespacial en la NASA. Ella muy interesada consiguió una reunión con el presidente James McDonnell (de la empresa McDonell) y le dijo "Donde hay un doctor, siempre hay una enfermera". Y después de esa conversación, Rose fue esa enfermera (Figura 4.4).

En una entrevista sobre las contribuciones de Enfermería espacial comentó:

"Puedo decir que al principio me sentía como una pionera en el programa espacial puesto que ninguna mujer había estado envuelta en un programa de tan gran detalle, como en el que estuve. Siento que he abierto el camino para muchas mujeres que hoy son líderes, porque trabajé con hombres ingenieros y doctores..."

"Seré la primera en ir como una Sailornaut, un Sailornaut es una persona anciana la cual no se preocupa sobre regresar [risas], de cualquier manera nunca he perdido la esperanza de viajar en el espacio".¹²⁵

Sistema de oxigenación y astronautas

Las investigaciones en fisiología hechas por el programa de investigación humana de la NASA se centran en analizar la implicación de los cuidados médicos de enfermería en torno a los viajes espaciales, así como las repercusiones de microgravedad y contramedidas en astronautas. Abordaremos los conceptos fundamentales de oxigenación y cómo se ligan a los soportes de vida dentro de las astronaves, cómo se da el proceso de hematosis en el espacio y cuáles son las condiciones atmosféricas. Se propone el rol activo del personal de enfermería en torno a programas de cuidados espaciales que integren principios de valoración en astronautas, diagnóstico, planificación de intervenciones, ejecución y evaluación en relación con la necesidad básica de los seres humanos. Desde el enfoque fisiológico cardíaco, vascular y pulmonar antes del viaje espacial, durante y a su regreso a la Tierra.

Hematosis y procesos de compensación aeróbica

¿Cómo es que los astronautas pueden atender satisfactoriamente esta necesidad en las astronaves o la Estación Espacial Internacional?, pues esta es una cuestión tan esencial como la vida misma. La capacidad de reprimir la ventilación en los seres humanos puede abarcar algunos pocos minutos dentro de los límites compatibles con la vida y la hipoxia sostenida en astronautas conlleva cefalea, astenia o síncope. Por el contrario, las altas concentraciones de oxígeno ambiental pueden propiciar un incendio y esto es bien sabido por los ingenieros que construyen los sistemas de abastecimiento de oxígeno en la EEI. El diseño de los sistemas de abastecimiento de este gas esencial opera previendo la dosis de oxigenación en el espacio en relación al número de personas por día. Una persona de 75 kg de peso sólo por respirar requerirá por día 0.83 kg de O_2 y 303 kg al año.¹²⁶

La NASA estableció los sistemas de control ambiental y soportes de vida (ECLSS por sus siglas en inglés), como la fuente principal de oxígeno generado en los entornos espaciales, a través de la electrólisis de agua y tanques de almacenamiento por presión de O_2 . Estos sistemas se mantienen en mejora constante por los ingenieros aeroespaciales de la NASA y centros espaciales internacionales, donde destaca la participación de la agencia espacial japonesa desarrollando, mejorando y probando los sistemas primarios de soporte de vida en la EEI¹²⁷ (Figura 5.1).

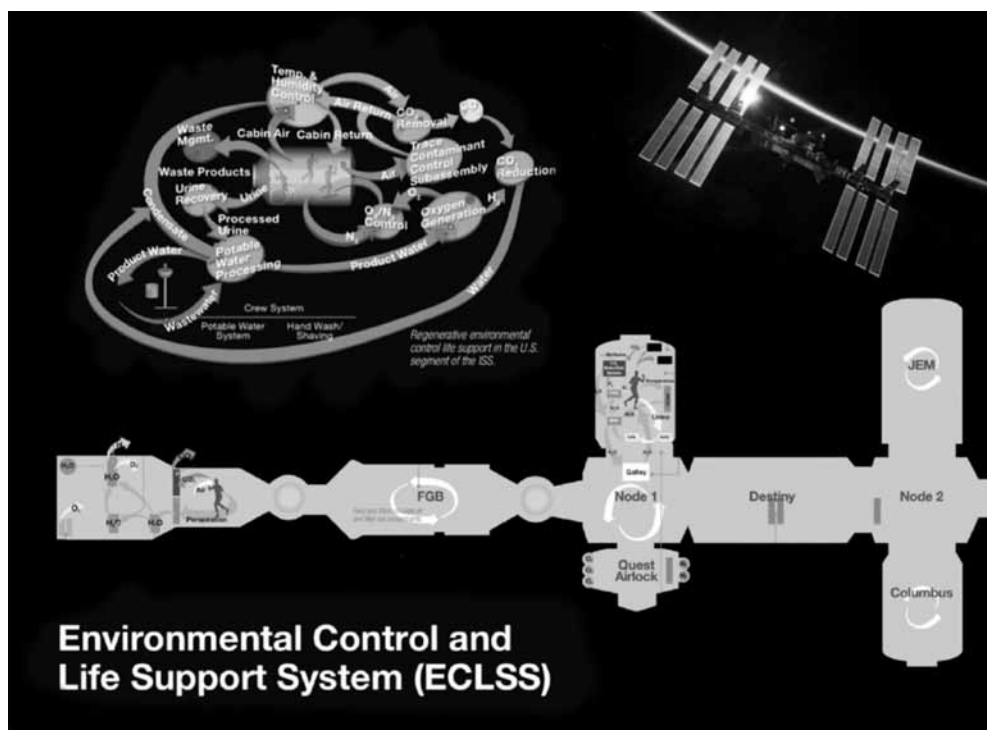


FIGURA 5.1.

Diagrama del Sistema de Soporte Vital y Control Ambiental en la Estación Espacial Internacional (EEI), encargado de brindar las funciones de oxigenación interna.

La molécula del agua está compuesta por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno. El proceso por el cual se le pasa una corriente eléctrica al agua para causar que se separen y recombinen los átomos, es denominado “electrólisis”, y los gases resultantes son hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2). Para llevar este proceso de separación molecular es usada la energía eléctrica proveniente de los paneles solares de la estación. El mismo proceso de separación molecular que resulta en oxígeno respirable en la Tierra proviene de algas, cianobacterias, fitoplancton y plantas en general, salvo que no implica una división mecánica como en el espacio. Los proyectos de soporte vital en el espacio esperan poder usar eventualmente plantas para cubrir la oxigenación, pues supondría un ciclo cerrado, donde los gases son reutilizados, aunque los sistemas químico-mecánicos son más confiables, compactos y requieren menos esfuerzo de mantenimiento durante el viaje espacial que el uso de plantas. Por eso es que el sistema de oxigenación a bordo de las astronaves aún sigue en las etapas de investigación, demostración y aún hay aspectos que precisar antes de que sean viables en vuelos largos y colonizaciones extraterrestres como las villas lunares o Marte.¹²⁸

El proceso de generación de oxígeno a través de electrólisis es muy similar al que se usa en la oxigenación de emergencia como factor de cuidado para evitar la descompensación, las mascarillas en los aviones actúan mediante un mecanismo de ignición cuando el pasajero jala de ella. De la misma manera, el reactor de electrólisis espacial inicia su funcionamiento tras la activación mecánica de ignición del astronauta a un recipiente con H_2O . La producción de oxígeno por unidad es suficiente para el abastecimiento de una persona durante un día en la EEI.

El consumo de oxígeno conlleva el desecho de dióxido de carbono, y se espera que en un futuro se pueda hacer uso de este gas para el mantenimiento vital de plantas o para hacer una recombinación del hidrógeno residuo de electrólisis con el dióxido de carbono para formar agua y metano. El agua continúa en electrólisis y el metano puede ser desechado, aunque se señala la probabilidad de usar el metano como combustible.¹²⁹

Además del CO_2 los astronautas también emiten cantidades ínfimas de diversos gases. Metano y dióxido de carbono en los intestinos; monóxido de carbono, alcohol metílico y acetona emitidos como subproductos metabólicos en orina y respiración; o amoniaco producto de la descomposición ureica en diaforesis. Todo ello implica un reto para cuidar la sana oxigenación y el mantenimiento de la atmósfera, a esto se añaden los gases producto de químicos usados en experimentos durante las misiones a bordo en la EEI. Ante los viajes cada vez más constantes al espacio y la instalación de departamentos experimentales es probable que las interacciones entre sustancias reactivas resulten potencialmente riesgosas para las funciones pulmonares. Entre las futuras funciones de la Enfermería en el espacio pueden estar, valorar y evitar estos peligros mediante diagnósticos de riesgo que señalen las intervenciones para el cuidado de la salud de la tripulación, a través de filtros de carbón activado y diversos métodos para remover los químicos en el ambiente.¹³⁰

Los trajes espaciales de actividad extravehicular también solventan las necesidades de oxigenación e hidratación, cuando los astronautas realizan paseos está indicado respirar previamente por varias horas en el traje espacial y presurizarlo, lo que significa cargarlo de oxígeno, con el fin de evitar la enfermedad descompresiva y mantener los fluidos del cuerpo en estado líquido. Los astronautas deben respirar oxígeno al 100% hasta eliminar todo el nitrógeno en el cuerpo, ya que el nitrógeno almacenado dentro del organismo durante un paseo espacial podría formar burbujas de gas y ocasionar artralgias en hombros, codos, rodillas, etc. Al salir al espacio profundo los astronautas cruzan un portal especial compuesto de dos puertas, para que el aire no se escape de la nave, la primera puerta se sella herméticamente y entonces se puede abrir la segunda puerta al espacio.¹³¹

La planificación de los cuidados en oxigenación, el monitoreo de los niveles de oxígeno en el ambiente y la evaluación de los equipos de soporte vital deben minimizar los riesgos de eventos nocivos para la salud y es responsabilidad del enfermero y médico astronauta el cuidado del ambiente, los niveles de función pulmonar y saturación parcial de oxígeno en sangre óptimas para la misión.

El entendimiento de los sistemas de oxigenación, ya sea simbiótica con plantas o procesos de electrólisis, son fundamentales para la Enfermería espacial, tienen capital importancia en las funciones pulmonares, cardiovasculares y repercusiones directas en las constantes vitales. Además, es muy probable que en un futuro no muy distante la importancia de este proceso de oxigenación también recaiga en el mantenimiento de la enfermería como unidad médica en el espacio durante los viajes espaciales largos como el viaje a Marte y la colonización de este planeta.

Ventilación y hematosis

La ventilación y el intercambio gaseoso, así como las funciones pulmonares ante los ambientes de microgravedad han sido estudiados por vías indirectas, como pruebas de aliento. Y se puede inferir en todos los casos que los pulmones son órganos con tejidos sensibles a las modificaciones gravitacionales, pero sin la presencia de modificaciones sustanciales que comprometan de manera relevante la función.

Aunque el consumo de O_2 y el desecho espiratorio de CO_2 se mantienen sin alteraciones notables hay algunos cambios dignos de atención, para establecer en relación con esto la planificación de cuidados. La ventilación alveolar tiene una reducción y la presión de dióxido de carbono al final de la espiración aumenta en 2 mm Hg. No se ha establecido la etiología definitiva entre los altos niveles de CO_2 en el interior de la estación espacial o si es debido a un cambio en el control de la ventilación. En la misma dirección, el patrón respiratorio sufrió algunas modificaciones. Reducción total de la ventilación en aproximadamente 7%, aumento de la FR en 9%, también merma el volumen corriente en reposo en 15%. Esta disminución de la ventilación tidal y de la FR es explicada a través de la reducción de peso abdominal y torácico, permitiendo a los músculos encargados de la ventilación organizarse a razón del entorno con microgravedad.¹³²

Además de la disminución marcada del espacio muerto fisiológico en las vías aéreas, aunado a la distribución del flujo sanguíneo da lugar a la reducción de ventilación alveolar y a la disminución del promedio del flujo inspiratorio en aproximadamente 10%.

La atención a la primera necesidad en la relación ventilación-perfusión debe contemplarse por el personal médico, en especial Enfermería, y comprender que la hematosis y las funciones pulmonares en general mantienen una correcta función en el espacio derivado de los efectos gravitatorios que correlacionan modificaciones comunes entre la ventilación y la perfusión. Aunque en la actividad espacial generalmente se propicia la disminución de la presión parcial de oxígeno en el aire que se respira y esto puede llevar al astronauta a un estado de hipoxia. Una vez que la hipoxia se suscita y la saturación de oxígeno desciende en la sangre, estaremos hablando de una hipoxemia (Figura 5.2).

A lo largo del desarrollo de la Medicina espacial se han puntualizado cinco tipos de hipoxia relacionados con la actividad aeroespacial, correspondientes a los trastornos de presión, anemia, isquemia, estancamiento y toxicidad. Cada uno de estos tipos de hipoxia tiene su origen en la microgravedad, no obstante, pueden ocurrir en



FIGURA 5.2.

Astronauta sometido a procesos de monitoreo y hemodinámica ventilatoria a bordo de la Estación Espacial Internacional.

la Tierra con pacientes de estancia prolongada y otras condiciones que lo asemejan. Esto permite correlacionar el proceso de cuidado de enfermería con las afecciones en el espacio.

La *hipoxia hipobárica* es recreada por la disminución de la presión parcial de oxígeno en el ambiente, como cuando se practican actividades en zonas de gran altitud o se está en una cabina no presurizada, este mismo tipo de hipoxia sucedería al perforar la astronave en el espacio o perforar el traje de actividad extravehicular durante un paseo espacial. La *hipoxia anémica* debida a los efectos transitorios en la disminución del total de masa eritrocitaria, la neocitólisis, un trastorno anémico muy común en los viajes espaciales que conlleva una disminución en la capacidad de transporte de oxígeno necesario a los tejidos, mejor descrito en los efectos hematológicos del espacio. La *hipoxia isquémica*, producto de la disminución de perfusión en algunos tejidos distales pues la redistribución de líquidos tiene dirección cefálica; por otro lado el *estancamiento* también puede generar una hipoxia, debido a la lenta hemodinámica producto de algunas aceleraciones aéreas, como la que tiene dirección podálica al eje longitudinal del cuerpo denominada +Gz y algunas patologías

cardíacas, como la insuficiencia cardíaca congestiva (ICC). La quinta, la *hipoxia histotóxica* se puede dar ante la contaminación respiratoria de tóxicos como arsénico o monóxido de carbono, ya que se fijan a los eritrocitos en vez del oxígeno.¹³³

La valoración clínica del sistema respiratorio por parte del personal de enfermería debe tener en cuenta la cantidad de oxígeno en cabina, que en las antiguas naves “*Mercury*” era de 100% con una presión de 250 mm Hg y este fue modificado en la estación “*Skylab*” a 70% oxígeno y 30% nitrógeno para evitar el riesgo de incendios, hiperoxia crónica y la afección a la unidad alveolocapilar. En la valoración es de gran importancia además contemplar los valores estándar modificados de frecuencia respiratoria, saturación de oxígeno, estado cardiopulmonar, frecuencia cardíaca, llenado capilar y tensión arterial, vigilar el ciclo de ventilación y respiración eficaz en el astronauta.¹³⁴

Al inicio de la inspiración el aire se calienta y se humidifica a su paso por las vías respiratorias, igualándose con el cuerpo en temperatura y a través de la presión parcial de vapor de agua interno, que es de 47 mm Hg. El personal de enfermería tendrá que vigilar, por tanto, la temperatura y el flujo de oxígeno, ya que en conjunto puede ser un factor irritante de las vías respiratorias por sequedad. Este vapor de agua interno causa la reducción de la presión parcial de oxígeno en el alveolo hasta 104 mm Hg de 159 mm Hg que tenía en el aire ambiental. Por consiguiente, el interesante proceso de hematosis y la valoración de su correcto funcionamiento está propiciada por la diferencia de presión del O_2 alveolar a 104 mm Hg y la presión parcial de oxígeno en las venas que llega a los capilares del pulmón, que es de 40 mm Hg. Esto tiene lugar en altitud cero, permitiendo que fluyan 230 mL de oxígeno de los alveolos a la sangre por minuto para su posterior transporte a los tejidos.

La valoración del conteo eritrocitario para determinar diagnósticos de riesgo tiene que ver con la cantidad de O_2 captado por la hemoglobina que pasa por los capilares pulmonares, pues cada gramo de hemoglobina capta 1.34 mL de oxígeno, o dicho en otras palabras 20.1 mL de O_2 por cada 100 mL de sangre. Permitiéndole 100% de oxigenación tras abandonar los capilares pulmonares y tener una reducción a 97% de oxígeno y una disminución de la presión parcial de O_2 a 95 mm Hg debido a la circulación nutricia del pulmón, dejando la cantidad de oxígeno en sangre arterial a 19.5 por cada 100 mL de sangre.

El oxígeno es el combustible de las células, consumiéndose continuamente y propiciando una diferencia de presión respecto al líquido intersticial, llevando al O_2 dentro de las células. Aquí se encuentra uno de los más trascendentes procesos de oxigenación, puesto que este es el fin, y es el metabolismo tisular en combinación con el oxígeno, provocando el contraste en cifras de O_2 entre las venas y las arterias. En condiciones normales los tejidos toman 5 mL de O_2 por cada 100 mL de sangre arterial, regresando la sangre por las venas hacia la vena cava con 14.5 mL de O_2 por cada 100 mL de sangre, y una presión parcial de oxígeno de 40 mm Hg, donde vuelve a ser bombeada por el corazón a los pulmones y el ciclo de repite.¹³⁵

Cuidados de Enfermería en la necesidad de oxigenación

Oxigenación es la necesidad principal, implica la función respiratoria, ventilatoria y de oxigenación, esenciales para la vida. Una necesidad trascendental en la fisiología humana terrestre y sobre todo espacial, debido a que las diversas modificaciones del entorno tienen potencial riesgo sobre las funciones orgánicas pulmonares, cardíacas, hematológicas, vasculares, neurológicas y musculares. Por ello el profesional de enfermería debe centrar sus esfuerzos priorizando sobre esta necesidad, ya sea previo al vuelo para la clasificación de condiciones relevantes a la oxigenación en astronautas, la valoración y monitoreo continuo durante el viaje espacial y los planes de cuidado barométricos al regreso del astronauta a la Tierra, entre otros.

Cabe señalar la diferenciación entre los conceptos ventilación, respiración y oxigenación, ya que con fines prácticos se atiende en este apartado la implicación de éstos en relación con las etapas del proceso de atención, la correlación con los estudios fisiológicos de medicina espacial, las tres etapas del viaje espacial y la clasificación de afecciones. “Ventilación” hace referencia al proceso mecánico de inspiración y espiración de un cierto volumen de aire a la cavidad pulmonar. Entonces podemos entender la “respiración” como el fenómeno de intercambio gaseoso, hematosi, entre las presiones alveolares y sanguíneas, a nivel tisular y celular. Por otro lado, el concepto “oxigenación” se puede conceptualizar como la administración suplementaria de un fármaco, procurando el transporte del O_2 a cada célula, es decir, perfusión de oxígeno en tejidos.

La atención en enfermería matiza que para procurar la oxigenación es necesario contemplar algunos aspectos ambientales, como la temperatura, humedad y presión. En el espacio profundo estas condiciones no son compatibles con la vida, y son reguladas directamente por la astronave, el traje de actividad extravehicular y las cabinas de la EEI. En ello radica la importancia de la valoración clínica semiológica e historial clínico completo del astronauta, pues los datos obtenidos pueden determinar si el estado orgánico, los comportamientos y/o conductas de los tripulantes con objeto de satisfacer esta necesidad son adecuados y suficientes.

Los datos clínicos de la necesidad de oxigenación que debe contemplar la Enfermería, independientemente de la etapa del viaje espacial, es decir, antes, durante o después, son los relacionados con el corazón y los pulmones primordialmente, aunque se pueden conjugar más. En el sistema cardiovascular cobra gran relevancia la frecuencia cardíaca, la tensión arterial, el llenado capilar, la presión venosa central y los exámenes complementarios como el electrocardiograma o el ecocardiograma. Mientras que para la valoración respiratoria es necesario contemplar la frecuencia respiratoria, la saturación parcial de oxígeno, la permeabilidad de la vía aérea y el estado general pulmonar. Conocer los parámetros bajo la fuerza gravitacional terrestre y la interacción entre éstos, para traducirlo en intervenciones eficaces bajo ingravidez o microgravedad.

Valoración, diagnósticos e intervenciones previos al viaje espacial

La valoración semiológica a través del método clínico previo al viaje espacial incide en la selección de astronautas mediante los aspectos pulmonares, cardíacos y vasculares, ya que son los órganos con mayor afección ante el ámbito de microgravedad, y también son susceptibles a las modificaciones en reposo, en estrés físico y psicológico. De igual forma son los órganos que más constantes vitales ofrecen para la valoración y monitoreo. El sistema cardiovascular en conjunto con el pulmonar han sido los más estudiados y valorados en las misiones espaciales.

El papel del enfermero en la valoración debe estar encaminado en la prevención, y valorar mediante el historial clínico las condiciones y procesos patológicos que tienden a la evolución desfavorable que afecta los sistemas pulmonar y cardíaco del astronauta, con el fin de asegurar la salud durante el viaje espacial y la misión que realizará. Considerándose excluyente o no apto para el vuelo aquel que tenga historial de enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, infartos cardíacos previos, afecciones congénitas circulatorias, fibrosis pulmonar, antecedentes de síncope de cualquier etiología, antecedentes de arritmias o fibrilación auricular. En la anamnesis es importante que el enfermero clasifique los signos y síntomas referidos por el astronauta en el pasado como disnea, astenia, edema, dolor precordial, variaciones en la presión, soplos, cianosis, mareos o fatiga crónica.¹³⁶

Es de considerarse mediante el juicio clínico del valorador si los factores de riesgo modificables son factores de inclusión o exclusión para el viaje espacial, es decir sedentarismo, obesidad, alcoholismo o tabaquismo, siempre que sean leves.

El examen físico debe seguir los mismos lineamientos del método clínico: palpación, percusión, auscultación e inspección. Tiene el fin de encontrar los indicios que clasifiquen o no a los aspirantes a piloto aviador o astronauta, y depende de los diferentes estándares de las agencias espaciales internacionales y las necesidades específicas de cada misión. En relación con las funciones pulmonares deberá existir una correcta hematosis y expansión torácica, buena ventilación y buena coloración a la inspección, a la auscultación campos pulmonares permeables y sin ruidos cardíacos agregados. Las cifras aceptables compatibles con el vuelo en tensión arterial no deberán rebasar los 140/90 mm Hg, además debe incluir un examen completo de tórax y sistema respiratorio que considere el tipo respiratorio, frecuencia respiratoria y cardíaca, ritmo, profundidad y patrones ventilatorios. Así como una auscultación que contemple focos pulmonares y cardíacos. Aunado a esto se harán pruebas de laboratorio y exámenes de gabinete como radiografía de tórax, electrocardiograma, ECG en esfuerzo, mesa de posiciones o tolerancia a la centrífuga humana. Independientemente del grupo de clasificación astronauta, pilotos clase 1, especialistas en la misión clase 2 o especialistas de carga útil clase 3, la valoración tendrá los mismos requisitos de clasificación previa al vuelo.^{137,138}

El juicio clínico de cuidados espaciales logra la categorización diagnóstica de las afecciones que repercuten a la oxigenación y éstas, entre otras, pueden

ser de riesgo o potenciales, por ejemplo, patrón respiratorio ineficaz relacionado con obesidad, dolor o ansiedad, entre otros y manifestado comúnmente por disnea, taquipnea o disminución de las fases de inspiración o espiración. Otro ejemplo de diagnóstico de enfermería producto de la valoración previa al vuelo podría ser la disminución del gasto cardíaco en relación con alteraciones de ritmo, volumen sistólico, frecuencia cardíaca o contractilidad, con una manifestación sintomática de arritmias, taquicardias, bradicardias, piel fría y diaforesis o cambios de coloración.¹³⁹

Las intervenciones están enmarcadas en la prescripción de acondicionamiento físico y resistencia cardíaca y pulmonar, con planes de cuidado que señalen a entrenamiento físico de tipo cardíaco para la tolerancia en el viaje espacial, éste puede ser de meses o años previos. Generalmente los cuidados médicos previos al vuelo están encaminados a realizar ejercicios que repercuten en el sistema cardiovascular, estos son los denominados cardiovasculares o aeróbicos, y se indica entrenamientos que consisten en horas de marcha en banda sin fin o bicicleta. Los candidatos a astronauta o pilotos aviadores llevarán un plan estricto de monitoreo continuo hasta estar en óptimas condiciones para poder ser aptos al viaje espacial.

Valoración, diagnósticos e intervenciones a bordo de la nave espacial

La valoración clínica de las funciones pulmonares a bordo de la astronave tiene su expresión en los signos y síntomas ventilatorios y de oxigenación, se han hecho estudios de la valoración pulmonar de maneras indirectas como espirometría y se han estudiado las fases de exhalación para comprender la ventilación.¹⁴⁰ Pero los parámetros más relevantes para la valoración clínica son los que refiriere el mismo astronauta, procedentes de los signos y síntomas como disnea, cefalea, hipotensión, acúfenos, fosfenos, diaforesis, astenia, taquipnea o bradipnea, además de ser complementarios por auscultación pulmonar y oximetría de pulso dentro de la nave. Por otra parte, la valoración del sistema cardiovascular incluye la valoración clínica mediante el registro de la tensión arterial tomando en cuenta la modificación debido a la serie de adaptaciones tempranas como la redistribución de líquidos, los aspectos hemodinámicos como el volumen sanguíneo central o el gasto cardíaco y los efectos tardíos como la atrofia cardíaca y las arritmias cardíacas.¹⁴¹ Otro tipo de valoraciones son las desarrolladas por la telemedicina, como la telecardiología que incluye la frecuencia cardíaca, tensión arterial, ECG y neumograma; o la valoración a través de imagenología médica avanzada. Es valioso señalar que la mayoría de los signos y síntomas ajenos al sistema cardiopulmonar son producto de la redistribución de líquidos, por ello es de central interés para el monitoreo el registro de la presión venosa central.¹⁴²

Una vez más se conjuga el juicio clínico para determinar y categorizar los diagnósticos de enfermería que señalen las intervenciones de cuidado posteriores.

Debido a que algunos de estos signos y síntomas son producto del ambiente espacial y generan una perfusión periférica ineficaz, invariablemente relacionada con la microgravedad, es que la serie de manifestaciones clínicas pueden abarcar mareos, parestesia, dolor, palidez, disminución de la velocidad de cicatrización o disminución de pulsos periféricos. Otro de los grandes problemas en el espacio es el riesgo de sufrir un deterioro en el intercambio de gases, relacionado probablemente con un desequilibrio en la ventilación-perfusión o una exposición repentina a cambios en la presión y saturación de oxígeno ambiental, con manifestaciones sintomáticas que comprenden agitación, aleteo nasal, cianosis, confusión, síncope, diaforesis, disnea, hipoxia e hipoxemia, taquicardia, dolor o alteraciones gasométricas.¹⁴³

Las intervenciones ante estas afecciones de oxigenación estarán encaminadas a suministrar el oxígeno suplementario necesario, manejar la vía aérea básica o avanzada según lo requiera, equilibrio ácido-base, disminución de la ansiedad y manejo de alergias, asma, shock o en los casos más extremos reanimación cardiopulmonar. La mayoría de los cuidados e intervenciones aledañas a este tipo de afecciones pueden incluir punción y terapia intravenosa. La prevención de infecciones respiratorias de clase II o III ya que el ambiente espacial es un entorno que propicia aún más las infecciones, además de la baja leucocitaria. Los cuidados se llevarán mediante las medidas sanitarias mismas que en la Tierra.¹⁴⁴

Las medidas terapéuticas en el espacio o mejor descritas como contramedidas, incluyen la ministración de fármacos básicos contenidos en el botiquín dentro de la EEI, como antibióticos, analgésicos, adrenalina, dexametasona, nitroglicerina, lidocaína, morfina, atropina, soluciones y hemoglobina artificial, entre otros, con el fin de atender a las demandas hemodinámicas del paciente. También la indicación de ejercicios como plan de cuidados a bordo mejorará la circulación y, por ende, todos los signos y síntomas derivados de la afección de dicho sistema. Éstos pueden ser marcha en banda sin fin, uso de la bicicleta fija y ejercicios de resistencia con liga, en las misiones prolongadas es recomendable realizar de 2 a 4 horas diarias repartidas en sesiones para evitar la atrofia muscular en astronautas, además del monitoreo continuo.¹⁴⁵

La evaluación de las intervenciones está mediada por el uso del monitoreo continuo de signos vitales, actualmente existen múltiples accesorios de dispositivos corporales o "*wereables*" que mantienen el monitoreo vital constante del astronauta. Además, se suma la evaluación de las ejecuciones en el examen de gasometría arterial, monitoreo de líquidos y exámenes por telemedicina.

Valoración, diagnósticos e intervenciones al regreso a la Tierra

El retorno desde el espacio en la readaptación implica someterse a la fuerza de gravedad de la Tierra y el organismo sufre esta condición, pues ya ha cruzado por un proceso de desadaptación en microgravedad. El ambiente sin gravedad lleva al organismo a una adaptación fisiológica de todos los sistemas y el periodo de incapacidad posterior al vuelo espacial puede tardar meses. Será trabajo del profesional de

Enfermería prever durante el vuelo la disminución de las complicaciones al regreso a la Tierra y aplicar contramedidas necesarias.

La fisiopatología más común al retorno del astronauta a la Tierra es el síndrome de intolerancia ortostática, implica la suma de signos y síntomas con etiología en los procesos hemodinámicos de readaptación gravitacional. Está íntimamente relacionado con la necesidad de movilidad y postura, y es deber de la enfermería valorar todos los procesos de readaptación para generar juicios clínicos congruentes a la fisiopatología.

El diagnóstico enfermero de retorno a la Tierra podría ser intolerancia ortostática relacionada con síndrome de desuso y trastornos hemodinámicos por alteración gravitacional manifestado por taquicardia, hipotensión, disminución del pulso arterial, síncope o astenia. Además, experimentan la sensación de un gran peso añadido, dificultad para la bipedestación y afecciones visuales como *"gray out"* o *"black out"*.

La valoración para la intolerancia ortostática después del aterrizaje de las tripulaciones espaciales puede incluir diferentes pruebas, por ejemplo, la evaluación médica integral que consiste en colocar al astronauta en posición supina durante 5 minutos, 10 min en posición de pie con la espalda pegada a la pared y los talones separados 15 cm, se registra la presión arterial cada minuto y se toma una derivación del ECG continuamente durante la prueba. También se puede incluir la mesa de posiciones, para colocar sujeto en 70° y así valorar su respuesta, la aplicación de presión negativa en la parte inferior del cuerpo, ejercicio físico, ecocardiograma y ECG.¹⁴⁶

Esto es debido al desplazamiento en dirección podálica de 20% de la sangre, la disminución del volumen total de sangre en 15 o 20%, aunado a la anemia neocitolítica. La disfunción de barorreceptores y arcorreflejos se encuentra deteriorada, hay disminución de la respuesta vasoconstrictora en miembros inferiores y por consiguiente la disminución del gasto cardíaco, retorno venoso y la perfusión cerebral.¹⁴⁷

Las intervenciones de enfermería y para contrarrestar los efectos de intolerancia ortostática por ingravidez se pueden dividir en dos: los cuidados preventivos al aterrizaje y las intervenciones de cuidado en la rehabilitación. Afortunadamente el sistema cardiovascular tiende a la pronta adaptación tanto en ingravidez como a 1G, por otra parte, el sistema pulmonar no sufre modificaciones notables ante la diferencia de gravedades. Pero ambos sistemas inciden en los signos y síntomas ocasionados al regreso a la Tierra, específicamente la vascularización. Por eso las intervenciones de enfermería podrán estar abocadas a contrarrestar los efectos de ingravidez con preparativos previos.

Algunas de las medidas preventivas más sencillas están relacionadas con la ingestión de solución salina o jugo antes del aterrizaje, acompañado de la ingestión de cloruro de sodio. Esto debido al estado de hipovolemia y disminución eritrocitaria, para evitar la hipotensión arterial e hipoperfusión cerebral. El ejercicio físico también es una contramedida preparativa para disminuir los efectos de la ingravidez. Por otro lado, los dispositivos preparativos a los efectos de ingravidez al regreso

a la Tierra cobran relevancia, como son el uso de traje anti-G, que consiste en una vestimenta neumática que aplica una presión positiva al cuerpo en la región de las piernas y el abdomen. Así como también el uso de presión negativa en la parte inferior del cuerpo, que basa su función en el desplazamiento de los líquidos superiores a la región podálica, aunque no hay evidencia significativa de las ventajas contra la intolerancia ortostática posvuelo.¹⁴⁸

Es en los primeros instantes de regreso del astronauta a la Tierra cuando inician los cuidados médicos de readaptación. El programa de rehabilitación médica además de la reposición de líquidos puede incluir inotrópicos para regular la fuerza contráctil, procurando una rápida actuación, la intolerancia ortostática puede disminuir a los pocos días o semanas después del aterrizaje. Los cuidados de rehabilitación esperan remediar también las anomalías de frecuencia y ritmo cardíaco, hipotensión y respuestas cardiorrespiratorias. Aunque todo esto lleva tiempo, planes de cuidados prolongados en relación al tiempo de estancia en el espacio, evaluaciones constantes para medir las mejoras de adaptación y monitoreo.¹⁴⁹

Nutrición y viajes espaciales

En este capítulo profundizaremos sobre los procesos digestivos en ambientes de microgravedad, haremos una revisión sobre la necesidad de nutrición en los astronautas, entenderemos los mecanismos de aprovechamiento calórico e hídrico en el espacio, los sistemas de reciclaje de agua y la importancia de la intervención del profesional de Enfermería en relación con esta necesidad. También conoceremos de cerca cómo se ha llevado la alimentación en el espacio a través de las diferentes misiones y los registros hechos por los tripulantes a bordo de la nave, así como la clasificación de alimentos e investigaciones nutricionales.

Conoceremos oportunas intervenciones y cuidados en relación con los procesos de alimentación y nutrición en el espacio; antes del viaje espacial, a bordo de la nave y al regreso a la Tierra, correlacionando el método clínico y las investigaciones fisiológicas de las agencias espaciales junto con el proceso de atención de cuidados, planteado en el enfoque de la aeronavegación.

Nutrición orgánica y celular

La nutrición es parte esencial para la supervivencia del ser humano. Esta es un proceso en el que el organismo recibe y procesa nutrientes a partir del consumo de alimentos y líquidos. Este proceso incluye la ingesta, absorción, asimilación, digestión y excreción de los componentes necesarios para que el cuerpo humano obtenga la energía imprescindible para la vida. El equilibrio que hay entre la ingesta de componentes y el gasto energético dan como resultado la realización de actividades, un adecuado funcionamiento vital y el bienestar general del individuo.¹⁵⁰

En los astronautas, la nutrición también incluye los mecanismos y procesos que intervienen en el suministro de alimentos y líquidos al cuerpo, así como su ingesta, deglución, digestión e integración de los nutrientes para su aprovechamiento y transformación en energía.¹⁵¹ Siendo esto tan importante, resulta necesario que el astronauta, que se enfrenta a un ambiente de microgravedad, pueda obtener los requerimientos alimenticios esenciales y logre satisfacer las necesidades de salud. La energía que mantiene en marcha al viajero espacial representará el cumplimiento o fracaso de la misión designada.

El estado nutricional revela si la alimentación y aprovechamiento de los nutrientes es el adecuado a las necesidades del organismo. Para realizar una valoración íntegra, se debe recurrir al trabajo colaborativo, junto a la utilización de diversas técnicas como la exploración semiológica, la antropometría, pruebas de gabinete, análisis clínico, la bioimpedancia, densitometría, historia clínica, anamnesis, etc., por lo tanto, se debe analizar al astronauta en sus esferas biopsicosociales a lo largo de los diversos estadios espaciales: previo al vuelo, a bordo de la nave y al regreso de la misión.

La importancia de la participación del profesional en Enfermería será esencial para una evaluación personalizada y de calidad, que adecúe el cálculo y equilibrio de nutrientes y calorías necesarias para cumplir con una dosis que posibilite la realización de las labores espaciales. Por esto, es relevante que en la anamnesis se obtenga un cálculo de datos analíticos junto con el uso de herramientas nutricionales específicas que otorguen un régimen alimentario adecuado que contenga los nutrientes principales: carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas, minerales, agua y los electrolitos esenciales.¹⁵² Esta dieta se describe y estudia en la Tierra,¹⁵³ en un laboratorio especializado donde personal de salud determina las cantidades indispensables e incluye los nutrientes principales bajo las siguientes presentaciones: carbohidratos: azúcares naturales y añadidos; fibra: cereal, frutas naturales y legumbres; proteínas: carne deshidratada; vitaminas: D, folato (contenido en algunas verduras, cereales, naranja), B₁₂ (contenida en el atún, productos lácteos como yogur), vitamina C; minerales: hierro y zinc (en productos lácteos y vegetales), calcio; y agua: calculable y determinada a partir de la edad, género, talla, peso e índice de masa corporal (IMC).

Debido a los diferentes cambios anatomofisiológicos es pertinente que la valoración nutricional logre prever las diversas afecciones que pueden llegar a presentarse durante la misión, pues resulta difícil que el astronauta vuelva inmediatamente a la Tierra a recibir un tratamiento oportuno. Los trastornos nutricionales más comunes han estado relacionados con déficits en la ingesta y/o en el aprovechamiento nutricional causado por las modificaciones morfofisiológicas antes mencionadas. Sólo por citar un ejemplo, el déficit en sodio¹⁵⁴ ocasionado, entre otras cosas, por la redistribución de líquidos y aumento en la filtración glomerular, repercute en la presión sanguínea en diversas áreas del cuerpo. Es así que se propone la participación del profesional de Enfermería para que, en colaboración multidisciplinar, fortalezca las intervenciones que prevean, disminuyan y/o traten los déficits nutricionales, desde el enfoque de cuidados de enfermería.

La alimentación en el espacio

Hace más de 45 años, durante las primeras misiones tripuladas que se llevaron a cabo, la idea de incluir alimentos en la nave era impensada pues el tiempo de estancia en el espacio era demasiado corto. Esto se puede ejemplificar con el primer viaje de Alan Bartlett Shepard, a bordo de la nave "*Mercury redstone III*", cuya expedición duró menos de 30 minutos.

Conforme la exploración espacial avanzaba, el tiempo de estancia se prolongaba y la exigencia de mantener las condiciones nutrimentales fisiológicas era importante. En las misiones del proyecto "*Mercury*",¹⁵⁵ la deglución en un entorno de gravedad disminuida aún se mantenía como una incógnita, sin embargo, durante estos viajes se hicieron grandes avances en las reacciones de masticar, beber y tragar alimentos sólidos y líquidos en microgravedad. Uno de los primeros astronautas en probar alimentos en el espacio fue John Glenn a bordo de la nave "*Friendship VII*". Esta "comida" eran cubos pequeños y productos liofilizados, que estaban contenidos en un tubo cuyo material era más pesado que el mismo contenido. La comida carecía de sabor y en varias ocasiones la rehidratación resultaba complicada. Para realizar la rehumidificación y consumo de éste, se le adaptó un "*popote*" que permitía ambas tareas. Resultaba obligatorio que el contenido no expidiera partículas que dañaran el equipo de la nave o pudiera ser inhalado por otro tripulante. Otro desafío fue el revestimiento del tubo pues ante las reacciones químicas entre el alimento y el aluminio, el contenido terminaba descomponiéndose rápidamente y/o perdía sus características nutrimentales. Al final de las misiones *Mercury* se consiguió que los comestibles fueran envasados al vacío en un contenedor individual: el material predominante era el plástico laminado transparente con cuatro capas. Este nuevo empaque brindó protección contra la humedad, pérdida de sabor y deterioro.

Entre 1965 y 1966 el progreso científico del transporte de alimentos al espacio estuvo encaminado al empaquetamiento y mejora en los procesos de rehidratación. El proceso de liofilización había mejorado y, por lo tanto, proporcionó un mejor aspecto, en color, forma y textura, a los productos alimenticios. Se incluyó un menú más atractivo, del que se destacan alimentos como: pan tostado con canela, cubos de chocolate, puré de manzana, crema de pollo, estofado de carne, pollo, arroz, salsa, entre otros. Algunas bebidas notables fueron los jugos de uva y naranja. La liofilización consistía en un proceso donde se congelaba el alimento, después era colocado en bandejas de secado para introducirlo en una cámara de vacío que realizara la separación del agua por sublimación.¹⁵⁶ Debido a que el alimento cursaba por una deshidratación, resulta imposible que pierda el sabor. El proceso de rehidratación era sencillo pues se inyectaba agua por una pajilla y del otro extremo del envase era posible ingerirlo a través de una abertura para exprimir el contenido. Las ventajas de la liofilización fueron demasiadas; la producción de éstos era más accesible, la comida era ligera, el envase tenía una vida útil más larga, fácil almacenamiento y al final de la alimentación era posible colocar una tableta antimicrobiana que inhibía el crecimiento de microorganismos en los sobrantes. A pesar de estos adelantos, la ingesta nutricional necesaria no era la adecuada. Aunque diariamente los tripulantes ingerían 0.58 kg de alimentos líquidos y sólidos, el aporte calórico no era el necesario. Durante estos años, se implementó la creación de un menú espacial¹⁵⁷ (Cuadro 6.1).

Durante las misiones "*Apollo*",¹⁵⁸ entre los años 1961 y 1975, el progreso tecnológico que se alcanzó fue trascendental. Aunque se seguían usando empaques similares a

CUADRO 6.1.

Primeros menús espaciales establecidos durante las misiones Géminis de la NASA
(traducido del idioma inglés)

Menú estándar durante las misiones Gemini (Ciclos de 4 días)

Día 1, 5, 9	—	Día 2, 6, 10	—	Día 3, 7, 11	—	Día 4, 8	—
Comida A Melocotones Cuadros de tocino (8) Cubos de pan tostado con canela (4) Jugo de toronja Jugo de naranja		Comida A Coctel de frutas Hojuelas de maíz cubiertas de azúcar Cuadros de tocino (8) Jugo de uva Jugo de toronja		Comida A Melocotones Cuadros de tocino (8) Cubos de fresa (4) Cacao Jugo de naranja		Comida A Coctel de frutas Empanadas de salchicha Cubos de tocino Cacao Jugo de uva	
Comida B Ensalada de salmón Arroz y pollo Cubos de galletas de azúcar (4) Cacao Ponche de uva		Comida B Sopa de papa Pollo y vegetales Ensalada de atún Pastel de frutas de piña (4) Jugo de naranja		Comida B Crema de sopa de pollo Pavo y salsa Budín de mantequilla Brownies Jugo de toronja		Comida B Sopa de papa Papas empanizadas al horno Salsa de manzana Jugo de naranja	
Comida C Carne y papas Cubos de galletas de queso (4) Pudín de chocolate Jugo de naranja con toronja		Comida C Espagueti y salsa de carne Jamón y papas Pudín de banana Jugo de piña con toronja		Comida C Sopa de guisantes Estofado de carne Ensalada de pollo Cubos de chocolate (4) Ponche de uva		Comida C Coctel de camarón Estofado de pollo Pavo Pastel de frutas seco (4) Jugo de naranja con toronja	

las misiones anteriores, éstos fueron mejorados para alcanzar una estructura semejante a una bolsa con cierre hermético que, después de rehidratar los alimentos, permitía que el alimento se adhiriese a una cuchara debido a la humedad conservada, lo que confería una experiencia más similar como en la Tierra. Otro empaque fue creado durante este periodo: el “wetpack” o termoestabilizador. Este era una bolsa flexible que no necesitaba rehidratación pues la comida permanecía con agua trayendo beneficios al ingerirla. Durante la misión del “Apollo VIII”, los tripulantes pudieron celebrar la Navidad de 1968 con un manjar navideño: pavo, pan, queso y jugo de fruta.

Como es bien sabido, el “Apollo XI”, que alunizó en 1969, dio mucho de qué hablar, y en el campo de la alimentación no fue la excepción. El alimento y bebidas ingeridas en estas misiones eran rehidratadas con agua a temperatura ambiente o con agua caliente, por lo tanto, la lista se incrementó; ahora había café, tocino, huevos revueltos, sándwiches de carne, mantequilla de maní, carne asada, espagueti y salchichas. Esto se traducía como un incremento y alcance de las necesidades nutricionales por la extensa gama de alimentos.

Durante los años 80 a la par de las misiones suborbitales con transbordadores espaciales,¹⁵⁹ se dio un giro a la presentación de la comida, optándose por paquetes de alimentos prediseñados desde la Tierra que eran seleccionados y aprobados por los propios gustos antes de comenzar la misión, siempre que cumplieran las demandas nutricionales. Una desventaja fue que se necesitaba adecuar un espacio específico para su colocación y éste resultaría demasiado amplio y estorbo. El menú se programaba para 7 días que duraba la misión.¹⁶⁰ Se implementó un compactador de basura que reducía el volumen de desperdicios.

Para 1991 se desarrollaron nuevos contenedores, más ligeros y flexibles, con duración extendida y una válvula para insertar agua, también se adaptó una unidad modular que contiene un dispensador de agua; fría, caliente o ambiental y un horno similar al de una cocina, que servía para calentar el alimento. Este recalentamiento y reconstrucción podía tardar entre 20 y 30 minutos, posteriormente se servía en una bandeja de comida firme (similar a un plato) y ésta se unía al astronauta con una correa. Se incorporaron utensilios de comida como el cuchillo, tenedor, cuchara y tijeras (para abrir los alimentos).

Los antecedentes a través de la exploración científica en la correlación de efectos entre la ingravidez, la adaptación fisiológica, la adaptación psicológica a ambientes extremos y la capacidad de nutrición e ingesta de nutrientes que disminuyan los efectos dañinos durante las misiones espaciales, lograron que hoy en día las exploraciones que se realizan a la Estación Espacial Internacional (EEI)¹⁶¹ estén a la vanguardia en transporte y dotación de alimentos. Cada 90 días un nuevo módulo suporta alimentos y otros materiales necesarios, este módulo es llamado "*MultiPurpose Logistics Module*" (MPLM).¹⁶² Una desventaja en la EEI es que el sistema para producir energía depende de los paneles solares adicionales alrededor de la estación, por consiguiente, este sistema de energía no está capacitado para producir agua, por lo que es necesario que sea reciclada a partir de diversas fuentes como el procesador de orina. Por su limitada disposición, este líquido no sería suficiente para rehidratar toda la comida, por lo tanto, la mayoría de los alimentos deben estar congelados, refrigerados o termoestabilizados (con un proceso térmico de enlatado que se guarda a temperatura ambiente). Este progreso permite que se disminuya el consumo de agua y que el líquido disponible se utilice para concentrados deshidratados como el jugo de frutas.

En recientes misiones se conservó el empaquetado habitual que consiste en un depósito hecho de lámina y laminado de plástico, en la parte superior está provisto de un adaptador donde se puede rehidratar el contenido y beber del mismo (Figura 6.1). Por otro lado, el paquete de alimentos está hecho de un material resistente a las microondas. La parte superior de este paquete se puede cortar para que el contenido se ingiera fácilmente. También se incorporó un refrigerador que permite la incubación, investigación y colocación de los alimentos.

Históricamente, a través de las diversas misiones espaciales y la investigación científica, se ha demostrado que la ingesta de energía ha sido inadecuada junto con



FIGURA 6.1.
Alimentos empaquetados para las misiones espaciales de la NASA.

una significativa pérdida de masa corporal. Por eso se han adaptado las necesidades y requisitos generales de ingesta de alimentos, tal y como se lleva a cabo en la Tierra. Pertinentemente se puede conseguir una deglución de nutrientes necesaria, un sabor natural del alimento, el reciclaje y eliminación de la basura generada y una variedad de alimentos contenida en un menú dietético personalizado para cada astronauta. Este menú está clasificado en ocho tipos de alimentos espaciales:¹⁶³

Rehidratables: estos alimentos llevan un proceso de liofilización para eliminar el agua contenida. Antes de comerlos, los alimentos y/o bebidas se rehidratan. Un ejemplo es el cereal de avena.

Termoestabilizados: comida procesada con calor. Tienen la virtud de poder permanecer a temperatura ambiente. Estos alimentos están dentro de una lata que tiene tecnología “abre fácil”. La mayoría de las frutas y pescados se conservan termoestabilizados.

Humedad intermedia: no necesitan alguna preparación pues se conserva una humidificación adecuada para su ingesta. Los alimentos incluidos son los duraznos secos, peras, albaricoques y carne de res.

Naturales: no requieren ningún proceso para llevarlos al espacio, sólo necesitan empaquetarse en una bolsa hermética y flexible; por ejemplo, nueces y galletas.

Irradiados: esta comida es cocinada y empaquetada en bolsas flexibles y esterilizadas por radiación ionizante. Actualmente sólo el filete de res y el pavo ahumado son alimentos irradiados.

Congelados: su preparación implica una congelación rápida para evitar que se acumulen grandes cristales de hielo. Aquí se incluye el pastel de pollo.

Alimentos frescos: no tienen procesamiento artificial. Ejemplo de esto son las manzanas y plátanos.

Refrigerados: son aquellos que necesitan una refrigeración para evitar el deterioro. Aquí se incluyen algunos productos lácteos.

Actualmente, la NASA ha incorporado un alimento especial que contiene nutrientes necesarios para el cuerpo, tiene un fácil almacenamiento y no deja residuos que afecten el equipo electrónico. Este es la “Tortilla espacial”¹⁶⁴ (Figura 6.2). Esta tortilla es un alimento favorito de los astronautas y al mismo tiempo proporciona una solución al problema de migajas de pan. Éstas se han utilizado desde 1985 hasta la actualidad en diversas misiones espaciales.

Considerando que la nutrición adecuada de los astronautas es esencial para que se lleven a cabo las funciones fisiológicas, la disminución de las afecciones causadas por el viaje y el cumplimiento de la misión, resulta necesaria la participación del profesional de Enfermería quien proponga las contramedidas que favorezcan el sistema alimentario individual, el estado nutritivo; disminuyan los factores de malnutrición; beneficien la resistencia y la masa muscular, las funciones inmunitarias, el tejido óseo, el rendimiento cardiovascular, la función gastrointestinal,

RECETA PARA LA ELABORACIÓN DE LA TORTILLA ESPACIAL

Ingredientes:	% en masa
Trigo	61.79
Agua	26.58
Glicerina	4.02
Manteca	3.71
Mono/diglicéridos	1.24
Sal	0.99
Levadura en polvo	0.87
Acondicionador de masa	0.31
Ácido fumárico	0.19
Sorbato de potasio	0.15
Carboximetil celulosa	0.12
Propanoato de calcio	0.03
	100.00%



FIGURA 6.2.

Fórmula de la "Space Tortilla". Taco preparado a bordo de la Estación Espacial Internacional.

la salud cutánea, el comportamiento psicológico, etc. Por lo tanto, a continuación se propone la aplicación de cuidados de enfermería en el ambiente espacial en la necesidad de comer y beber adecuadamente.

Cuidados de enfermería en la necesidad de Nutrición Valoración, diagnósticos e intervenciones previos al viaje espacial

La valoración de requerimientos nutricionales esenciales que necesitará el astronauta antes, durante y después del vuelo, es estudiada en la Tierra, en un laboratorio especializado donde el personal de salud, en conjunto con profesionales de diversas disciplinas, determinan algunos datos necesarios, como: tipo de dieta, capacidad de ingesta, efectos de la ingravidez, hábitos alimentarios, datos somatométricos (peso, talla, IMC, etc.), género, actividades que se llevarán a cabo durante la misión, ejercicio a bordo de la nave, entre otros. Estas circunstancias definen la demanda nutricional necesaria para mantener las condiciones fisiológicas adecuadas.

Los astronautas que viajarán en misiones espaciales requieren un cálculo calórico similar a la demanda nutricional en Tierra, es decir, en promedio deberán cubrir una ingesta de 2 000 kcal. Evidentemente esto dependerá de diversos factores. Por eso se han adaptado fórmulas para la creación de una dieta que aproxime la necesidad nutricional personal y, por lo tanto, qué y cuánto alimento se debe consumir al día, esto para establecer una dieta espacial personalizada. Este método sólo requiere conocer la edad, peso y estatura del astronauta, y con estos datos establecer un aproximado en las necesidades energéticas. Para realizar dicho cálculo se aplican las siguientes fórmulas:¹⁶⁵

Requerimientos de energía estimados para:

Hombres de 19 años en adelante

$$[66.5 + (13.8 \times \text{peso}) + (5 \times \text{altura}) - (6.8 \times \text{edad})] \times 1.6$$

Mujeres de 19 años en adelante

$$[655.1 + (9.6 \times \text{peso}) + (1.9 \times \text{altura}) - (4.7 \times \text{edad})] \times 1.6$$

Tomando en cuenta:

Peso = kilogramos

Altura = centímetros

Edad = años

El resultado de esta fórmula indicará el tipo de dieta requerida durante la navegación espacial. Como estándar, en distintas misiones se ha estimado que la demanda energética sea de 2 000 a 3 200 kcal por día. Y en caso de realizar Actividad Extravehicular (EVA), se añaden 500 kcal al día.

Una vez que se establece la demanda energética, resulta indispensable que dichas calorías se traduzcan en un menú que contenga alimentos que alcancen este requerimiento nutricional. A través de un cuestionario personal se conoce la dosificación de comida, los alimentos ingeridos comúnmente, variedad en la ingesta, alergias, alimentos preferidos y los no gratos, problemas para la deglución y alimentos culturalmente aceptados. Al final se empatan las necesidades personales con la clasificación del menú espacial. Para esto se realizan degustaciones en Tierra, antes de comenzar la misión. Esto beneficia al astronauta pues recibe una alimentación deseada y balanceada.

Preventivamente se adecuan alimentos que contrarresten los elementos perdidos durante el vuelo.^{166,167} Éstos predominantemente son: macronutrientes como proteínas, carbohidratos, fibra, lípidos; micronutrientes como vitaminas A, D, E, K, C, B₆, B₁₂, folato, tiamina, niacina, riboflavina, biotina; calcio, fósforo, magnesio, hierro, zinc, selenio; y algunos electrolitos como sodio y potasio. En cuanto al hierro, el consumo diario del astronauta deberá ser menor a 10 mg (para hombres y mujeres) pues en microgravedad se tienen menos glóbulos rojos lo que ocasiona un elevado almacenamiento. Por otro lado, el sodio debe ser limitado para no favorecer la pérdida ósea. Finalmente, está la vitamina D, que es indispensable para la pigmentación de la piel y mantener los huesos sanos, pero inoportunamente ésta se produce con la exposición a la radiación del sol y dado que las naves están protegidas y cubiertas contra la exposición y radiación solar, se necesita incluir en la ingesta como un elemento extra.

A continuación, citaremos brevemente dos macronutrientes esenciales y su importancia en la ingesta durante las misiones espaciales: carbohidratos y lípidos.

Los hidratos de carbono tienen un rol importante en el ser humano pues componen la principal fuente de energía y se dispone fácilmente de estos elementos. Dicha energía proviene de la oxidación y es utilizada por distintos órganos y células del cuerpo, principalmente el cerebro y los eritrocitos cuya función depende de los carbohidratos (HC). Se piensa que las demandas de carbohidratos durante la misión espacial es similar a las de la Tierra. Sin embargo, en diversas investigaciones acerca del metabolismo de los HC en microgravedad, se han encontrado resultados contradictorios.

En un estudio de investigación rusa, se mostró una reducción en la glucosa plasmática en ayunas después de 60 u 88 días de vuelo a bordo de un complejo *Salyut-Soyuz* y un pico disminuido de glucosa en sangre en pruebas de tolerancia. En estudios de ingravidez real y simulada se ha encontrado resistencia a la insulina; después de 3 semanas de reposo en cama, la tolerancia a la glucosa se alteró durante más de 4 días de reambulación. Una ingesta de carbohidratos por debajo de los niveles óptimos puede tener consecuencias para los objetivos de la misión, y también podría impedir su capacidad de respuesta en situaciones de emergencia. Asimismo, la deficiencia puede conducir a una cetosis, misma que pone en riesgo algunos sistemas de soporte vital al no ser capaces de eliminar las cetonas exhaladas.¹⁶⁸

En cuanto a los lípidos, es la energía más densa en comparación con otros nutrientes, por lo tanto, es una alta fuente de energía para los astronautas. Las grasas en la dieta favorecen la absorción de vitaminas liposolubles, y también suministran al cuerpo dos ácidos esenciales, mismos que son necesarios para el crecimiento y desarrollo, de igual forma contribuyen a la realización de muchos otros procesos bioquímicos como la producción de eicosanoides. Contrario a la típica respuesta de las lipoproteínas a la disminución de peso, las concentraciones de lipoproteínas de baja densidad (LDL) aumentaron en tripulantes de misiones de larga duración que tuvieron una disminución de peso durante el vuelo. En cuanto al papel de los ácidos grasos como el *omega-3* se ha demostrado que protegen el hueso en los astronautas que realizan misiones análogas de vuelo espacial, incluyendo reposo en cama y cultivo celular. Aunque no se ha estudiado la ingesta durante los vuelos espaciales, se ha encontrado una correlación favorable entre la inclusión de pescado en la dieta y la reducción de la pérdida ósea en los astronautas.¹⁶⁹

La valoración semiológica de la persona requiere que un evaluador pueda hacer una examinación organizada para conocer las condiciones generales del astronauta. Esta recogida de datos se debe llevar a cabo mediante el método clínico. Normalmente las enfermedades gastrointestinales agudas o crónicas se mantienen en un amplio rango de severidad e importancia para posibilitar como apto al tripulante y, por lo tanto, determinar la viabilidad del viaje. El examinador que valore al astronauta debe considerar los factores de exclusión que puedan perjudicar la misión, prestando particular atención a las afecciones más comunes como la gastritis, úlcera péptica, enfermedad de reflujo gastroesofágico, trastornos biliares, pancreatitis, síndrome de intestino irritable, colitis, enfermedad de Crohn, hernias, quistes pilonidales y diabetes.¹⁷⁰

La evaluación comparativa nutricional se interpreta a través de un registro somatométrico, de tal forma que se estudia el peso, la talla, IMC, la densidad ósea, diámetro muscular, entre otras. Se ha visto que la ingesta adecuada de nutrientes mejora la adaptación a los cambios fisiológicos y disminuye las alteraciones después del viaje.

Previo al vuelo, el astronauta mantiene la disposición para mejorar la nutrición manifestado por una actitud hacia el acto de comer y beber congruentemente con los objetivos esperados para que sea candidato al vuelo. Sin embargo, por la adecuación nutricional que antecede al viaje, de manera imprevista puede presentarse un riesgo de desequilibrio nutricional con una ingesta superior o inferior a las necesidades, esto relacionado con patrones alimentarios disfuncionales o que no se llevaron a cabo adecuadamente. Por otra parte, el estrés previo al viaje puede ocasionar disminución, ineficacia o falta de actividad peristáltica, es decir, riesgo de motilidad gastrointestinal disfuncional relacionado con ansiedad, intolerancia alimentaria y estrés.

Con la atención y cuidados del personal de enfermería, sería posible coadyuvar en el mejoramiento del patrón de aporte de nutrientes para que éste resulte el suficiente para satisfacer las necesidades metabólicas, acompañando un asesoramiento nutricional personalizado mediante la utilización de un proceso interactivo de ayuda

basado en la determinación entre la ingesta nutricional y los hábitos del sujeto. Es importante que se proporcione información necesaria para la dieta con el fin de disminuir los riesgos ocasionados por una alimentación elevada y/o disminuida. Esto se puede lograr en conjunto considerando factores de edad, estado nutricional actual, planificación personal y teniendo en cuenta los objetivos de la misión. Otra intervención eficaz podría ser la disminución de la ansiedad y/o factores estresantes creando un ambiente que facilite la confianza y bienestar de la situación que lo lleve a ese estado ansioso. El asesoramiento nutricional igualmente puede utilizarse ante el riesgo de disfunción de la motilidad gastrointestinal, no obstante es recurrente crear un plan de alimentación comprobando la tolerancia a la ingesta de ciertos alimentos.

El cumplimiento de las intervenciones se enfoca en la consecución y realización de los objetivos establecidos para el beneficio del astronauta. Esta evaluación se demuestra ante el mejoramiento de las acciones personales para seguir las recomendaciones alimentarias que el profesional de Enfermería le facilitará para el mejoramiento de la condición de salud específica. De este modo es visible prestando atención a las acciones personales para mantener el peso corporal óptimo. Relacionado con el autocuidado en la alimentación, será posible observar la actuación personal para el autocuidado determinada por la ingesta de los alimentos sugeridos y el mantenimiento o aumento del bienestar. Finalmente, la evaluación gastrointestinal se ha conseguido cuando el grado de nutrientes absorbidos sea el oportuno tomando en cuenta la ingesta de los mismos, para así lograr satisfacer las necesidades metabólicas, acompañado de la disminución o eliminación de los sentimientos de inquietud que le suscitan un estado estresante previo al vuelo.

Valoración, diagnósticos e intervenciones a bordo de la nave espacial

A partir del año 2006, se estipuló un requisito en salubridad espacial que consiste en evaluar el estado nutricional de los viajeros espaciales. Este proyecto trató de ampliar las pruebas realizadas a los astronautas y conocer las variaciones nutrimentales antes, durante y después de la misión. Estas pruebas consisten en tres estudios: 1) muestras de sangre y orina; 2) ampliar las pruebas médicas nominales que permitan incluir marcadores normativos adicionales, y 3) añadir sesiones extra que posibiliten la evaluación nutricional después del vuelo y por lo tanto las implicaciones en la rehabilitación. De esta manera se consiguió establecer cuáles eran las afecciones más comunes durante la misión y por lo tanto la prevención de los cambios fisiológicos ante la ingravidez, lo que permitió adaptar las necesidades de alimentación habitadas en Tierra y modificar la ingesta de elementos principales de la dieta del ser humano en el espacio.

A bordo de la nave espacial, el estudio nutrimental no finaliza, sino que se hace más evidente la necesidad de continuar con una valoración que reúna los estadios por los que cursa el astronauta; la trascendencia en la recolección de muestras de orina reside en el conteo de los elementos aprovechados a través de los residuos, así

permite realizar un análisis de la utilización de los nutrientes, por otro lado, se realizan pruebas de sangre que determinen los niveles de proteínas plasmáticas como albúmina sérica, transferrina, prealbúmina, proteína fijadora del retinol; vitaminas, sales, azúcares, agua, lípidos, creatinina, número total de linfocitos, etc.¹⁷¹ El procedimiento de la toma de muestra hemática es similar a la técnica clínica aplicada en Tierra (Figura 6.3) y se utiliza equipo cotidiano: ligadura, tubos de recolección, catéteres para extracción, centrífuga y un congelador MELFI (*Minus Eighty Laboratory Freezer for ISS*)¹⁷² [Figura 6.4], que mantiene las muestras en temperaturas de congelación para su análisis al finalizar la misión.

La participación de los profesionales de Enfermería durante una valoración sería importante para asistir en el monitoreo, de manera que se llevaría un mejoramiento en el estado de salud. Por esto, se propone que la implicación de enfermería sea presencial, teniendo en cuenta que la atención brindada se basaría, como en la Tierra, en la aplicación de técnicas de exploración siguiendo el método clínico. El principal inconveniente que intervendría con la valoración clínica es la microgravedad que conlleva diversas modificaciones físicas y anatómicas y por razones evidentes dificultaría la posición anatómica para la exploración, inspección, auscultación, percusión y palpación. Sin embargo, es factible que la exploración se pudiera realizar a bordo de la nave con ayuda de medios que faciliten la colocación del astronauta en un lugar cómodo para su valoración, este sitio puede ser una camilla ajustable, para el explorador y el sujeto a explorar. El seguimiento en la examinación se debería orientar a la aplicación del método clínico; inspección general del sujeto, considerando el estado de la piel, hidratación de las mucosas, contorno y simetría del abdomen, musculatura corporal, dolor, entre otras. Por otra parte, la auscultación del astronauta estaría encaminada al reconocimiento de los ruidos normales del peristaltismo. La percusión y palpación también serían orientadas a la condición orgánica perceptible del abdomen.

La eficacia de la alimentación espacial reside en gran parte en las medidas de seguridad y bienestar estipuladas en la Tierra. Los adelantos científicos y en salud sugieren la preparación y consumo de la comida mediante una serie de pasos: lo primero que el astronauta debe hacer es recoger la bandeja de comida y utensilios necesarios, para conocer el alimento que puede/debe ingerir en ese momento, es necesario que busque la comida preseleccionada en un ordenador (PC), mismo que le indicará la ubicación de ésta. Si el empaque de comida requiere calefacción, se llevan al horno. En caso de ser bebidas deshidratadas, es necesario llevarlas al dispensador de agua. Todos los recipientes deben ser colocados en la bandeja para alimentos. Después de ingerir el contenido, es necesario colocar los recipientes utilizados en el compactador de basura y limpiar y guardar la bandeja de comida y los utensilios que se usaron. Esta disposición permite que la acción de comer y beber a bordo de la nave sea fácil y se logre consumir los requerimientos indispensables para la nutrición. La valoración dietética se toma en cuenta con la frecuencia y cantidad de



FIGURA 6.3.
Recolección sanguínea en microgravedad.

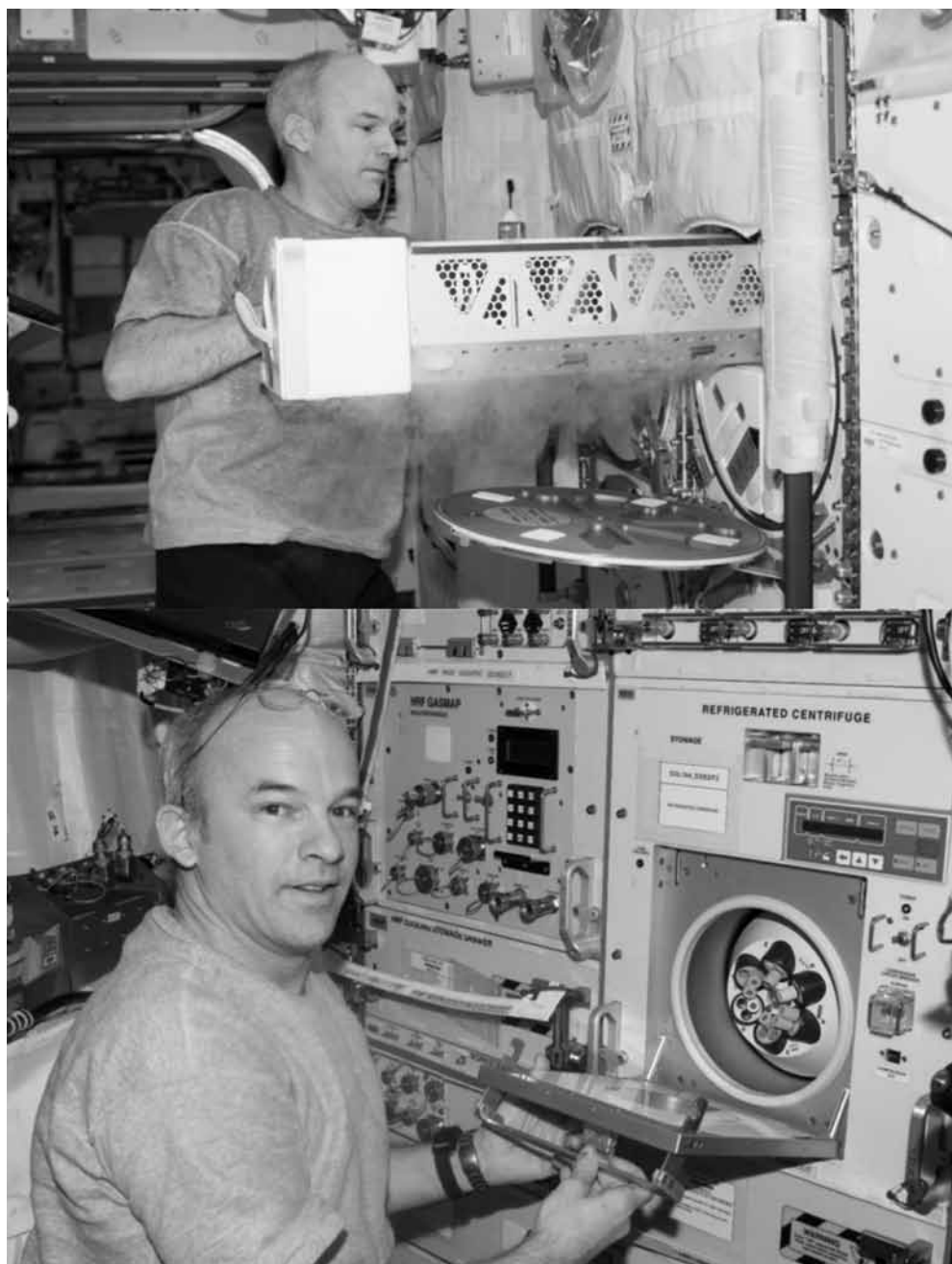


FIGURA 6.4.

Astronauta Jeff Williams utilizando el MELFI y depositando muestras sanguíneas en el refrigerador-centrifugador.

alimentos y, por lo tanto, de micro- y macroelementos nutricionales, en una ingesta total en 24 horas, de aquí la importancia de llevar un registro en la computadora.

Durante las misiones espaciales, es preciso que se considere la pérdida, ganancia o equivalencia nutricional derivada del adecuado o inadecuado régimen alimentario. La valoración de estos datos se puede obtener con el monitoreo continuo de la densidad muscular, densidad ósea y condición física. Para esto se realiza la medición constante del peso del tripulante, sin embargo, resulta imposible pues el peso se relaciona con la fuerza gravitacional, y ésta no puede ser simulada en la nave. Por esto el valor más adecuado es la masa corporal. Tanto en la Tierra como en el espacio, una de las medidas básicas para el control de la salud es el registro de la masa corporal. Esta medida se obtiene con dos dispositivos especiales: *Space Linear Acceleration Mass Measurement Device* (SLAMMD)¹⁷³ [Figura 6. 5] el cual utiliza la física de la ecuación $fuerza = masa \times aceleración$, mantiene una referencia entre el tiempo y la disminución de los tejidos, además de calcular la masa corporal del tripulante, y el otro es un dispositivo de medición de masa corporal que utiliza la oscilación de resorte.

Se propone que otras pruebas nutricionales opcionales a cada misión podrían ser: valoraciones funcionales como la fuerza de las manos, la medición de pliegues grasos, circunferencia muscular del brazo, densitometría, absorciometría, entre otras. La agrupación de la información obtenida por la evaluación sanitaria, se documentaría semanalmente. Este informe organizado se transmitiría a la Tierra con el fin de llevar un seguimiento nutricional metodológico. La continuidad en el análisis nutricional durante la misión espacial implica la necesidad de contar con la presencia y participación continua del profesional de Enfermería, capacitado para realizar valoraciones constantes del estado nutricional del paciente.

La atención de cuidados espaciales en el astronauta que sufre modificaciones alimentarias puede ser abordado desde la perspectiva clínica de los cuidados de enfermería, mediante la categorización diagnóstica de las afecciones que repercuten en un desequilibrio nutricional. Ejemplo de esto sería el déficit nutritivo ocasionado por la ingesta inferior al aporte necesario que se manifiesta con el bajo tono de tejidos muscular y óseo y la pérdida de peso. Este mismo se conjunta con un riesgo de déficit de volumen de líquidos relacionado con una ingesta inferior de los líquidos necesarios y la redistribución del líquido corporal. Por otro lado, el astronauta está latente a presentar deterioro de la integridad tisular relacionado con el déficit de volumen de líquidos, el deterioro de la movilidad física y déficit nutricional, todo esto manifestado por lesión en tejido óseo y muscular. Aunado a esto, el ambiente de microgravedad ocasiona náusea relacionada con los cambios fisiológicos adaptativos, esta percepción es manifestada verbalmente como una sensación nauseosa que cursa durante algunas horas o incluso días.

En cuanto a las intervenciones, sería oportuno que éstas sean enfocadas a disminuir los cambios nutricionales ocasionados por el régimen alimentario. Inicialmente se debería hacer un manejo de la nutrición que proporcione y fomente la ingesta



FIGURA 6.5.

Astronauta Karen Nyberg utilizando el dispositivo de Medición de Masa de Aceleración Lineal del Espacio (SLAMMD).

equilibrada de nutrientes, basada en la dieta previamente prescrita, instruyendo al astronauta sobre las necesidades nutricionales, y así, determinaría el número de calorías y el tipo de nutrientes necesarios; sumado a esto, se incluirían las necesidades dietéticas en función de la misión. El monitoreo y cuantificación de la entrada y salida de líquidos (que actualmente se lleva a cabo en una bitácora personal) es esencial para determinar la cantidad requerida y tipo de ingesta de los mismos. A través de las pruebas sanguíneas sería posible cuidar los niveles séricos y de electrolitos.

También es importante recalcar la importancia de incluir la vigilancia de los signos vitales (con especial énfasis en tensión arterial y frecuencia cardíaca). En tanto, el deterioro tisular debería enfocarse a la protección contra la contaminación infecciosa a través de la observación de signos y síntomas de probable infección. Si este deterioro tiene por origen la inadecuada ingesta nutricional, es importante que se hiciera una revaloración nutricional complementada por un monitoreo en los alimentos y líquidos consumidos en la nave, para recalcular la ingesta calórica.

Finalmente, las intervenciones de la náusea deberán ser conducidas a la prevención y alivio de la misma, realizando valoraciones completas de los episodios nauseosos, incluyendo la frecuencia, duración e intensidad, utilizando una “escala de náusea y vómito”.

Para concluir la terapia de intervenciones, se establecería e incluiría un plan de cuidados personalizados, cuyo diseño logre la restitución de las afecciones fisiológicas causadas por el déficit nutricional. Como uno de los ejes de actuación de enfermería, la enseñanza resulta vital para el astronauta y su mejora. Las acciones personales que fomenten el bienestar, la recuperación y rehabilitación en la ingesta de líquidos y alimentos recomendada, serán un indicador de bienestar. Por otro lado, la mejor señal de mejoramiento en el monitoreo, sería el grado en que los nutrientes son ingeridos y absorbidos para satisfacer las necesidades metabólicas. Relacionando con la protección tisular, se evalúa el mejoramiento estructural de la función fisiológica de tejidos. El resultado del mejoramiento son las acciones personales para el control de los síntomas de náusea, esfuerzos para vomitar y vómito.

Hacer una reevaluación del ámbito nutricional resultaría necesario para conocer los cambios ocurridos durante el viaje espacial y la evolución benéfica a partir de la participación del personal de enfermería. Durante este monitoreo se trabajaría en los aspectos que alteraron la condición alimentaria durante el vuelo espacial, es decir, la evaluación de los resultados que se plantea conseguir en una fecha límite.

Valoración, diagnósticos e intervenciones al regreso a la Tierra

Al regreso de la misión espacial, los miembros de la tripulación cursan diversas alteraciones fisiológicas debido a las condiciones de microgravedad durante el vuelo espacial y a la reexposición a la gravedad terrestre. Las recientes investigaciones arrojan datos que sostienen que los astronautas que regresan, a menudo experimentan alteraciones en el perfil nutricional, incluyendo variaciones inesperadas en los niveles de minerales, vitaminas y otros elementos relacionados con la alimentación. Estos cambios, entre otros factores, ocasionan alteraciones sensomotoras, desacondicionamiento cardiovascular y pérdida de masa muscular y fuerza.¹⁷⁴ Por esto la valoración sanitaria de enfermería deberá orientarse a la recopilación de datos que permitan el monitoreo nutricional posvuelo y al reconocimiento de las alteraciones ocasionadas durante la misión.

Momentos previos a la reentrada de la nave a la órbita terrestre es necesario que cada astronauta ya tenga un perfil de evaluación nutricional clínica, el cual fue llevado a lo largo de la misión. Esta evaluación incluye muestras de sangre y orina que serán complementadas al aterrizar con una nueva toma de muestras. Asimismo se hace una reevaluación cuantitativa de la masa corporal y la composición corporal.

A menudo se observa que los astronautas arriban con una capacidad muscular disminuida que, en gran parte, es ocasionada por la baja ingesta calórica contra el alto gasto de energía durante la misión.¹⁷⁵ Esta alteración puede ser valorada mediante pruebas de rendimiento muscular que incluyen valoración de fuerza isométrica mediante la contracción isométrica y la resistencia isotónica. El propósito primordial es determinar la contribución de los cambios en el rendimiento muscular. Por esto, la disminución del tejido muscular se debe calcular con la ayuda de un

dispositivo de presión de piernas. En este sentido, es necesario evaluar la pérdida muscular, por lo que es importante realizar pruebas somatométricas que incluyan mediciones del perímetro del brazo y de las piernas.

Otra afección común es la disminución del volumen plasmático, debido al reacomodamiento de líquidos por la exposición a la microgravedad, y por la acelerada filtración glomerular. Este volumen de plasma sanguíneo se debe medir para determinar los cambios en el volumen, y se determina con la obtención de una muestra de sangre.

Coherentemente dichos padecimientos son capaces de causar deterioro de la integridad tisular relacionado, entre otras cosas, con el déficit nutricional y de volumen de líquidos el cual es manifestado por la disminución del tejido muscular. Debido a la disminución del volumen plasmático es característico que el astronauta curse por un déficit de volumen de líquidos relacionado con los efectos anatómicos causados por la microgravedad, manifestado por los elementos comprendidos en las muestras sanguíneas. Finalmente, la autopercepción del estado alimentario del astronauta lo lleva a la disposición para mejorar la nutrición manifestado por un interés de seguir un estándar apropiado para el aporte nutricional.

La actuación de enfermería se dirigirá a proporcionar y fomentar una dieta alimentaria encaminada al mejoramiento y restablecimiento de la masa muscular, ayudando al astronauta a determinar las directrices alimentarias más adecuadas para satisfacer los requerimientos nutricionales en la Tierra. En cuanto a las necesidades nutricionales, se requiere la actuación mediata para mantener el equilibrio de líquidos y así lograr prevenir las complicaciones derivadas de los niveles de líquidos anormales. Esto se puede lograr con la vigilancia del estado de hidratación corporal. Finalmente, el acompañamiento del profesional de Enfermería en el fortalecimiento al astronauta beneficiaría la autopercepción para el mejoramiento nutricional.

Otra terapia benéfica para la restitución de la fuerza muscular y del control motriz fino consiste en una prueba manual de destreza mediante un tablero con 25 agujeros ranurados con una configuración aleatoria de formas. El sujeto debe insertar las formas en el lugar adecuado con rapidez y precisión. Al mismo tiempo que se mejora la acción motora fina, sirve para la evaluación neurossensorial.

A partir del manejo de la nutrición en condiciones terrestres, las evaluaciones de bienestar estarán reflejadas en la restitución estructural y funcional de la fisiología del tejido muscular. El mejoramiento en las constantes vitales (principalmente tensión arterial y pulso) denotará la restitución del equilibrio hídrico en el organismo. De igual forma, la repartición homogénea del líquido corporal es un buen indicador de mejoramiento. En cuanto a la mejora de la autopercepción, el indicativo principal serán las acciones personales que fomenten el bienestar y la rehabilitación nutricional óptima.

Por esto, el perfeccionamiento de las intervenciones de enfermería se complementa con la propuesta de planes de cuidado estandarizados y orientados a las condiciones del astronauta. La actuación del experto en salud sirve para apoyar y ayudar en las necesidades afectadas, fomentando la relación terapéutica con el astronauta.

El astronauta y la necesidad de eliminación en el espacio

Actualmente la capacidad de eliminación de desechos en microgravedad representa un reto durante las misiones espaciales. En este capítulo abordaremos los sistemas higiénicos de eliminación biológica a bordo de la nave espacial. Revisaremos la relación y diferencias entre la eliminación humana y los sistemas de recolección incluidos en la nave espacial. Asimismo detallaremos la ingeniería en los sistemas que soportan esta necesidad en el espacio, como los extractores de materia fecal o la máquina recicladora de orina. Finalmente ahondaremos en las acciones prácticas de los expertos clínicos de enfermería en torno a los tres momentos del viaje espacial, con particular énfasis en las etapas de atención clínica de cuidados en astronautas.

Procesos de excreción orgánica

Dentro del modelo aquí propuesto, la eliminación es una necesidad humana básica que pertenece al campo biológico. Ésta se define como las acciones que realiza el organismo para llevar a cabo la excreción y eliminación de desechos y toxinas que derivan del metabolismo celular. La salud del ser humano se mantiene en equilibrio homeostático gracias al aporte nutricional y a la capacidad individual para desechar los tóxicos.¹⁷⁶

Hay diferentes vías de eliminación corporal y cada una cumple con una tarea precisa. Específicamente hablaremos de cuatro formas esenciales: la *orina*, que incluye gran parte de los productos nitrogenados del proceso metabólico celular y es necesaria para la regulación electrolítica y de los líquidos del cuerpo. La *deyección*, que es el producto final de la digestión, la cual permite la eliminación de iones y del resto de los componentes que no fueron digeridos. La *menstruación*, considerada vía de eliminación por el desprendimiento de un óvulo maduro no fecundado junto con una cantidad de sangre que acompaña este proceso. Y finalmente, las *pérdidas insensibles*, que comprende: el vapor de agua eliminado durante la exhalación, el sudor de la piel, las lágrimas y la pérdida de líquidos ocasionada por la diferencia de temperaturas entre la corporal y la ambiental. Si alguna de las vías de eliminación no funciona adecuadamente, independiente de la etiología que lo ocasione, estaremos ante una alteración en el proceso de eliminación. La emesis no será considerada como un desecho metabólico.

Para llevar a cabo el cumplimiento de esta necesidad, la participación de enfermería se debe realizar con un enfoque holístico que contemple factores biológicos, psicológicos y socioculturales, además del género, edad, alimentación, condición general de salud y el entorno físico de la persona, entre otros factores. La valoración de enfermería va encaminada a la evaluación del adecuado funcionamiento de estas vías de excreción, determinando su cumplimiento a través de una valoración general, anamnesis orientada y el método clínico. La planificación de los cuidados, como es tarea de enfermería, prevé, cuida y mantiene el bienestar de la persona.

En el ambiente espacial, la microgravedad cambia las condiciones para llevar a cabo la eliminación tal y como habitualmente se realiza en la Tierra. Por una parte, la gravedad disminuida no permite que los elementos excretados “caigan” como una consecuencia natural de la fuerza gravitatoria lo cual complica la micción y deyección. En cuanto al ciclo menstrual, éste puede ser hormonalmente interrumpido antes de comenzar la misión. Finalmente, con respecto a las pérdidas insensibles, suele ser difícil cuantificarlas pues en el ambiente aeroespacial hay diversos factores que lo modifican y complican este cálculo.

Resulta indispensable que se realice una valoración de la condición de excreción de los astronautas, y ésta puede ser abordada desde la perspectiva de cuidados de enfermería, para que así forme parte del examen rutinario de los astronautas en los tres tiempos esenciales: antes, durante y después de la misión espacial.

Evolución de los sistemas de eliminación en la astronave

La supervivencia de los tripulantes en las misiones espaciales ha sido un reto que se ha logrado a través de los avances tecnológicos que posibilitan que el astronauta consiga vivir en un espacio incompatible para el ser humano. Estos avances contemplan las distintas acciones orgánicas que el ser vivo efectúa cotidianamente. En este sentido, las mejoras para el cumplimiento de las necesidades fisiológicas se observan en la adaptación de medios que permiten que el viajero satisfaga demandas orgánicas. La labor higiénica es un claro ejemplo de los requerimientos biológicos del astronauta, y siendo más específico, la eliminación.

La eliminación de residuos metabólicos sigue siendo un aspecto complicado durante los viajes espaciales tripulados. Idealmente se requiere que la nave espacial esté condicionada con un sistema de manejo de desechos que permita eliminar los residuos corporales y la recolección, e incluso reciclaje, como comúnmente se lleva a cabo en la Tierra. La recolección terrestre de desechos corporales, se facilita con la fuerza gravitatoria y el agua que permite una descarga del sanitario, elementos que carecen en el entorno espacial. Sólo por mencionar una de las principales complicaciones: la microgravedad y la resistencia capilar dificultan la separación de la materia fecal del cuerpo humano. Si no hay una adecuada captación de estos desechos, se producen condiciones antihigiénicas que desencadenan la propagación de microorganismos bacterianos.

Actualmente, las naves espaciales incluyen un mecanismo para el tratamiento y control de los desperdicios orgánicos. El primer reto fue diseñar un sistema para el manejo de residuos, mismo que cumpliera con el tamaño, peso y potencia dentro de los límites en sistemas espaciales y que además resulte funcional en microgravedad. La construcción y la tecnología han sido cambiantes a lo largo de los vuelos, por esto, durante la mayoría de las misiones espaciales se ha podido adaptar un sistema de recogida de residuos metabólicos humanos¹⁷⁷ (*Waste collection system* o *Waste management system*) [Figura 7.1]. A pesar de que estructuralmente éstos varían en cada misión, el objetivo esencial es el mismo: la eliminación de los desechos orgánicos.¹⁷⁸ Aunque no pareciera tan trascendental, este medio de recolección es necesario para el bienestar de los astronautas y el cumplimiento de los sistemas de soporte de vida ambiental en el espacio. La función esencial del colector es la recopilación de orina, residuos menstruales y desechos fecales.

En gran mayoría, las primeras misiones espaciales fueron tripuladas por hombres. Estos viajes se desarrollaron en lapsos cortos y por lo tanto no era necesario adaptar mecanismos de recolección, incluso los astronautas, durante la misión, en ningún momento dejaban de utilizar su traje presurizado. En caso de ser requerido, esta indumentaria incluía un íntimo mecanismo de contacto para la recolección de orina, el cual era un dispositivo simple adaptado en un calzoncillo. A pesar de su diseño tan básico, llegó a documentarse alguna fuga inesperada durante el vuelo. Un avance que se obtuvo en este diseño fue la adaptación de una bolsa de



FIGURA 7.1.

Waste Collection System (Sistema de recolección de residuos) a bordo de la Estación Espacial Internacional. Logo del sanitario espacial.

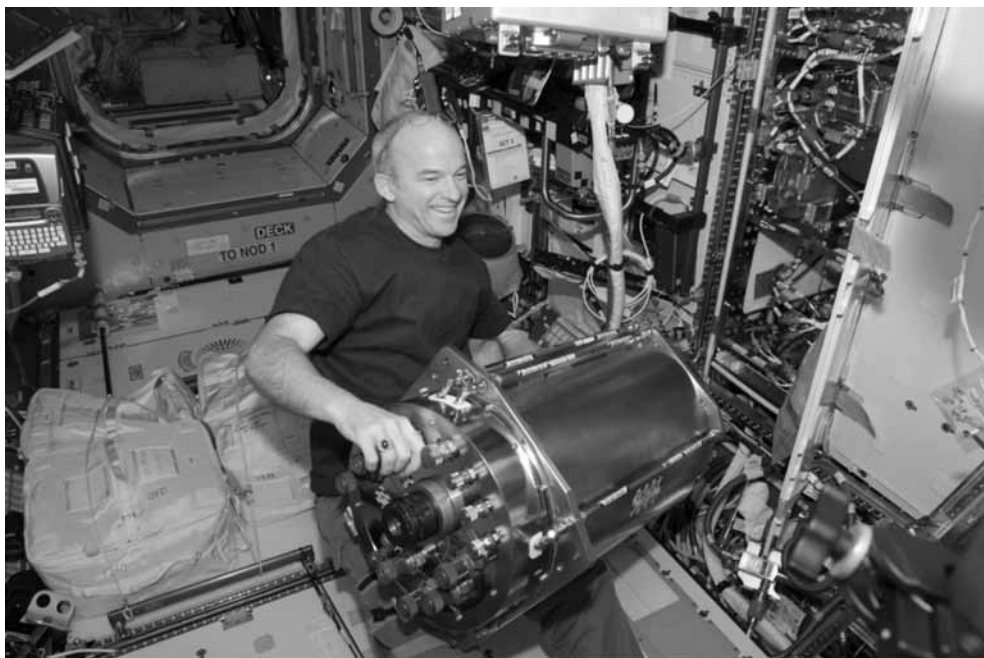


FIGURA 7.2.

El astronauta Jeff Williams instalando un filtro en el *Urine Processing Assembly* a bordo de la EEI.

almacenamiento externa acoplada con una jeringa manual que facilitaba la extracción y recolección urinaria para el debido análisis en Tierra.¹⁷⁹

Entre los años 1964 y 1975 los viajes espaciales implicaron mayor tiempo de exploración y estancia en entornos de microgravedad. Por esto se mejoró la recolección urinaria con la implementación de un sistema de transferencia de orina (*Urine Transfer System*) que vertía el residuo en un receptáculo (*Urine Receptacle Assembly*)^{180,181} sin necesidad de realizar contacto. Este recipiente era un cilindro de mano, mismo que era conectado al sistema de ventilación, vacío y drenado.

Otro efecto de la estancia prolongada fue que el organismo del astronauta contaba con el tiempo suficiente para concretar procesos digestivos, lo que volvió necesario desarrollar una forma de recolección fecal.¹⁸² En esos años se implementó la "*bolsa fecal*"¹⁸³ cuyo material predominante era el nailon-polietileno no permeable. Su diseño fue básico: una bolsa que en el extremo abierto tenía un anillo adhesivo (para su mejor entendimiento, ésta era muy parecida a una bolsa para colostomía), el cual se adhería al cuerpo del astronauta y con la ayuda de un protector de látex para los dedos, la excreción se separaba manualmente. Las

bacterias contenidas se neutralizaban con un potente bactericida. Finalmente, la bolsa se enrollaba, sellaba y se colocaba dentro de una segunda bolsa. Según varios tripulantes este sistema de recolección fecal fue descrito como “muy desagradable”, inclusive algunos comentaban que la experiencia era tan incómoda que se preferían las contramedidas previas al vuelo para minimizar o detener la deyección durante la misión. Sin embargo, a la fecha, se siguen enviando estas bolsas como dispositivos de emergencia.

Durante los siguientes años, en la era de los transbordadores espaciales, se innovó en el sistema de recolección de desechos. Se incluyó el mecanismo de colección urinaria y fecal para mujeres y hombres.¹⁸⁴ Ahora este sistema estaba alojado en una de las paredes de la nave, no obstante, al final de cada misión debía ser desmontado para su limpieza y desinfección. En cuanto a la eliminación urinaria, ésta era arrastrada por el flujo de aire en un embudo. Este aire se redirigía a un filtro de olores y bacterias y a través de un filtro de membrana era devuelto a la cabina. El desecho de la micción era llevado a un tanque de residuos para su ventilación y desecho. Por otro lado, los desperdicios fecales, mediante el flujo de aire, eran arrastrados debajo del asiento y confinados en un tanque, el cual se sellaba y se exponía al vacío para deshidratar las heces y controlar el olor. Este sistema utilizaba controles manuales como válvulas debajo del asiento para sellar el tanque. El gran inconveniente de esta estructura era la dificultad para situarse sobre el orificio del baño, lo que podía ocasionar condiciones poco higiénicas. Otra desventaja fue la recolección de las toallitas limpiadoras, pues se juntaban en bolsas de basura que se convertían en un foco infeccioso.

Actualmente la unidad de recolección de desechos mantiene un diseño similar al que se utilizó en la era de los transbordadores. El arrastre de los residuos tiene ligeras diferencias. Se conserva el concepto de vacío para la recolección de heces y orina, el cual proporciona un flujo de aire más consistente y disminuye la potencia eléctrica. La recopilación de orina se lleva a cabo con un medio de succión,¹⁸⁵ regulado por una válvula, y esta es reciclada en un procesador de orina (*Urine Processing Assembly*) para que más adelante se convierta en agua potable¹⁸⁶ (Figura 7.2). En cuanto a la recolección fecal, funciona con el mismo principio de succión. Se logró la implementación de asientos contorneados que brindan mayor ergonomía entre el cuerpo del astronauta y el mecanismo de recolección. El avance en el procesamiento y eliminación de los desechos metabólicos se traduce en un mayor estado de bienestar y sanidad dentro de las naves espaciales. Estos mecanismos han sido actores principales en el proceso para el perfeccionamiento de los sistemas ambientales de soporte vital en el espacio.

Cuidados de enfermería en la necesidad de eliminación Valoración, diagnósticos e intervenciones previos al viaje espacial

La valoración de enfermería, desde el enfoque humanístico que lo caracteriza,

considera las capacidades y afecciones individuales de la persona, para así lograr la satisfacción de las necesidades humanas. Previo al viaje espacial, la evaluación del astronauta se encaminaría al reconocimiento de afecciones que le pudieran incapacitar, asimismo, la realización de intervenciones para el cuidado de la salud para asegurar el cumplimiento de la misión. Se propone la realización de la valoración de enfermería acorde a las vías de eliminación del tripulante: urinaria, por deyección, menstruación y pérdidas insensibles. A continuación, se revisa cada una de ellas.

El sistema genitourinario está compuesto por un conjunto de órganos cuya funcionalidad varía con respecto a la actividad vascular, hormonal, barométrica y traumática, mismas que influyen en el mecanismo general del cuerpo. Este complejo aparato se encarga de la regulación hídrica y electrolítica del ser humano, por eso es tan importante el cumplimiento de esta necesidad en el astronauta. El sistema puede presentar una diversa gama de patologías que deben ser valoradas previo al vuelo espacial, por lo que se propone la colaboración activa del profesional de Enfermería.

La primera fase de la valoración, la recogida de datos, debería incluir una entrevista focalizada que reúna datos sobre los padecimientos renales y/o genitourinarios más comunes, y que pudieran resultar incapacitantes para la misión, tomando en cuenta si estas enfermedades pueden, o no, interferir con el cumplimiento de sus ocupaciones espaciales. En caso de sufrir secuelas patológicas o quirúrgicas en riñones o en vías genitourinarias, los viajeros podrían ser considerados como no aptos para la misión, siempre que sea probable que esto interfiera con las actividades a bordo de la nave.¹⁸⁷ Por otra parte, a partir del criterio y juicio clínico del personal de salud, se debe prestar atención a las enfermedades urológicas y genitourinarias recientes, pues estos parámetros solamente considerarían al astronauta con una disminución en la aptitud física, esto hasta que el individuo logre sanar.

Continuando con la recogida de información, también se contempla incluir pruebas de laboratorio complementarias para la evaluación inicial. Se distinguen los siguientes estudios: el examen general de orina (EGO), del cual se analizan diversos elementos como la apariencia, potencial de hidrógeno (pH), densidad, proteínas, glucosa, cetonas, hematuria, bilirrubina, urobilinógeno, leucocituria y nitritos, el reconocimiento macroscópico de glóbulos rojos, piocitos, leucocitos, células tubulares, células escamosas, bacterias, cristales y otros elementos. Dentro de estos elementos macroscópicos, se destaca la presencia de proteína en la orina¹⁸⁸ pues ésta revelaría una enfermedad renal, aunque en algunas ocasiones puede ser una manifestación secundaria a una sobrecarga renal de las proteínas filtradas lo que ocasiona una incapacitación de la reabsorción tubular.

A partir de la valoración inicial, se obtendrían elementos para confirmar posibles patologías latentes. A continuación, se presentan brevemente los padecimientos genitourinarios más frecuentes que pudieran impedir que el astronauta sea considerado apto para la navegación espacial:

La enfermedad genitourinaria más común es la litiasis renal¹⁸⁹ cuya incidencia poblacional va de los 30 a 50 años.¹⁹⁰ Ésta surge en cualquier punto a lo largo del tracto urinario. Normalmente un cálculo pequeño y redondeado podría ser eliminado sin causar mayor relevancia, sin embargo, el tránsito de un lito mayor de 5 mm resulta evidentemente peligroso para el astronauta pues la sintomatología (dolor agudo, náusea, diaforesis, irritación e inflamación del tracto urinario) puede ocasionar una intervención quirúrgica de urgencia que evidentemente es improbable realizar en microgravedad. Durante la evaluación se prestaría atención a la sintomatología: dolor incapacitante en el costado del abdomen, en los testículos y en la ingle; movimiento hiperperistáltico agudo por la obstrucción del uréter; espasmos de los músculos lisos del uréter y distensión abdominal. Algunas veces el dolor se puede confundir con apendicitis o diverticulitis, sin embargo, el profesional de Enfermería puede discernir de estos diagnósticos a través del criterio clínico. Para descartar este padecimiento se complementarían los datos obtenidos al realizar un examen urológico a profundidad pues la evaluación de aptitud depende de las diversas manifestaciones sintomatológicas y, por lo tanto, disminuir la posibilidad para llevar a cabo la misión espacial.

Otra enfermedad común es la hematuria macroscópica de causa urológica.¹⁹¹ Tiene prevalencia entre los adultos jóvenes varones. La presencia de restos sanguíneos suele provenir de la uretra o de la próstata y se considera predecesor de lesiones recientes. Habitualmente puede ser valorable y diagnosticada a través de la inspección del EGO, pero para confirmar esta afección es necesario una valoración del árbol urinario alto y bajo que se realiza mediante estudios radiográficos como medios de contraste, urografía intravenosa, ultrasonografía, tomografía computada o resonancia magnética. Aunque a simple vista la hematuria no presenta una dificultad para la navegación aeroespacial, es necesario considerar que puede desencadenar otras enfermedades subyacentes, por lo que es necesario propiciar un examen a profundidad para determinar la posibilidad del astronauta para la misión.

Otra patología usual del tracto genitourinario es la infección de vías urinarias (IVU).¹⁹² Según su clasificación (complicadas o no complicadas) para un diagnóstico certero se procedería a realizar un examen urológico que facilite la detección etiológica. Dependiendo la ubicación, tiempo de contagio y bacteria, esta infección puede provocar la inhabilitación del viajero espacial pues es posible que logre desencadenar una obstrucción urinaria que necesite intervención de urgencia. En caso que el astronauta presente alguna infección aguda durante una fecha cercana al despegue, necesitará un tratamiento prolongado e inhibidor. En mayor o menor grado, una infección urinaria podría contaminar la orina reciclada y filtrada en los sistemas de reciclaje, a pesar de las diversas membranas de filtrado, por esto se considera una enfermedad incapacitante para el vuelo.

En la tripulación masculina, otra patología que causa inhabilitación para la misión espacial es la presencia de alteraciones dermatológicas, endocrinopatías,

infecciones, problemas vasculares y/o neoplasias en el escroto u órganos ahí contenidos.¹⁹³ Para la evaluación se requiere la aplicación del método clínico. Si durante la inspección se percibiera una posición elevada del teste en el hemiescroto se puede sospechar de torsión o neoplasia maligna, éste se complementaría con la palpación de masas. Toda masa extratesticular puede considerarse benigna, siempre que sea demostrable con pruebas de exploración. Continuando con las técnicas de palpación, sería necesario percibir que las estructuras sean firmes, ovaladas y con consistencia “gomosa”. Si durante la palpación se aplica una presión suave con el dedo índice que provoque invaginación del escroto anterior al testículo y del cordón espermático hasta el anillo inguinal interno, es factible detectar hernias escrotales. Por otra parte, la torsión testicular aparece como un retorcimiento de los testes sobre el cordón espermático lo que conlleva al infarto testicular, esta urgencia requiere una evaluación urológica inmediata cuyos datos característicos son la inflamación aguda, dolor repentino y elevación del teste dentro del hemiescroto. Estas enfermedades escrotales, dada la sintomatología y la urgencia, impiden las funciones aeroespaciales y pueden ocasionar incapacidad aguda durante la misión, lo que se traduce en la alteración de otras necesidades.

En cuanto a la deyección de los desechos de la digestión, la valoración semiológica compone el eslabón esencial para determinar la aptitud del astronauta. Inicialmente se llevaría a cabo la anamnesis, en la cual se deben considerar las condiciones mínimas de capacidad física que atañen a la eliminación fecal. Es necesario que la historia clínica sea dirigida a la presencia de anormalidades o discapacidades del tracto digestivo, pues esto le hace susceptible a presentar alguna deficiencia funcional que le impida la operación segura de la misión espacial y por lo tanto interfiere con el desempeño de sus funciones.

Por consideración general, se establece que los astronautas que presentan disfunciones del tubo digestivo como hernias, secuelas de enfermedades y/o intervenciones quirúrgicas previas, serán considerados como incapaces de realizar el viaje espacial. Se tiene en cuenta que todo padecimiento que ocasione dolor abdominal agudo en el desempeño de funciones aeroespaciales, será considerado como una disminución de la aptitud psicofísica. La valoración gastrointestinal debe estar enfocada a las patologías más comunes: gastritis, úlcera péptica, reflujo gastroesofágico, pancreatitis, síndrome de intestino irritable, colitis y hernias.

Para realizar la evaluación abdominal por método clínico, se requiere que, idealmente, la persona esté en decúbito supino. Iniciando con la inspección, se exploraría el abdomen, tomando en cuenta la forma, simetría, volumen, movimientos inspiratorios y espiratorios, condición general de la piel, hidratación y tumefacciones. Durante la auscultación abdominal, se pondría atención en la detección de los ruidos peristálticos normales. Este ruido intestinal es grave, arrítmico, crepitante, con una intensidad variable y sin relación con la frecuencia respiratoria. Es necesario prestar atención a esto pues durante el viaje espacial hay riesgo de presentar estreñimiento

o diarrea. Al llevar a cabo la palpación se prestaría singular atención al reflejo doloroso agudo, apreciación de masas anormales, inflamación, signo de rebote, signo de Murphy, palpación del hígado, bazo, riñones, colon, vejiga, páncreas, etc.¹⁹⁴

Las alteraciones en los procesos de eliminación menstrual en un entorno de microgravedad, se mantuvieron como un enigma en los inicios de la navegación aeroespacial. En las primeras misiones al espacio, donde la tripulación estaba compuesta por hombres y mujeres, no era necesario incluir sistemas de recolección menstrual pues se optaba por la medicación con anticonceptivos que retrasaban el ciclo ovulatorio de las tripulantes. Esto era posible y benéfico porque los viajes duraban un corto tiempo, sin embargo, con la estancia prolongada fue necesario implementar medios de eliminación de desechos. Actualmente, a partir de las investigaciones científicas, se conoce más sobre estas reacciones.

Para realizar la valoración de la eliminación menstrual es necesario estar familiarizado con las características propias, tomando en cuenta factores psicológicos, socioculturales y biológicos. Actualmente se realizan evaluaciones previas al vuelo que demuestran la respuesta personal al ciclo menstrual, para así verificar la utilización de antiinflamatorios no esteroides (AINE) que disminuyan el dolor premenstrual. Esta valoración se realiza meses antes del vuelo para conocer si el dolor causa trastornos incapacitantes o la sospecha de una patología subyacente. En el otro extremo, también se realizan evaluaciones para la utilización de anticonceptivos orales, los cuales son permitidos en la navegación espacial.

Algunas afecciones típicas en las tripulantes son: dismenorrea que puede ocasionar desde incomodidad leve hasta una dolencia abdominal intensa, dolor de cabeza, náusea, vómito, mareo, fatiga, entre otros síntomas. En consideración con los factores particulares, estos síntomas comienzan de 24 a 48 hrs previas a la menstruación, sin embargo, esto no presenta ningún riesgo que comprometa la misión espacial. Otra afección es el síndrome de tensión premenstrual que produce síntomas psíquicos como cambios de humor, ansiedad y depresión y cambios físicos que incluyen hinchazón, cefalea y dificultad en la coordinación. Esto tampoco amerita la incapacitación de la tripulante.¹⁹⁵

Finalmente, se revisan las pérdidas insensibles del astronauta. Esta forma circunstancial de eliminación hídrica es una pérdida difícil de cuantificar y habitualmente pasa de forma inadvertida. Previo al vuelo la valoración debe ser orientada a los medios de eliminación de agua y electrolitos, es decir, a través de la exhalación y la piel. Su funcionamiento se puede poner a prueba mediante exámenes que alteren, de manera controlada, la temperatura corporal. Esto incluye ejercicios, exposición a frío y calor para conocer la resistencia, simulación de un ambiente espacial utilizando cabinas especiales, entre otros. El cálculo en Tierra de esta vía de eliminación puede ser a través de las siguientes fórmulas:

Normotérmico:

(Peso en kg x 0.5) (No. horas valorado)

Febrícula:

(Peso en kg x 0.75) (No. horas valorado)

Fiebre:

(Peso en kg x 1.0) (No. Horas valorado)

Es imprescindible que se tome en cuenta diversos factores individuales que podrían alterar este valor, como la tasa metabólica, la capacidad personal de respuesta a la termorregulación y el estado hídrico y nutricional.

Resulta necesaria la valoración de enfermería para preservar la capacidad normal de eliminación orgánica, lo que se traduce en un cumplimiento exitoso de la encomienda espacial. El criterio clínico del profesional en salud determinaría la posibilidad de que el tripulante continúe con la misión espacial.

Por lo antes expuesto, el establecimiento de diagnósticos de enfermería previos a la navegación aeroespacial estaría encaminado a la capacitancia para realizar el viaje. Si el tripulante llegase a padecer alguna de las enfermedades antes vistas, los cuidados y autocuidados en conjunto favorecerán a la disposición para mejorar la gestión de la propia salud manifestado por el manejo de la enfermedad y la elección apropiada para satisfacer los tratamientos prescritos. Esto conlleva un patrón en la integración habitual para adoptar un régimen terapéutico para el tratamiento de cualquiera de las enfermedades relacionadas con la eliminación y así alcanzar los objetivos de mejoramiento de la salud y su reforzamiento. Además, hay que mencionar que es posible que el astronauta presente un riesgo de síndrome de estrés del traslado relacionado con el deterioro del estado de salud gastrointestinal o genitourinario causado por el viaje al espacio. Esto sucede ocasionalmente cuando hay peligro de sufrir un trastorno fisiológico y/o psicológico debido al cambio de condiciones durante la misión.

La participación asistencial y de compañía que debe poner en marcha el profesional de Enfermería como coadyuvante del mejoramiento de la salud del astronauta, debiese estar encaminada a brindar educación para la salud desarrollando y proporcionando instrucción terapéutica que facilite la adaptación de conductas que consigan mejorar la salud del individuo. Para auxiliarse puede resultar inminente que se identifiquen factores internos y externos que logren mejorar la autodisposición para una actuación saludable. Por lo que se refiere a la tensión ocasionada por el traslado, la mejor participación de enfermería se orientaría a brindar ayuda al individuo para su preparación y afrontamiento del traslado a un ambiente de microgravedad, logrando así controlar signos y síntomas fisiológicos y psicológicos generados previo al viaje.

Para conocer el grado de cumplimiento de las intervenciones realizadas, algunos indicadores facilitan la evaluación de los resultados. Con respecto al acompañamiento en la mejora de la propia salud, el astronauta podría demostrar acciones personales para seguir la terapéutica y mejorar la condición de salud específica, como analizar y realizar el tratamiento prescrito por el profesional sanitario. En relación

con la intervención al síndrome de traslado, un indicativo veraz, sería la respuesta conductual adaptativa del viajero, mismo que reconoce las condiciones y cambios de entorno a los que deberá acostumbrarse.

La atención de enfermería previa al vuelo es adecuadamente compatible con los planes de cuidado y atención que pueden lograr mejorar el afrontamiento del astronauta ante los cambios anatómicos y fisiológicos a los que se enfrentará.

Valoración, diagnósticos e intervenciones a bordo de la nave espacial

Como se ha visto en apartados anteriores, la disminución de la fuerza gravitacional en el espacio, misma a la que el astronauta no está del todo aclimatado, ocasiona diversas alteraciones anatómicas. En consonancia con esto, la fisiología que interviene en los patrones de eliminación también sufre cambios que pueden comprometer la misión. Por esto se propone que la valoración de enfermería se añada a los cuidados integrales del astronauta a bordo de la nave, y se sugiere dar seguimiento a la evaluación de las cuatro vías principales de eliminación, mismas que se detallan a continuación.

Durante el viaje, la nutrición de los tripulantes es esencial para compensar las deficiencias anatómicas y metabólicas que se presentan a lo largo del viaje. Uno de los requerimientos nutritivos es la compensación de electrolitos que, en distinta medida, controlan las modificaciones fisiológicas del astronauta. En el caso específico del calcio, éste participa en la formación estructural de dientes y huesos, sin embargo, durante la misión hay diversos cambios en los parámetros normales. El calcio en el organismo se regula principalmente por la absorción en el intestino, la absorción en el riñón y la entrada y salida a través de los huesos. Estos procesos se ven influenciados por hormonas reguladoras y vitamina D. Ahora bien, la deficiencia de esta vitamina, la pérdida en la densidad mineral ósea y los mecanismos reguladores alteran los niveles de calcio, y al ser filtrado y eliminado por vía renal, desencadena uno de los principales trastornos en la eliminación urinaria: litos renales.

Un alto porcentaje de los litos (cálculos) renales está formado por depósitos de calcio, no obstante, otros factores como la alcalinidad en la orina, la visible reducción del volumen urinario, la concentración de otros elementos como magnesio, potasio y fósforo y las concentraciones de compuestos orgánicos como ácido úrico, citrato y oxalato, son causas para que los cálculos renales se conformen con mayor facilidad.¹⁹⁶ Aunque la probabilidad de formación de litos durante una misión espacial tiene un porcentaje medio, si ésta llegase a presentarse y, por lo tanto, obstruir el tracto urinario, se puede desencadenar dolor agudo y predisponer a una infección urinaria que resulta incapacitante y catastrófica para la función del astronauta y peligroso para la misión. Para valorar probables deterioros en la eliminación urinaria, se propone la incorporación presencial del profesional de Enfermería a bordo de la nave, o en su defecto con ayuda de la tecnología para la atención a distancia, quien conoce la sintomatología común de una nefrolitiasis:

dolor severo o leve que obedece la localización del lito, si éste obstruye el flujo de la orina o si se mueve a través del uréter determinará si el dolor es localizable en la espalda, en el abdomen o en la ingle; náusea y vómito; polaquiuria y hematuria. Siguiendo la aplicación del método clínico, durante la palpación se podría encontrar abdomen globoso e inflamado y ante la percusión, presencia de dolor abdominal. Para acompañar el análisis clínico, ciertos estudios como ultrasonido o rayos X pueden confirmar la existencia de cálculos. Si este lito renal no se trata a tiempo podría evolucionar a una infección renal por obstrucción. Dentro de los problemas sanitarios con mayor incidencia durante el vuelo espacial, la infección de tracto genitourinario está entre los primeros 15 más comunes.

Referente a las alteraciones en la eliminación fecal, la disminución de la gravedad altera la anatomía y fisiología gastrointestinales, así, por mencionar un ejemplo, la remodelación del tórax, sumado a la elevación del diafragma, provoca que las vísceras sufran un desplazamiento de 5 cm en dirección cefálica.¹⁹⁷ Aunado a esto, hay cambios en la actividad enzimática, la integridad de la mucosa intestinal y la microflora del colon. Indiscutiblemente, un entorno con gravedad disminuida altera la homeostasis intestinal. En la actualidad diversos estudios investigan cómo la microgravedad influye en la funcionalidad de enzimas involucradas con la digestión y absorción a lo largo del tubo digestivo. Algunos astronautas refieren que la adaptación digestiva es lenta pues toma algún tiempo para sentir hambre. En repetidas ocasiones, los tripulantes conciben una sensación de tener la comida “flotando” en el estómago por lo que no hay percepción de “estómago vacío”, esto sucede hasta que la musculatura gastropilórica se adapta a empujar la comida hacia el intestino delgado. Asimismo, los intestinos delgado y grueso tardan algunas semanas para que logren “empujar” los desechos a través del colon. La velocidad de adaptación depende del estado físico y biológico de cada tripulante, sin embargo, es común que los astronautas presenten disminución de la motilidad gastrointestinal, aunque en el otro extremo, también es factible que presenten diarrea.

Por lo tanto, la valoración estaría encaminada a estos padecimientos: comenzando con la anamnesis para saber si hay dolor (y por lo tanto conocer su ubicación), las características esenciales de las deyecciones como color, olor, frecuencia y forma; determinar factores individuales como edad, dieta a bordo de la nave espacial, ingesta de líquidos, actividades, hábitos personales, etc. En la aplicación del método clínico se inicia con la inspección, corroborando el volumen y distensión abdominal, el relieve, la integridad de la piel, el patrón respiratorio y presencia de masas anormales y facies de dolor. Siguiendo con la valoración, la auscultación es un determinante para detectar afecciones del sistema gastrointestinal, para esto se requiere escuchar los ruidos peristálticos: el tono y frecuencia. Si los ruidos son hipoactivos o ausentes probablemente hablemos de una alteración de la motilidad disminuida, por otro lado, si hay hiperperistaltismo podemos indicar probable diarrea. En cuan-

to a la percusión, se aconsejaría realizarla con el método dígito-digital. Los sonidos con matidez indicarán la presencia de masas, órganos abdominales sólidos y/o inadecuado vaciado intestinal. Finalmente, en la palpación se consigue percibir diversas sensaciones al evaluar el abdomen. Para completar la valoración fisiológica, se sugiere realizar otros estudios como el cálculo del tiempo de tránsito intestinal, la manometría anorrectal, electromiografía del suelo pélvico y defecografía.

A través de la historia de la navegación aeroespacial, los estudios de la fisiología de los astronautas en un entorno de microgravedad han estado enfocados en los cambios adaptativos de los viajeros. Sin embargo, pocas investigaciones han sido encaminadas a analizar las diferencias correspondientes al género. Si bien una de las razones es que el número de tripulantes enviados al espacio ha sido predominantemente del género masculino, esto imposibilita la obtención estadística de datos válidos sobre las afecciones en las mujeres astronautas. Sumado a esto, hay ciertas diferencias personales en las respuestas fisiológicas, las cuales suelen ser, en mayor o menor medida, muy relevantes por las características individuales. En consecuencia, el estudio del cumplimiento de la eliminación menstrual ha sido poco indagado durante los viajes espaciales. Los avances en los efectos durante los procesos ginecológicos y reproductivos en el vuelo espacial han sido mejor profundizados con experimentaciones en mamíferos, específicamente con ratas. No obstante, las vivencias individuales de las astronautas permiten conocer más sobre esta vía de eliminación.

Durante el vuelo espacial, no hay reglas que sugieran o prohíban suprimir el ciclo menstrual. Las agencias espaciales internacionales no recomiendan ni proponen algún medio para controlarlo; cada astronauta elige libremente el método que quiera seguir, es decir, supresión menstrual o continuar con su periodo durante la estancia espacial. La consideración práctica y habitual es la supresión farmacológica con anticonceptivos hormonales, por lo tanto, la valoración de enfermería estaría encaminada a la corroboración en la administración de las píldoras anticonceptivas. Para esto se requeriría que el profesional de Enfermería evalúe los factores fisiológicos durante el vuelo, el mecanismo de acción farmacológico y algunas variables individuales que puedan alterar el efecto que se espera del medicamento. Esto se conseguiría aplicando la anamnesis directa en la tripulante, al mismo tiempo que se corroboran los datos necesarios para la ministración del fármaco, por lo que se propone llevar a cabo “5 correctos espaciales”: rectificación de la píldora correcta, dosis correcta, vía correcta, hora correcta, astronauta correcto. En caso contrario, que la astronauta quisiese continuar con el ciclo menstrual regular, existen productos sanitarios a bordo de la nave y las respuestas fisiológicas al dolor podrían ser controladas con AINE. Esta valoración de enfermería se abocaría a la anamnesis personalizada de signos y síntomas “habituales” que pudiera presentar en Tierra. Durante una misión espacial en la EEI, Samantha Cristoforetti comentó: “Personalmente no me gustaría cambiar, por ejemplo, tener que afeitarme la cara cada mañana en la ingravidez” haciendo alusión al rechazo que hizo sobre el control de la menstruación con métodos hormonales.

A la fecha de publicación de este libro, no se ha realizado investigación alguna sobre la eliminación por pérdidas insensibles en un ambiente espacial, sin embargo, esta vía de desecho mantiene relación directa con el equilibrio térmico del astronauta, y no se vincula con los medios térmicos incluidos en la nave espacial. Por eso se puede remitir a la fórmula antes mencionada.

Continuando con la propuesta para la atención de cuidados de enfermería, basada en las probables afecciones de eliminación durante el vuelo espacial, es importante el establecimiento de diagnósticos que den paso al cumplimiento de las necesidades alteradas. Iniciando con la eliminación urinaria, específicamente con la probabilidad de sufrir un proceso infeccioso bacteriano, se podría hablar de un riesgo de infección relacionado con el descenso inmunitario y principalmente por obstrucción del tracto genitourinario. Esta oclusión conllevaría a un deterioro de la eliminación urinaria ocasionando una obstrucción anatómica que tendría manifestaciones de disuria. En cuanto a la diagnosis de la alteración fecal, con respecto a la disminución de la frecuencia normal de la defecación, el astronauta presentaría estreñimiento relacionado con la disminución de la motilidad del tubo digestivo manifestado por cambios en el patrón intestinal y disminución de la frecuencia de defecación. En el otro extremo, padecería diarrea ocasionada por malabsorción manifestada por sonidos intestinales hiperactivos y deposiciones continuas. Las astronautas que eligen la terapia farmacológica que suprime el ciclo menstrual, optarían por un patrón de realización de actividades personales que ayuden a alcanzar los objetivos relacionados con la salud, es decir, mantendrían la disposición para mejorar el autocuidado a bordo de la nave manifestado verbalmente por deseos de mantener el autocuidado y la salud personal.

Los cuidados de enfermería a través de una serie de intervenciones apropiadas ayudarían a contrarrestar el incumplimiento de los patrones de eliminación urinaria, por lo que se estructuraría un plan de intervenciones que incluya la prevención y detección precoz de infecciones en astronautas con riesgo de un proceso infeccioso, esto se obtendría a través de la observación de signos y síntomas que puedan desencadenar una infección en vías urinarias. Con respecto a la disfunción urinaria, la participación de enfermería estaría dirigida al manejo de la eliminación enseñando al paciente a identificar los signos y síntomas de infección del tracto urinario y el proceso que le conlleva.

Mientras tanto, la actuación sanitaria en la disminución de la frecuencia normal de deyecciones, se encaminaría a la instauración y mantenimiento de un patrón regular de evacuación fecal a través del control intestinal monitoreando los ruidos peristálticos y las defecaciones, incluida la frecuencia de éstas. En cuanto a la eliminación fecal continua, es necesario establecer un tratamiento para el manejo de las deyecciones mediante el monitoreo de signos y síntomas de diarrea y optando por técnicas de adaptación que mitiguen estos episodios.

Finalmente, el apoyo en las intervenciones para el mejoramiento de la disposición de autocuidado, apuntaría al incremento de la realización de actividades que ayuden al astronauta a alcanzar los objetivos relacionados con la salud, alentando

la independencia y capacidad personal del paciente para que ejerzan los autocuidados independientes.

Una vez que se llevasen a cabo las intervenciones propuestas, la evaluación del mejoramiento de la necesidad sería cuantificable con el control y medición del riesgo, es decir, aquellas acciones personales que disminuyan y/o eliminen las amenazas para la salud. Con respecto al déficit urinario, un indicador de cumplimiento sería el patrón de eliminación que disminuya de gravemente comprometido a no comprometido. Respecto del estreñimiento la evaluación se encaminaría a reducir la complicación del patrón de eliminación desde grave a no complicado. Lo mismo ocurre con las deyecciones continuas pues el mejor indicador sería el control en la cantidad de las heces, donde la meta es llevarlo a un estado de bienestar. Por último, el autocontrol de los cuidados con respecto al control farmacológico, se evaluaría a partir del mejoramiento en las acciones personales para la gestión de medicamentos, el seguimiento en el tratamiento y la prevención de complicaciones.

El plan de cuidados que puede brindar el profesional de Enfermería durante el vuelo espacial es pertinente para la atención requerida, misma que mejora el cumplimiento de la necesidad de eliminación mientras cursa la misión.

Valoración, diagnósticos e intervenciones al regreso a la Tierra

La readaptación anatómica y fisiológica del astronauta posterior al vuelo espacial requiere la misma atención que las etapas antes revisadas. Es en este punto donde se debe realizar una recolección de datos de los cambios que se sufrieron a lo largo del viaje espacial, con la finalidad de conocer la capacidad de aclimatación a ambientes de microgravedad. Para entender estos cambios es necesario que el equipo de salud que llevó el seguimiento sea el mismo que finalice esta evaluación. Para el cumplimiento de la necesidad de eliminación, se propone sea valorado e interpretado desde la perspectiva de enfermería.

La agencia espacial rusa ha realizado diversos estudios sobre la detección de desechos proteicos en la orina de los cosmonautas que regresan de una misión espacial. Como es bien sabido, los residuos proteicos provienen de la descomposición normal de los tejidos activos como los músculos o huesos. Por otro lado, el ser humano necesita alimentación para obtener energía y autorregular sus procesos metabólicos. Cuando el cuerpo toma lo necesario de los alimentos, el resto lo desecha por la sangre, ésta se filtra en los riñones y los residuos obtenidos se eliminan por la orina. Esta micción se estudia para realizar un análisis de proteomas que permite evaluar la composición total de proteína en orina. Lo que se ha visto durante varias misiones a bordo de la EEI es el elevado número de residuos proteicos debido al mayor esfuerzo del ser humano por la habituación a un entorno no terrestre. En agosto del 2013 después de un estudio hecho por la agencia rusa se encontró que 24.5% de las proteínas provenían de procesos reguladores, 10.8% en organogénesis, 10% en respuestas reguladoras y 9.5% en interacción celular.¹⁹⁸

El incremento o descenso de los niveles de proteína tisular específica en la eliminación urinaria, reveló la complejidad del proceso de penetración de diferentes proteínas en la orina. El origen de esto puede ser la diferencia en la expresión de proteínas en distintos tejidos que conllevan una concentración proteica distinta que es filtrada por los riñones y a su vez eliminada por la orina.

Por lo que se refiere a la necesidad de eliminación fecal después del viaje espacial, no hay gran evidencia de cambios negativos en el sistema gastrointestinal, al contrario, los tripulantes logran recuperar la masa y peso que tenían previo al vuelo. La única excepción son las náuseas cuya causa indudablemente es la readaptación terrestre. Anatómicamente hay un reacomodamiento de las vísceras y la motilidad intestinal regresa a su condición habitual. Por esto es pertinente que el profesional de Enfermería realice una revaloración semiológica de la condición gastrointestinal y por lo tanto de la habituación en la deyección.

Como se dijo anteriormente, las variaciones en el ciclo menstrual tienen transformaciones que dependen de la elección particular. En este sentido, las alteraciones posteriores al vuelo son mínimas y valorables como cualquier terapia farmacológica de inhibición del periodo menstrual de las astronautas. Por otro lado, se deben atender los probables efectos ocasionados por la radiación cósmica. La mayor preocupación para las y los astronautas tiene que ver con los niveles de exposición a la radiación a las que están expuestos durante un largo periodo, lo que puede representar un problema de infertilidad masculina y una disminuida probabilidad a la mujer cuya estructura ovárica es más resistente. Sin embargo, el efecto de la radiación espacial en los cromosomas de los ovocitos resulta de considerable importancia para las mujeres que desean futuros embarazos. Las astronautas están en mayor riesgo a corto plazo del daño a los gametos. Si el propósito de los viajes espaciales se sigue extendiendo hasta la colonización de otros planetas, este hecho inhabilitaría la capacidad de fecundidad y embarazo.^{199,200}

El Consejo Nacional de Protección contra las radiaciones y mediciones en EU limita la exposición a la radiación a 500 rem* durante el embarazo, es decir, alrededor de 50 rem al mes. Durante una misión en la EEI la exposición a la radiación, aunque varía con la altitud, el ciclo solar y la localización, es muy peligrosa y durante 9 meses se podría hablar de 10 500 a 36 000 rem. Por esto, posterior al vuelo se realiza una evaluación de la radiación a la que se estuvo expuesto y por lo tanto de las probables afecciones en ovarios y útero.

Es pertinente que se incluya la participación de enfermería para brindar los cuidados que benefician a los astronautas, y así, llevar a cabo el cumplimiento de la necesidad de eliminación en el espacio. Un plan de atención y cuidados complementaría las valoraciones que actualmente se llevan a cabo y coadyuvaría a la salud de los tripulantes.

[* rem es la unidad de medición de exposición a la radiación.]

Movimiento y postura en entorno de microgravedad

Probablemente la necesidad de movilidad y mantenimiento postural sea el principal riesgo para los astronautas en el espacio y a su regreso, por eso, en este capítulo conoceremos de manera complementaria los principios de fisiología espacial sobre el sistema osteomioarticular, la implicación del rol del enfermero y los cuidados clínicos a esta necesidad, los principios físicos que tienen injerencia en la etiología de las patologías musculares u óseas, describiremos algunas pruebas usadas en los programas de la NASA, en los que se imitan las condiciones fisiológicas espaciales y cómo estas experimentaciones se correlacionan con estados patológicos terrestres y abren un horizonte de intervención a bordo de la nave espacial, de planificación previa al viaje y de rehabilitación a su regreso a la Tierra. Conoceremos los equipos actuales de ingeniería especializada para el cuidado de esta necesidad, como ajustarlo a un plan de cuidados y cuál es su importancia clínica.

Dinámicas cinemáticas osteomioarticulares

Movilidad y postura es la cuarta necesidad aquí descrita, y esta corresponde al dominio de las necesidades orgánicas, ya que corresponde al sistema muscular, esquelético y articular. Este sistema denominado SOMA, que sirve para dar estructura y soporte corporal, se verá afectado críticamente durante el desarrollo de la vida, de la infancia a la vejez, con los procesos fisiológicos propios de la formación y deterioro, estos son estudiados por la medicina desde muy cerca, y en el espacio por la medicina del deporte, la enfermería, la fisioterapia y debido a las múltiples afecciones ahora por la Medicina espacial, lo que implica una revisión de la enfermería para comprender y establecer medidas de cuidado a este sistema.

La formación de huesos y músculos son resultado de la prolongada exposición de la fuerza gravitacional terrestre (1G) y los ejercicios de resistencia osteomuscular durante toda la vida. Esta formación está constituida por la replicación celular de calcio y proteínas provenientes de la nutrición, pero en microgravedad la disminución a la exposición gravitacional acarrea disminución en el volumen, fuerza y masa en el músculo, además en el hueso existe una acentuada pérdida de calcio y minerales de donde proviene su fuerza y densidad ósea, independientemente del grado de ingesta

de estos nutrientes. Ante esta experimentación en afecciones nocivas de ambientes de microgravedad que deterioran los músculos y huesos durante el vuelo, la ciencia de los cuidados médicos se ha planteado las estrategias para atender cuestiones como, si es permanente o reversible, si existe la capacidad orgánica para sustentar viajes largos o colonizaciones extraterrestres, como es el caso del proyecto "*Journey to Mars*", y planificar las terapias para contrarrestar los efectos deletéreos de la exposición, así como establecer los planes de cuidado y rehabilitación posteriores a la permanencia prolongada en las estaciones espaciales.²⁰¹

La cuarta necesidad aquí descrita se divide en dos: *Movimiento*, que está dado por la aplicación física de huesos, músculos y el sistema nervioso periférico; y por otro lado *Postura*, relacionado con la posición que ocupa el cuerpo con respecto a la Tierra y la gravedad, ya que en el espacio no existe una referencia de postura dado que no hay gravedad esta necesidad se ve muy afectada, y los órganos directamente afectados son los otolíticos u órganos vestibulares periféricos, constituidos por el sáculo y el utrículo. El control de la postura depende de estos órganos en todos los mamíferos, pues incluye la información propioceptiva, vestibular y visual. Asimismo la posición en bipedestación para los seres humanos es gestionada por los órganos otolíticos, que además tiene un papel fundamental en la capacidad sensorial de la aceleración lineal y angular de la cabeza. En este apartado se trata por separado ambas partes de la necesidad, con el fin de establecer cuidados especializados en cada una de ellas y clasificar los diagnósticos y valoraciones por separado. Es importante señalar que la dependencia encargada de esta necesidad en la NASA es la "*Astronaut Strength, Conditioning and Rehabilitation*" (ASCR; Fuerza, acondicionamiento y rehabilitación de los astronautas)^{202,203} [Figura 8.1].

La correlación para la atención de los cuidados médicos en la necesidad de movilidad y postura en el espacio tiene su semejanza con la fisiopatología provocada por estancias largas en cama, denominado *síndrome de desuso*. Ambas coinciden en los procesos de desadaptación. De la misma manera que la inactividad en la unidad de cuidados críticos propicia un deterioro generalizado de los órganos, sistemas corporales y en especial del sistema osteomioarticular, la exposición a los ambientes espaciales con microgravedad acarrea atrofia muscular y ósea, afectando primordialmente a los músculos antigravitatorios como son el conjunto muscular dorsal, glúteos, cuádriceps, y gemelos. De la misma forma se puede correlacionar el riesgo de lesión y compromiso de actuación durante la Actividad Extravehicular con la enfermedad descompresiva aguda, y previo al viaje con un entrenamiento deportivo extenuante.

Además, existe una compatibilidad con los planes de cuidados físicos a deportistas de alto rendimiento para la preparación de eventos deportivos como los Juegos Olímpicos, y los estándares de clasificación física para indicar si un astronauta es apto para la misión. A esto se incluyen los cuidados concomitantes a las terapias de rehabilitación, similares a las aplicadas en pacientes geriátricos que sufren osteoporosis y sarcopenia, mismas que llevan a cabo los astronautas para la rehabilitación física del astronauta al regreso a la Tie-



FIGURA 8.1.

Emblema oficial del programa “Fuerza, acondicionamiento y rehabilitación de astronautas” (ASCR) de la NASA.

rra. En otra dirección los efectos secundarios de las variaciones vestibulares en el espacio en conjunto como sus signos y síntomas, tienen una cierta semejanza al síndrome vestibular generado tras una larga estancia y descenso de un barco. Todas estas afecciones son susceptibles de ser contrastadas con patologías terrestres para establecer diagnósticos y planes de cuidado equivalentes, salvo las modificaciones de condiciones que lógicamente no se encuentran en el espacio, ejemplo de esto sería la incapacidad de formar úlceras por presión (UPP).²⁰⁴

Incluso el estudio fisiológico más compatible para las condiciones espaciales consiste en la investigación a partir de colocar a un sujeto en reposo, acostándose en posición supina con la cabeza abajo 6°, esta técnica de reposo es denominada “*head-down bed rest*” (HDBR). Debido a que la redistribución de líquidos se establece de forma homogénea al igual que en el espacio, los efectos deletéreos documentados de esta práctica son en cierta medida similares a las consecuencias de inmovilidad. El clinostatismo repercute en todo el organismo y sistemas, ejemplo de esto es el sistema gastrointestinal y estreñimiento; el sistema cardiocirculatorio implica modificaciones por hipotensión postural y aumento de la frecuencia cardíaca; el sistema renal afecta con litos renales y retención urinaria; el efecto metabólico de inmovilidad genera una disminución en la tasa metabólica y resistencia a la insulina; en el espacio no se ve afectado el tejido cutáneo por úlceras por presión; y la función cognitiva y psicológica ante la inmovilidad y la microgravedad repercute generando estrés, ansiedad, confusión y desorientación. Por supuesto una afección más añadida a la estancia prolongada de clinostatismo o exposición a la microgravedad será la sarcopenia, aceleración de osteoporosis e intolerancia ortostática, en bipedestación y marcha.²⁰⁵

Cuidados de enfermería en la necesidad de movimiento y postura

Valoración, diagnósticos e intervenciones previos al viaje espacial

Los astronautas no sólo tienen que estar preparados para el trabajo científico propiamente dicho que desarrollarán en la misión, también tienen que estar preparados físicamente para poder soportar las funciones mínimas para lograr proceder con la misión. Estas funciones orgánicas, en especial las del sistema osteomioarticular deben estar en estado óptimo como requisito para la clasificación de aptitudes en astronautas al igual que en pilotos aéreos, aunque el margen de los pilotos aéreos, sobre todo los comerciales, suele ser más amplio en funciones musculares u óseas. Es por ello, que desde la enfermería se debe valorar para clasificar y prever las afecciones durante el vuelo y posvuelo.²⁰⁶

La valoración debe iniciar con una anamnesis focalizada en relación con los síntomas habituales, para descubrir indicios de enfermedades osteomusculares, la anamnesis focalizada meticulosa puede ser el principio de selección para revelar síntomas previos como dolor o molestias, debilidad, limitación del movimiento en alguna articulación o ausencia de equilibrio y coordinación. Además, será necesario valorar la postura con el fin de descartar escoliosis, así como marcha inestable, además será preciso valorar movilidad y equilibrio con la escala Tinetti y prueba de Romberg para buscar ataxia sensitiva o alguna afección vestibular, coordinación y exploración de las extremidades. Cabe señalar que la NASA coloca el estándar para candidatos a astronauta en una altura de entre 1.57 y 1.91 m. Es necesario además un examen físico mediante el método clínico, la valoración semiológica del SOMA puede ser muy larga, pero es crítica, sobre todo en astronautas. Los aspectos fundamentales a considerar son simetría estructural y alineación, facilidad y amplitud del movimiento, masa y tono muscular, fuerza muscular, apariencia de la piel sobre las articulaciones, dolor, crepitación y deformidades.

Puesto que la masa, tono y fuerza cobran vital sentido durante el vuelo es imprescindible describir su nivel en los músculos de todas las regiones, para esto existen escalas especiales como Daniels. Aunque es raro encontrar síntomas de inestabilidad en pilotos, es posible hallar ataxia, artralgia, mialgia o escoliosis, además se considerará de alto riesgo para la salud pues implica un desarrollo acelerado de osteoporosis en viajes espaciales de larga duración a sujetos ancianos, raza blanca, mujeres, somatotipo ectomórfico, historial de anorexia, carga genética de osteoporosis, condiciones crónicas, alcoholismo o tabaquismo. La NASA actualmente considera no aptos para vuelos aeroespaciales a los candidatos con obesidad, dificultades vasculares y problemas de drogadicción. La valoración clínica debe ser complementada con exámenes de rayos X, densitometrías óseas y pruebas de gabinete generales.^{207,208}

La clasificación de los juicios clínicos que emanan de la valoración meticulosa del sistema osteomioarticular en astronautas implica establecer diagnósticos de

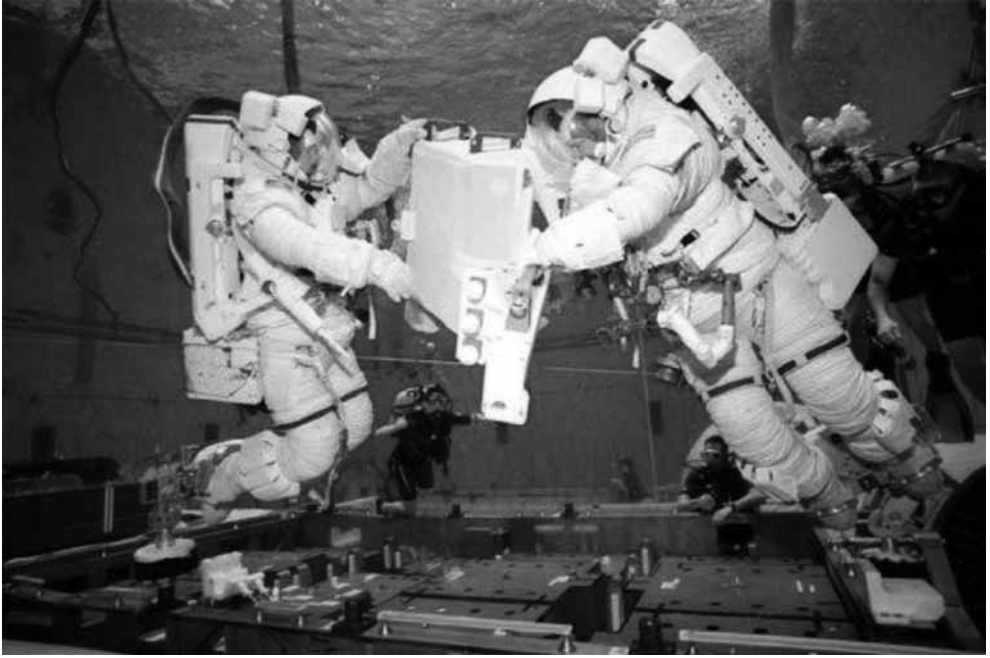


FIGURA 8.2.

Astronautas en la Tierra durante entrenamiento de inmersión simulando la Actividad Extravehicular (AEV) en órbita.

bienestar mayormente, que generen planes de cuidado que incluya ejercicio físico, esto podría estar contemplado por la ASCR de la NASA. Un ejemplo podría ser la disposición para mejorar el autocuidado manifestado por la expresión de deseos de optimizar su salud física y el plan de intervenciones de cuidado estará enfocado a la preparación de entrenamiento físico y nutricional del astronauta. La prescripción de las intervenciones en la NASA se sustenta con los programas de investigación humana y los programas de entrenamiento.

El "*Astronaut Candidate Training Program*" o programa de entrenamiento para candidatos a astronauta incluye dos años de entrenamiento, donde se realizan ejercicios que imitan la gravedad cero, como el simulador autónomo de locomoción en ingravidez donde se somete al sujeto a simular la caminata sin gravedad y tiempo de reposo prolongado en cama, para conocer las respuestas fisiológicas; el entrenamiento de inmersión en agua, que consiste en la recreación de la EEI dentro de una gran piscina donde los astronautas practican la actividad extravehicular (Figura 8.2), la inmersión imita muy fidedignamente la dificultad de movimiento en el espacio e incluso expresa la sintomatología al poco tiempo, como disminución total de plasma, redistribución de líquidos e intolerancia al ortostatismo, así como puebas de vuelos parabólicos y cámaras barométricas.^{209,210}

La evaluación de esta necesidad previa al vuelo supone la aprobación de exámenes físicos generales que son requisito para las misiones en el espacio. Desde el monitoreo general del estado del sistema osteomioarticular, pruebas de densidad y fuerza hasta los test de capacidad física desarrollados por la NASA. Estos son, el test de nado que consiste en una serie de pruebas de alta intensidad, donde se le pide al candidato a astronauta que nade durante determinado tiempo alguna distancia, posteriormente la tarea se complica pues tendrá que nadar con traje espacial. También es necesario que acredite las pruebas de habilidad en el control de movimiento robótico, completar el programa de entrenamiento de actividad extravehicular y el programa de entrenamiento específico de la EEI, así como el conocimiento y uso de la banda sin fin C.O.L.B.E.R.T. (Figura 8.3) que será usada durante el viaje espacial como contramedida al deterioro de la movilidad.

Sin duda los criterios de inclusión al programa espacial tienen un margen bastante estrecho y estricto que reta a las capacidades humanas, debido a ello se vuelve evidente impulsar programas de cuidado a la salud física, muscular y ósea, por parte de enfermería previo al viaje espacial.^{211,212}

Valoración, diagnósticos e intervenciones a bordo de la nave espacial

Los astronautas se someten durante el viaje espacial a un estrés permanente, que va desde las aceleraciones de la nave espacial para entrar en órbita hasta la exposición del cuerpo a la microgravedad, por ende, al desuso, así como el estrés barométrico de su regreso a la Tierra. Este periodo de estrés a bordo de la nave espacial pone en riesgo críticamente la salud de todos los tripulantes, pues supone osteopenia



FIGURA 8.3.
Emblema oficial de la banda sin fin ubicada a bordo de la Estación Espacial Internacional (EEI o ISS).

acentuada a razón de 1 a 2% de masa ósea al mes, acompañada de la pérdida crónica y degenerativa de la masa muscular y fuerza, se estima que podría llegar a cifras de hasta 50% sin contramedidas durante el vuelo. Añadido a todo esto los retos de movilización en ingravidez son aumentados y la condición postural sufre estrés vestibular. Es característico de los viajes espaciales el riesgo que hay sobre el cuerpo, las intrincadas condiciones y las arduas misiones que requieren un gran esfuerzo físico. Para el cumplimiento de la misión se combinan todos los preparativos físicos planificados desde la Tierra y así lograr una exitosa actividad extravehicular (EVA por sus siglas en inglés) ya que requiere extenuantes jornadas con el traje espacial fuera de la nave. La Enfermería tiene un gran compromiso en el cuidado de la salud física, establecer valoraciones y diagnósticos individuales por astronauta, para poder acoplar las intervenciones diseñadas indicadas por la NASA en los programas físicos para astronautas como el ASCR.²¹³

La valoración del estado del sistema osteomioarticular a bordo de la nave espacial se ha hecho a partir de investigaciones clínicas a astronautas en la EEI, propiamente en el *Skylab*, con la razón de poder establecer una medida general y parámetros que correlacionen el tiempo de exposición a la microgravedad con la osteopenia y sarcopenia. La valoración individual durante el viaje espacial tiene que estar dirigido a interpretar los signos y síntomas manifestados por el astronauta, además de analizar los datos arrojados por instrumentos de valoración de masa muscular en el espacio, los análisis sanguíneos y los exámenes generales de orina. A la valoración clínica es posible captar por inspección el decremento de la masa muscular en el volumen de la pierna, esta disminución es conocida como el “síndrome de piernas de pollo” muy común en astronautas, esto está relacionado con la valoración somatométrica del perímetro de la pierna, que apunta generalmente a una disminución de 15 a 20% tras el tercer mes de misión. El valorador debe estar consciente que no encontrará la misma atrofia muscular en todos los sujetos o en todos los músculos, por tanto, vale la pena entender que habrá mayor atrofia en los músculos antigravitatorios que en los brazos, aunque todos los músculos son susceptibles de una valoración semiológica es necesario modificar las técnicas clínicas y escalas de medición para poder categorizar las funciones musculares.^{214, 215}

La valoración del sistema óseo puede tener un referente en la Tierra con la valoración de los sujetos sedentarios, de hecho, a los astronautas se les considera médicamente hipersedentarios, esto incluye datos de análisis en uresis y muestras coprológicas para clasificar la cantidad de nitrógeno perdido, relacionado con las enzimas proteicas y la cantidad de calcio perdido, indicador de la densidad ósea. Estudios de valoración de esta necesidad en la EEI han incluido el análisis de rayos X modificado, estudios de densitometría ósea y absorciómetro de doble fotón. La semiología que puede acompañar a estas afecciones puede ser astenia, anorexia, fragilidad ante fracturas y dolor. El grado de afección guarda relación con el estado físico del astronauta, la edad, la raza, el género y el grado de exposición a la microgravedad.²¹⁶

Los efectos de aceleración y gravedad cero sobre el SOMA constituyen la base principal para categorizar diagnósticos sobre la necesidad, la mayoría de éstos serán reales y de riesgo, algunos podrían ser: el marcado riesgo de fracturas relacionado con la baja densidad ósea, osteopenia y altos niveles de calcio en diuresis, el riesgo de fracturas es latente en los astronautas durante y posterior al vuelo; riesgo de síndrome de desuso relacionado con hipersedentarismo producto de la ingravidez, este riesgo ha sido muy estudiado y es un reto actual para las misiones tripuladas largas; astenia o sensación abrumadora de la capacidad para realizar las actividades diarias y está relacionado con condiciones propias del entorno espacial como son estrés, anemia, privación del sueño, entre otras, y deterioro de la movilidad física relacionado con el tiempo de exposición a la ingravidez manifestado por la disminución de la masa musculoesquelética, osteopenia y sarcopenia. Todos estos juicios clínicos de enfermería tienen unificación de los planes de intervención en lo que a astronautas se refiere, esto es el establecimiento de autocuidados a través de la terapia enfocada en actividad física y ejercicios.^{217,218}

El plan de cuidados e intervenciones específicas para tratar esta cuarta necesidad estarán enfocados en entrenamientos que pretenden mantener la salud física del equipo de la misión, proteger la funcionalidad y capacidades orgánicas, así como minimizar la pérdida de fuerza, flexibilidad, coordinación, funciones metabólicas, circulatorias, óseas y musculares. En general, prevenir las lesiones derivadas del síndrome de desadaptación espacial, a través de intervenciones que busquen coordinarse con los programas de ejercicio físico a bordo compuestos por 2 horas al día por 6 días a la semana como mínimo, con hora y media de entrenamiento de resistencia y una hora de ejercicio metabólico. Por entrenamiento metabólico entendemos todo aquel ejercicio desarrollado con la finalidad de elevar temporalmente la tasa metabólica y, por tanto, el consumo calórico. Resulta determinante entender que todo entrenamiento o plan de ejercicios cuenta con un efecto térmico residual (*Excess Post exercise Oxygen Consumption*), que no es más que el consumo calórico derivado de la recuperación del propio entrenamiento.^{219,220}

Los protocolos de ejecución para el entrenamiento metabólico constan de intervalos de 10 a 50 minutos de ejercicio mantenido en el ritmo ya sea en bicicleta ergonómica, o banda sin fin C.O.L.B.E.R.T., con un límite de estrés en la frecuencia cardíaca de 70 a 100%, aumentando la carga e intensidad durante toda la misión. Cabe mencionar que es necesario un arnés atado al cuerpo del astronauta que ejerce una fuerza similar al peso del sujeto contra la banda sin fin (Figura 8.4), con el propósito de imitar la fuerza de resistencia gravitacional terrestre en el espacio. Por otro lado, el entrenamiento de resistencia inicia con cargas determinadas en el entrenamiento prevuelo y aumentan durante la misión. Los entrenamientos de resistencia y metabólicos tienen segmentaciones internas para ejercitar diferentes partes del cuerpo, están organizados en diferentes sesiones que los combinan donde se aumenta la carga, la intensidad y la frecuencia cada semana, con el fin de mantener al cuerpo en un estado dinámico de entrenamientos múltiples.^{221,222}



FIGURA 8.4.
Astronauta
Sunnita Williams
ejercitándose
como contramedida
a la sarcopenia
y osteopenia
que se sufre a bordo
de la EEI.

Acompañados de un estado nutricional óptimo que contempla una ingesta calórica, proteína, calcio y otros nutrientes que están asociados con metabolismo óseo, incluidos fósforo, sodio, potasio y magnesio, éstos no tienen límites o requisitos específicos para el ambiente de microgravedad. El monitoreo de la capacidad física se mantiene en la evaluación, con una revaloración periódica de las condiciones osteomioarticulares en las que se incluyen los mismos exámenes que en la valoración inicial, se analiza y se reajustan los planes de cuidado y entrenamientos a bordo de la nave espacial. Las contramedidas siguen siendo estudiadas por todas las agencias espaciales del mundo, pues se mantiene la intención internacional en los viajes interplanetarios y la colonización. Todo ello supone un reto de adaptación en condiciones gravitacionales menores a 1G.

Valoración, diagnósticos e intervenciones al regreso a la Tierra

El ser humano vive desde su nacimiento el inicio a la adaptación gravitacional. Dejar de gatear, los primeros pasos y sostenerse por sí solo son indicadores de desarrollo físico pediátrico. Durante su juventud el hombre transita por la Tierra a la que está constantemente sometido a la fuerza de aceleración gravitacional, logrando un crecimiento y desarrollo sobre el sistema osteomioarticular que lo vuelve apto para su supervivencia. Más tarde durante su senectud sufre una desaceleración en el crecimiento celular de osteocitos y miocitos, pero sigue expuesto a la misma fuerza gravitacional, lo que acarrea afecciones sobre su capacidad de movilidad y postura como osteoporosis, artrosis, sarcoma etc. Este mismo proceso lo experimentarán los astronautas a su regreso. Después de un viaje espacial largo al que ya habían tenido una desadaptación gravitacional, regresar a una fuerza mayor repentinamente pone en peligro al astronauta. Estas condiciones son similares a las clásicas en pacientes geriátricos o pacientes de estancias prolongadas en cama durante su permanencia en la unidad de cuidados críticos. Desde las unidades de cuidados críticos, Enfermería ha establecido planes de cuidado específicos para aminorar estos efectos en el cuerpo, además estas afecciones son atendidas por los equipos de cuidados médicos, enfermería, fisioterapia, medicina, etc. Enfermería tiene la convicción de clasificar en la valoración el grado de afección, reconocer la etiología del problema por la expresión semiológica para planificar las intervenciones pertinentes y contrarrestar las lesiones ocasionadas a nivel tisular al regreso a la Tierra.

La valoración de esta necesidad será la correlación con el estatus físico previo al viaje espacial, haciendo énfasis en los puntos valorados previamente, se espera que al retorno a la Tierra y ante la valoración clínica, el astronauta se encuentre con osteopenia, sarcopenia, anemia, astenia, fragilidad ósea, osteoporosis, disminución en la capacidad metabólica, pérdida completa del balance, agilidad, coordinación, flexibilidad, disfunción de los órganos otolíticos e intolerancia ortostática. Es importante valorar mediante la inspección y la palpación la simetría estructural y alineación, facilidad de amplitud de movimientos. Hacer uso de escalas de valoración comparadas con las escalas previas al viaje espacial para conocer el grado de afectación. Es de señalarse que el grado de afección dependerá de tres factores principalmente, el tiempo de exposición a la microgravedad, la capacidad adaptativa personal y las intervenciones en el cuidado realizadas durante el viaje espacial.

En astronautas que han permanecido en la estación espacial internacional por tiempos prolongados se ha registrado ante la valoración una severa atrofia en los músculos posturales antigravitatorios, y una incapacidad de respuesta muscular instantánea atribuibles a cambios de la activación neuronal, incidiendo en la velocidad de conducción de las uniones neuromusculares con el viaje espacial. Así como es clínicamente pertinente volver a analizar mediante la densitometría ósea, rayos X y exámenes generales de sangre, orina y heces, para el profesional que obtiene estos datos de la valoración debe representar el inicio mediante el cual construirá el

diagnóstico de la necesidad, para subsecuentemente entablar los planes de cuidado y rehabilitación.^{223,224}

El juicio clínico que se establece a partir de los indicadores semiológicos con el fin de categorizar y priorizar las intervenciones en diagnósticos de enfermería serán en su mayoría reales, a diferencia de prevuelo que en su mayoría son de bienestar o durante el vuelo que tienden a ser de riesgo. Algunos diagnósticos compatibles podrían ser, intolerancia a la actividad física relacionada con astenia generalizada, hipersedentarismo y desequilibrio entre aporte-demanda de oxígeno manifestado por el astronauta como debilidad y fatiga exacerbada. La falta de energía fisiológica para completar las actividades puede ser de grado tal de no poder descender por su propio pie de la astronave; deterioro de la movilidad física, relacionado con un deterioro neuromuscular, músculo-esquelético, sensorio perceptivo y falta de uso manifestado semiológicamente por incapacidad de marcha, disminución en el tiempo de reacción, inestabilidad postural, movimientos descoordinados, entre otros.^{225,226}

Actualmente las medidas de intervención son llevadas en la NASA por los proyectos de investigación humana, donde se brindan programas de cuidados médicos y rehabilitación en conjunto con otras instituciones y diferentes profesionales de la salud. Entre los servicios se incluyen: evaluación de lesión músculo-esquelética y rehabilitación,



FIGURA 8.5.

Astronauta Scott Kelly siendo revisado por el equipo médico en su regreso a la Tierra. Nótese la dificultad para la bipedestación.

ultrasonido terapéutico, estimulación eléctrica, masaje terapéutico, terapia térmica, prescripciones de ejercicio de rehabilitación y terapia acuática. Los cuidados médicos de rehabilitación tienen el propósito de regresar el estado corporal a las mismas condiciones que se encontraba antes del vuelo espacial tan pronto y seguro como sea posible, aunque puede tardar semanas o meses la readaptación gravitacional aun con los cuidados médicos más efectivos. Las actividades sobre estas intervenciones procuran el trabajo sobre la deambulaci3n, hacen énfasis en la readaptaci3n neurovestibular, incrementan la flexibilidad, la coordinaci3n y el balance.

La base de la rehabilitaci3n se encuentra en los ejercicios que progresan en dificultad, frecuencia e intensidad, iniciando con estiramientos los primeros días para posteriormente usar la bicicleta ergon3métrica a la semana, pasando por las caminatas en banda sin fin en aproximadamente 3 semanas, hasta adquirir la capacidad de correr y saltar en pista. En el mismo orden de ideas la evaluaci3n de las intervenciones será monitoreada en avances de rehabilitaci3n a lo largo del tiempo, recuperaci3n de actividades físicas de mayor intensidad, capacidad de sostener ejercicios físicos y sobre todo restaurar las funciones músculo-esqueléticas a las condiciones previas al vuelo^{227,228} (Figura 8.5).

Descanso, sueño y microgravedad

A lo largo de este capítulo, haremos una revisión detallada del descanso y sueño como necesidad básica del individuo. Conceptualizaremos al sueño como una acción favorable para el funcionamiento del cuerpo humano. Abordaremos la labor e importancia del ciclo circadiano y cómo la respuesta hormonal fisiológica ayuda a su adecuado funcionamiento. Asimismo realizaremos una correlación entre las principales afecciones de esta necesidad y cómo realizar un plan de cuidados aplicado al astronauta.

Neurofisiología del sueño

El sueño es considerado como un fenómeno que promueve gran fascinación en el estudio científico. El descanso físico y mental son necesidades básicas del ser humano, todos los individuos deben cubrir algunos requerimientos de tiempo y condiciones que favorezcan el cumplimiento de esta necesidad. Esto resulta importante para el óptimo funcionamiento del organismo.

Habitualmente se considera como un proceso fisiológico de vital importancia para la salud integral de los seres humanos y aunque no hay un concepto universal de sueño, se pueden definir las principales características que lo precisan; durante el sueño hay una disminución de la conciencia, es un proceso sencillamente reversible, se relaciona con la relajación y baja movilidad muscular, la respuesta ante estímulos externos está reducida, es un ritmo circadiano y hay cambios en los procesos fisiológicos corporales.

Dentro del enfoque de Enfermería, se define al descanso y sueño como la capacidad de una persona para conseguir dormir, descansar o relajarse, después de realizar actividades cotidianas, esto asociado con la cantidad y calidad del sueño y descanso.²²⁹

Hay diversos factores, interrelacionados con otras necesidades básicas, que pueden afectar el descanso y sueño, estos son: la alteración en las costumbres que afectan los patrones de sueño, falta o excesiva ingesta de alimentos, ruido, dolor, malestar, proceso patológico, entre otros. Por eso durante la valoración de enfermería es pertinente identificar las capacidades individuales para lograr este

proceso. Un diagnóstico oportuno permite establecer intervenciones eficaces para que el individuo restablezca la relación con su entorno y actividades. Dicha valoración debe reunir datos relevantes acerca del patrón del sueño y su cumplimiento; hábitos relacionados, cambios recientes en el patrón de sueño o recursos que utilice para inducir o facilitar el descanso.

Todos los seres humanos requieren dormir y descansar a lo largo de su vida, esto con el fin de recuperar la energía perdida durante las actividades diarias, para así mantener un equilibrio homeostático en la salud personal. Si no hubiese sueño y/o descanso, la capacidad de concentración, razonamiento y participación en actividades habituales disminuye. Para los astronautas que van al espacio, el cumplimiento de esta necesidad es imprescindible, pues las misiones implican un gasto adicional de energía.

Para el cumplimiento de la misión designada a bordo de la nave espacial, es de suma importancia que las condiciones de permanencia en la nave procuren el bienestar y productividad de los tripulantes. Estas cuestiones de habitabilidad humana en el espacio incluyen consideraciones de diseño, objetivos de la misión, funciones biológicas y ergonomía adecuada. En este sentido, las áreas destinadas al sueño deben ser diseñadas para posibilitar un sueño reparador dentro de un espacio acogedor. Las largas jornadas de los tripulantes merecen una pausa en horarios suficientes para cubrir los periodos de descanso y relajación.

Ciclo circadiano, un sistema biológico del sueño

La Tierra sufre diversos cambios ambientales con cierta periodicidad, mismos que le caracterizan de otros entornos planetarios. Estas modificaciones cíclicas son ocasionadas por los movimientos elípticos alrededor del sol: la rotación y la traslación. Como resultado de estos movimientos ocurridos tenemos las estaciones del año, la agronomía, la marea, usos y costumbres, los cambios climáticos, sucesos astronómicos y el día y la noche. Tomando estos dos últimos efectos como base del ciclo del sueño, es importante rescatar que el ser humano se ha adaptado a través del tiempo, para desarrollar componentes biológicos internos ("reloj circadiano"), que el hombre utiliza para anticipar los cambios periódicos producidos por los movimientos terráqueos. La evolución en los mamíferos vinculada con los cambios y adaptaciones circadianas están relacionadas por un marcapasos o reloj interno, compuesto por alrededor de 10 000 células nerviosas cuya ubicación está en los núcleos supraquiasmáticos del hipotálamo en el sistema nervioso central (SNC).²³⁰

El SNC fomenta la regularidad cíclica por medio de los nervios y la respuesta hormonal, específicamente la secreción de melatonina (MLT), hormona que ordena algunos procesos biológicos en los seres humanos como el sueño, la vigilia,²³¹ procesos de digestión y la actividad hormonal durante un determinado número de horas. En la Tierra, el reloj circadiano se ajusta al ciclo de 24 horas, en función de las rotaciones del planeta y, por lo tanto, del día y la noche. Los movimientos de la Tierra están

registrados en el genoma de casi todos los seres vivos, esencialmente en el del ser humano. Dicho ciclo circadiano se constituye diariamente mediante señales lumínicas solares, además del entorno y la situación personal, lo cual tiene gran efecto en la calidad y cantidad de sueño.

Modificaciones del ciclo circadiano en microgravedad

Durante todos los viajes, se asocia un estado de sueño y descanso interrumpido o inadecuado, y el vuelo espacial no es la excepción. Cuando los seres humanos viajan al espacio, es imposible que puedan suprimir un sistema de respuesta biológico. En la Tierra, esta periodicidad oscila, en promedio, en un horario de 24 horas y se sincroniza con el día y la noche. Sin embargo, en un ambiente espacial el ciclo luz-oscuridad natural no es de 24 horas, en cambio, actualmente en la Estación Espacial Internacional, el ciclo día-noche dura 90 minutos, relacionado con la órbita alrededor de la Tierra.²³² Es por esto que durante el viaje espacial se presenta una alteración conocida como "*jetlag*"²³³ (también llamada descompensación horaria o disritmia circadiana). Para contrarrestar este periodo, dentro de las cabinas espaciales es necesario establecer programas de actividad-descanso regulados por iluminación artificial, ventanas y cortinas a bordo de la nave. Aunque este sistema es efectivo, puede no ser completamente sincronizado con el ciclo fisiológico del astronauta pues el sujeto experimenta altas cargas de trabajo, ansiedad, diversos signos y síntomas relacionados con el movimiento espacial y, en muchos de los casos, un entorno ruidoso y a menudo incómodo.²³⁴

A más de 45 años del primer vuelo espacial humano, el viaje tripulado sigue siendo una oportunidad para la investigación. Hasta hace algunos decenios aún no existían métodos ni lugares eficaces que permitieran el óptimo descanso y sueño de los tripulantes, ejemplo de esto fue a la par de los transbordadores espaciales donde el comandante y el piloto debían dormir en sus sillas en la cubierta de vuelo y aquellos astronautas afortunados podían tener su propia cabina de sueño. Actualmente el producto de grandes investigaciones ha dado como resultado la implementación de cabinas individuales en las que el tripulante se duerme en un habitáculo donde cada astronauta tiene un *sleeping bag*, o saco de dormir, mismo que se une a la pared con velcro.²³⁵ Cada uno de los sacos de dormir contiene una almohadilla, correas ajustables para sujeción, una almohada reversible y un reposacabezas. A través de las correas ajustables, se adecua la forma deseada, también cuenta con 3 resortes helicoidales por encima de dichas correas, esto para lograr aliviar la carga ejercida por el tripulante. Tiene un sistema de cremallera doble que permite abrir y cerrar el saco desde el fondo hasta la parte superior. Dicho saco está construido de material beta con control térmico (Figura 9.1).

En el espacio un lapso de 24 horas se divide en 8 horas para el descanso y 16 para realizar actividades. Asimismo se asignan 45 minutos previos para que se preparen para este periodo y 45 después de despertar para aseo personal.



FIGURA 9.1.

Astronauta a bordo de la EEI utilizando una bolsa para dormir en el espacio.

Cuidados de enfermería en la necesidad de descanso y sueño

Valoración, diagnósticos e intervenciones previos al vuelo espacial

Como se ha mencionado, durante la navegación espacial el astronauta interrumpe su reloj circadiano el cual regula los periodos de descanso y sueño. Por esto, previo al viaje se debe realizar una valoración focalizada y centrada en los antecedentes y hábitos cotidianos del descanso y sueño. Es importante tener en cuenta todos los factores interrelacionados que intervienen en el cumplimiento de esta necesidad lo cual se obtendría a través del enfoque de Enfermería.

Para comenzar con la valoración al astronauta, el profesional de Enfermería realizaría la entrevista previa a la misión espacial, enfatizando el estado personal del sueño y descanso, confrontando las pautas adecuadas de sueño en un individuo saludable, las pautas de sueño actual, una historia preventiva de padecimientos que alteren dicha necesidad, medicación (en caso de utilizarla), acontecimientos recientes que pudiesen influir en el cumplimiento, estado emocional y mental, rituales previos al sueño, entorno habitual, registro escrito del tiempo para dormir y con-

ductas y actividades que realiza cuando está despierto. Una desventaja ante lo que el individuo refiere sobre el sueño, sería que los datos obtenidos son subjetivos por lo que es necesario complementar con la observación de manifestaciones durante la entrevista. Algunas de las preguntas clave para la recogida de datos serían las siguientes: ¿Cuál es el patrón cotidiano de descanso? Haciendo énfasis en el tiempo de sueño, calidad del mismo, siestas, necesidad de levantarse por la noche, entre otras. Para corroborar estos datos se ayudaría del cuestionamiento ¿Resulta suficiente el patrón de descanso y sueño? Otra interrogante va relacionada con el entorno, por lo tanto, se incluirían preguntas como ¿Duerme solo? ¿Duerme acompañado? ¿Hay factores en el entorno que pudiesen modificar el patrón de sueño? ¿Se despierta ante estímulos auditivos? ¿Hay algún medicamento que utilice para dormir?, por mencionar algunas. Finalmente, se orientaría la entrevista a la autopercepción y subjetividad del sueño, por ejemplo: ¿Qué sentido tiene para el sujeto el dormir? ¿Qué hace normalmente cuando necesita descansar? ¿Cómo influyen las emociones en el patrón del sueño?, después de dormir ¿Siente que descansó?, etc. La recogida de esta información resultaría esencial para complementar la valoración de los patrones de sueño.

Aunado a la anamnesis, sería indispensable cotejar si el astronauta manifiesta alguna de las alteraciones del sueño más comunes: el insomnio y/o la narcolepsia: el insomnio afecta a un alto porcentaje de la población adulta y se caracteriza por dificultades intermitentes para dormir, lo cual representaría un riesgo durante la misión. En la valoración semiológica del individuo, hay manifestaciones generales que pueden ser identificadas durante la anamnesis. Estas conductas son: el nerviosismo, tensión, preocupación, falta de concentración e incapacidad para realizar diversas tareas. Habitualmente esta disfunción del sueño puede ser causada por factores secundarios como dolor crónico que le impide el sueño, narcolepsia, apnea del sueño y/o trastornos del movimiento. En menor proporción, la etiología de este trastorno se debe a la ingesta de alcohol y/o medicamentos que contrarresten alguna enfermedad psiquiátrica como trastornos del estado de ánimo, la psicosis y las alteraciones de ansiedad, por lo que a veces la disrupción del sueño suele ser un síntoma inicial.

También es factible que exista insomnio sin la presencia de un trastorno psiquiátrico o por el abuso de alcohol o sustancias semejantes, y este tipo de alteración suele diagnosticarse como “insomnio no orgánico” o “insomnio primario”. La confirmación de esta alteración del descanso puede ser detectada con la perspicacia clínica del profesional de Enfermería, junto con el uso de métodos complementarios que corroboren el diagnóstico de insomnio como puede ser el estudio polisomnográfico, que muestra aumento en la etapa 1 del sueño y disminución de las etapas 3 y 4. En la navegación aeroespacial, el uso de hipnóticos y el insomnio son motivo fehaciente para impedir que el astronauta viaje, esto debido al riesgo que conlleva la disminución de la respuesta funcional para concretar los objetivos de la misión.²³⁶

Respecto de la narcolepsia, este es un síndrome cuya etiología neurológica se caracteriza por periodos súbitos e irresistibles de sueño a lo largo del día.²³⁷ Esta alteración se diagnostica cuando ocurren lapsos súbitos de somnolencia una o varias veces al día, al menos durante 3 meses, siempre que no sea ocasionada por disminución del sueño nocturno o por sustancias psicoactivas. Durante la valoración directa, se recogería una historia clínica de los signos representativos de la narcolepsia: ataques de cataplejía, alucinaciones hipnagógicas (antes de dormir) o hipnopómpicas (al despertar), parálisis del sueño y parasomnias. Para complementar la valoración de enfermería se podría utilizar el *Test de latencias múltiples de sueño*.²³⁸ Los episodios de narcolepsia suelen ser cortos, alrededor de 10 a 30 minutos y con frecuencia de entre 6 y 8 periodos de sueño durante el día, debido a esto, el astronauta queda imposibilitado para realizar las actividades durante la misión y por lo tanto es motivo suficiente de descalificación para el viaje espacial.

Una vez realizada la valoración, lo oportuno sería determinar las afecciones que incapaciten al astronauta y, por lo tanto, lleven a una alteración de la necesidad. Por lo antes expuesto, el principal diagnóstico de enfermería consiguiente de dichas afecciones sería: insomnio relacionado con factores ambientales, psicológicos y/o estrés previo a la misión y éste podría ser manifestado verbalmente por datos recogidos en la anamnesis como la dificultad para conciliar el sueño y expresar tener trastornos del sueño que tienen consecuencias durante el día.

La actuación del profesional de Enfermería estaría dirigida a contrarrestar esta modificación en el patrón de descanso, mediante acciones que mejoren el sueño y faciliten ciclos regulares de reposo/vigilia previa al ascenso espacial. Por lo tanto, se requiere llevar un registro del número de horas que el astronauta duerme, comprobando este patrón a través de la observación de las manifestaciones físicas y/o psicológicas que interrumpan el sueño. Es importante el rol asistencial de enfermería para ayudar a disminuir y/o eliminar las situaciones estresantes que le impiden descansar, para esto se sugiere llevar un control del estilo de vida y la modificación de horarios que contribuyan al estrés.

La evaluación de las intervenciones realizadas revelará la efectividad de las mismas, presentando mejoría en el bienestar del individuo. Esta evaluación señalaría la eficacia con indicadores que demuestran el mejoramiento ante el trastorno de la cantidad y calidad del sueño. Las horas, el patrón, la calidad, eficiencia y hábitos del sueño serán indicativos favorables, siempre que éstos se lleven desde un estado comprometido a uno no comprometido, es decir, que acrecienten el progreso personal durante la realización de las actividades de la vida diaria y se alcance la autopercepción afirmativa de las condiciones actuales de vida. Esta evaluación debe aterrizar con una perspectiva objetiva en escalas de mejoramiento, tomando en cuenta la subjetividad con la que el paciente refiere el cumplimiento de esta necesidad.

Valoración, diagnósticos e intervenciones a bordo de la nave espacial

El 1961, durante las misiones soviéticas “*Vostok*”, específicamente en el “*Vostok II*”, se registró el primer astronauta que durmió en un ambiente espacial: Gherman Titov quien entre la séptima y octava órbita logró conciliar un periodo de sueño. Cuando despertó, se dio cuenta que sus manos estaban flotando por la gravedad disminuida, por lo que tuvo que atarse con un cinturón. Cuando volvió a despertar transmitió un mensaje a Tierra; una vez que los brazos y piernas estaban atados correctamente, el sueño espacial era adecuado. Desde esta ocasión, las naves comenzaron a adaptarse para permitir que, durante las misiones largas, los astronautas pudiesen dormir sin ningún problema. Actualmente en la Estación Espacial Internacional (EEI), los tripulantes duermen en pequeñas cabinas privadas e insonorizadas²³⁹ en las que cada miembro del equipo tiene una laptop y puede escuchar su propia música, de igual forma tiene una lámpara de lectura, un estante y una mesa-escritorio. También está acondicionada con velcro en las paredes para pegar objetos personales y su propio *sleeping bag*²⁴⁰ (Figura 9.2). Además cuenta con una adecuada ventila de oxigenación y eliminación del CO₂ exhalado.



FIGURA 9.2.

Cabina personal para dormir a bordo de la Estación Espacial Internacional (EEI).

A bordo de la nave, en un periodo de 24 horas, se pueden apreciar ocho albas y ocho ocasos, lo cual dificulta el establecer una hora específica para dormir. Es por esto que los astronautas trabajan mediante un programa de actividades diarias. Normalmente este programa está pensado para permitir 8 horas de sueño y el resto se utiliza para actividades múltiples (actividad extravehicular, comer, higiene, recreación, proyectos personales, etc.). Al finalizar el tiempo de descanso y sueño, los tripulantes utilizan un reloj-alarma, que puede personalizarse con música. Estos despertadores han sido registrados en una "*Cronología de alarmas para despertar*" de cada misión. Un dato curioso es que la primera canción de alarma que se utilizó para despertar fue "*Hello Dolly*", reproducida en 1965 en la misión "*Mercury*".²⁴¹

A pesar de todos los avances científicos y adaptaciones espaciales, es común que ocurran diversas alteraciones dentro de la nave espacial, por ejemplo, náusea, mareo, incomodidad, emoción, estrés, ruido, iluminación excesiva, repetidos ciclos de luz-oscuridad y por supuesto ingravidez, lo que ocasiona que los astronautas experimenten cambios en los hábitos de sueño durante la misión. En el espacio, la tripulación suele sufrir dificultad para cumplir los ciclos de descanso y sueño debido a diversas circunstancias, mismas que resultan en patrones de sueño inconclusos que deterioran el rendimiento cognitivo durante las horas de actividad espacial. Durante un ciclo normal de sueño diurno-nocturno, la hormona melatonina regula los periodos de sueño en el ser humano, con la peculiaridad de registrar una elevación de los niveles desde 2 horas antes del descanso, esto para ayudar al cuerpo a prepararse para dormir. Estos niveles hormonales son más altos durante el sueño y bajos a lo largo del día, sin embargo, con las variaciones lumínicas en el espacio, el ciclo de melatonina pierde su ritmo normal y como resultante estos niveles son altos cuando el astronauta está despierto y bajos cuando intenta descansar. Este es el motivo principal que imposibilita el cumplimiento de la necesidad de descanso y sueño. Por eso es que una preocupación en el descanso espacial está relacionada con la longitud de onda de la luz y la capacidad del astronauta para reajustar el reloj circadiano.

Para lograr mejorar los ciclos de sueño en el espacio, es necesario realizar valoraciones focalizadas con la intención de comprender el comportamiento circadiano y lo que sucede durante el periodo de descanso a bordo de la nave espacial. De esta manera se conocerá más sobre los procesos biológicos que intervienen en el cumplimiento de esta necesidad. Las valoraciones orientadas reúnen datos esenciales de los patrones de sueño a bordo de la nave, por lo tanto, se sugiere incluir evaluaciones a distancia desde la perspectiva de enfermería. La anamnesis serviría para conocer los hábitos del tripulante durante el ciclo vigilia-sueño y la distribución horaria en los periodos de actividad-descanso. La interrelación entre el número de horas de reposo y la repercusión en las labores diarias, permite conocer el estado de ánimo, la capacidad de concentración, el bienestar personal y la factibilidad de cumplir con la misión. Es común que los hábitos irregulares de descanso, la excesiva carga de trabajo y las variaciones horarias sean determinantes para sufrir insomnio y desencadenar trastornos del sueño.

En recientes misiones espaciales, para realizar una valoración más amplia, se utilizan *Sistemas portátiles para monitorear el sueño en microgravedad*. Estos sistemas están adaptados en un chaleco ligero de tela con cables de plata y sensores introducidos en la tela, el cual implementa tecnología textil “*MagiC-Space*”²⁴² (Figura 9.3) que permite medir y evaluar diversos datos como frecuencia cardíaca, actividad electrocardiográfica, aceleraciones corporales, temperatura, índices de mecánica cardíaca y respiración durante el sueño. Con este sistema se pretende investigar la fisiología del sueño en microgravedad.

Otro dispositivo tecnológico de monitoreo que permite ahondar más en la valoración de la necesidad de sueño y descanso es un reloj conocido como “*Actiwatch*” (Figura 9.4). Este es un monitor impermeable, no invasivo, del ciclo sueño-vigilia, utilizado en la muñeca de los tripulantes. Dicho dispositivo contiene un fotodiodo sensible a la incidencia de la luz visible e infrarroja y al movimiento, logrando así vigilar la iluminación ambiental. Uniendo estas capacidades, es posible que el reloj sea utilizado para analizar los ritmos circadianos, los patrones de sueño-vigilia y la actividad a bordo de la nave. Y para no perder el funcionamiento básico, tiene la capacidad adicional de mostrar la hora y funcionar como un reloj normal.²⁴³

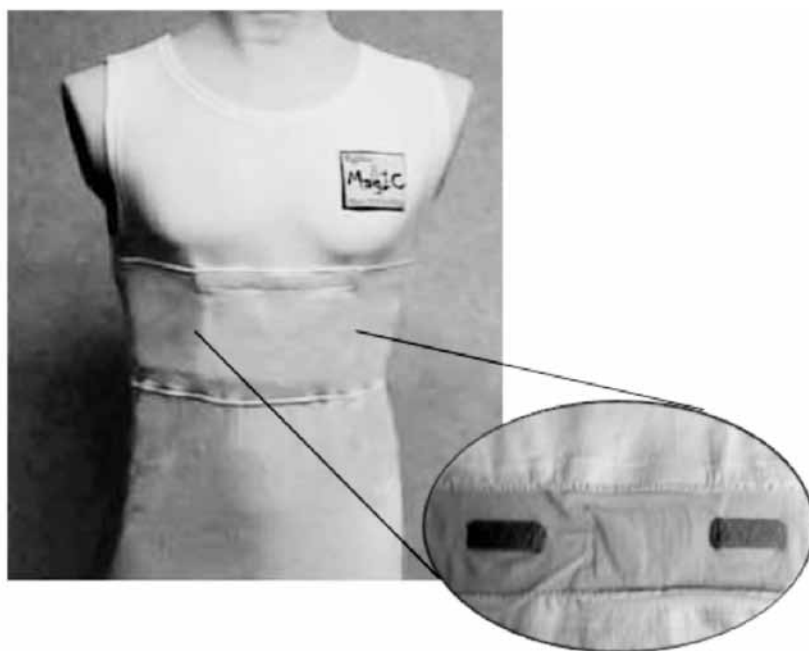


FIGURA 9.3.

Sistema portátil para el monitoreo en microgravedad con uso de tecnología textil *MagiC-Space*. Electroodos para ECG contenidos en el sistema de monitoreo.



FIGURA 9.4.

Astronauta Scott Kelly utilizando reloj convencional y un “Actiwatch” (un reloj inteligente para el monitoreo).

Otro medio de autovaloración que puede brindar datos sobre los periodos de sueño y descanso es la *Psychomotor Vigilance Test* (Prueba de vigilancia psicomotora),²⁴⁴ cuya finalidad se enfoca en la obtención de información objetiva sobre los cambios neurocomportamentales desde la *propio percepción* de los astronautas. Estos cambios tienen que ver con la atención vigilante, la velocidad psicomotriz, la estabilidad personal y la impulsividad durante las misiones espaciales. Este autotest es fácil de utilizar por los tripulantes a bordo de la nave porque es breve y libre de aprendizaje previo y los resultados complementarían la valoración de enfermería. La prueba de vigilancia evalúa cinco objetivos específicos:

1. La fatiga del astronauta, causada por la pérdida del sueño y la interrupción circadiana durante la misión
2. La fatiga del astronauta, ocasionada por la intensidad de trabajo durante el periodo de actividades a bordo de la nave
3. La disminución del desempeño del astronauta, según el tiempo en la misión
4. El desempeño de los astronautas, según los efectos de los medicamentos que ocasionalmente se utilizan para conciliar el sueño. Un ejemplo de estos medicamentos son zolpidem o ramelteon²⁴⁵
5. La manera en como los astronautas manifiestan el rendimiento mediante una retroalimentación

Toda la información recabada beneficiaría a la valoración mediante la recopilación de datos que permiten generar un expediente clínico sobre las afecciones durante los periodos de sueño y descanso a bordo de la nave.

Generalmente la queja más común de los astronautas está centrada en un sueño subjetivamente no reparador y en un tiempo disminuido con frecuentes despertares nocturnos y/o somnolencia diurna excesiva. Debido a lo antes mencionado, los desórdenes del descanso ocasionan un trastorno del patrón del sueño relacionado con cambios constantes en la exposición a la luz y oscuridad, ruido excesivo, iluminación artificial persistente, ruido e incomodidad y esto es manifestado verbalmente como insatisfacción y cambios en el patrón normal de descanso. En algunas ocasiones la adaptabilidad de los astronautas a dormir en un ambiente de microgravedad los lleva a una privación del sueño relacionado con una asincronía circadiana constante y cambio de las etapas del sueño manifestado por fatiga durante las actividades espaciales e irritabilidad.

La participación del profesional de Enfermería en el cumplimiento de esta necesidad, se caracterizará por una serie de intervenciones que disminuirían las afecciones del astronauta. Para la privación y trastornos del sueño, es adecuado que la actuación facilite ciclos regulares de sueño-vigilia, a través del mejoramiento del sueño. Se requiere realizar un monitoreo del patrón y número de horas de descanso-vigilia mediante la observación y registro e incluirlos en una planificación de cuidados. Acompañado del programa hecho desde la Tierra sobre el periodo actividad-descanso, se debe facilitar el mantenimiento de las rutinas habituales del astronauta a la hora de dormir y disminuir los factores estresantes que le perjudiquen durante la hora de dormir.

La finalidad de las intervenciones propuestas es conseguir la mejora de los trastornos ocurridos a bordo de la nave espacial en relación con la necesidad de descanso y sueño. Para evaluar la efectividad de dicha actuación, un indicador es el descanso, caracterizado por un tiempo, patrón y calidad del sueño aumentado o no comprometido. Asimismo en la autopercepción del descanso físico, mental y emocional se debería notar un progreso hasta llevarlo a un estado no comprometido. Sin duda, la mejor señal de cumplimiento será la mejoría en la capacidad de realización de los objetivos destinados a lo largo de la misión.

Valoración, diagnósticos e intervenciones al regreso a la Tierra

Una vez finalizada la misión, los miembros de la tripulación que han vuelto a la Tierra deben poner en marcha diversos planes de rehabilitación física, muscular, nutricional, digestiva, etc. Sin embargo, en esta necesidad no resulta trascendente una recuperación metodológica del sueño y descanso. A través de diversos estudios, se ha visto que los patrones de sueño mejoran una vez que se ha regresado al planeta Tierra.

Para complementar las valoraciones del astronauta, se realizan evaluaciones subjetivas de la calidad del sueño y estado de alerta, mismas que se acompañan con

pruebas de actigrafía y polisomnografía²⁴⁶ y el uso del reloj inteligente “*Actiwatch*” (ver la Figura 9.4). A partir de los resultados se obtienen puntuaciones sobre la calidad, cantidad y estado de alerta, mostrando un significativo aumento después del vuelo espacial, en comparación con los días previos a la misión y a bordo de la nave. En promedio, la tripulación duerme 40 minutos más posterior al vuelo que durante los días de preparación previa al viaje espacial, sin embargo, esto se debe a los factores estresantes y psicológicos que disminuyen el sueño y descanso. Por otro lado, los índices subjetivos de estado de alerta también son significativamente más altos después del vuelo en comparación con los días previos. Finalmente, se ha visto que, al regreso a la rutina habitual de sueño en la Tierra, se disminuyó la utilización de medicamentos que favorecen el descanso en la misión.

Por lo antes expuesto, los cuidados de enfermería al astronauta que regresa de una misión espacial, se orientarían al monitoreo continuo, durante un tiempo corto, de los hábitos de restablecimiento del ciclo circadiano. Por lo que es posible dar un seguimiento mediante la valoración con escalas que midan la recuperación de la necesidad de descanso y sueño. Una escala recomendable es el *Cuestionario de calidad de sueño* (COS) el cual proporciona ayuda diagnóstica de cualquier trastorno remanente de la misión espacial como el insomnio o hipersomnio, todo esto según los criterios del CIE 10. Este cuestionario evalúa la satisfacción subjetiva del sueño, el insomnio e hipersomnia, además que contiene ítems extra que proporcionan información sobre el uso de ayudas que favorezcan el dormir o la presencia de fenómenos adversos durante el sueño. También se obtienen datos sobre la latencia del sueño, duración, eficiencia, disfunción diurna, y así, se proporciona información sobre la gravedad del mismo.

Con la recopilación de esta información obtenida durante los tres tiempos esenciales del astronauta, el profesional de Enfermería establecería el plan de cuidados individual a las posibles afecciones o mejorías de la necesidad de descanso y sueño.

Trajes espaciales

A través de los siguientes párrafos entenderemos el significativo esfuerzo de las agencias espaciales de todo el mundo por brindar cuidados a los astronautas durante las misiones mediante trajes espaciales, las consideraciones en el diseño y confección de los trajes en consonancia con los soportes de presurización, oxigenación, confort, eliminación, valores, etc. Así como la interrelación que la necesidad de vestirse y desvestirse tiene con otras necesidades de dominio biológico y psicológico. Además, comprenderemos la función práctica de los trajes de actividad fuera de la nave espacial, los trajes de actividad intravehicular, las diferencias de diseño y función con los trajes fabricados entre distintos países, para finalmente discernir las partes complementarias de los trajes espaciales y cómo cada una de éstas integra cuidados y soluciones al hostil entorno espacial.

Necesidad de vestirse y desvestirse

Vestir viene del latín “*vestire*” y éste a su vez de la raíz indoeuropea “*wes*” que significa ropa. La ropa es un componente accesorio que ha acompañado al ser humano desde el inicio de su evolución, volviéndose una necesidad inherente del hombre contra el medio ambiente, puesto que no cuenta con plumas, pelaje o piel gruesa como otros animales.

A lo largo de la historia la ropa ha sufrido modificaciones de acuerdo con las culturas, entornos y apropiación de la tecnología textil, sin duda es un accesorio que coadyuva al cumplimiento de diferentes necesidades como eliminación, provee los requerimientos de movimiento, crea confort en descanso y sueño, mantiene la termorregulación estable, implica en la necesidad de limpieza, brinda protección contra el entorno, es un medio de comunicación, se aplica en diferentes ocupaciones y constituye un objeto de recreación y moda.

La ropa puede estar especializada según la aplicación, algunos trabajos y deportes tienen funciones especiales y diseños de vestido específicos, además la necesidad de vestido sufre transiciones en relación con el ambiente y la selección de vestimenta es diferente entre entornos como ciudad, selvas, bosques, tundra, desierto o el espacio.^{247,248}

Si existe un entorno realmente hostil e incompatible con la vida, es el espacio profundo. Por eso las ciencias espaciales también cuentan con trajes especializados para asegurar la supervivencia y cuidar la salud corporal de los astronautas durante la misión. Fundamentalmente existen dos trajes espaciales para los astronautas: 1) el traje de actividad extravehicular, denominado EVA por sus siglas en inglés por los astronautas, los cosmonautas rusos cuentan con el “*Orlán*” y los taikonautas chinos con el “*Feitian*”; 2) el traje de actividad intravehicular, los astronautas cuentan con el ACES (“Advanced Crew Escape Suit”) de color naranja y los cosmonautas rusos con el “*Sokol*” en color blanco. Ambos tienen funciones muy parecidas, atienden a la necesidad de oxigenación, brindan agua mediante mangueras de hidratación, tienen la capacidad de eliminar el dióxido de carbono exhalado y depurar excretas corporales, permiten el libre movimiento para las misiones espaciales, constituyen una prenda de vestir propia de cada viaje espacial y de cada nación, protegen a los astronautas contra las variaciones térmicas en el espacio, procuran un estado de limpieza e higiene dérmica, proveen protección contra el entorno en relación con la radiación y micrometeoritos, ofrecen la capacidad de establecer comunicación tanto para emitir como para recibir mensajes, son de vital importancia en la ocupación y trabajo de cada misión. Dicho de una manera más sintetizada, los trajes espaciales ven por 10 necesidades humanas fundamentales de las 14 aquí enlistadas^{249,250} (Figura 10.1).

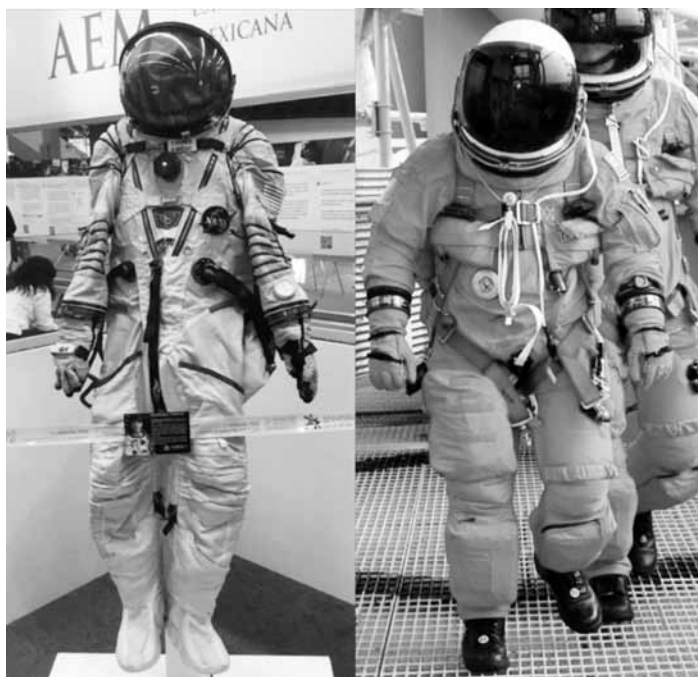


FIGURA 10.1.
Trajes de Actividad
Extravehicular
de la NASA.

Traje de actividad intravehicular

Los astronautas emplean los trajes de actividad intravehicular para cuidar la necesidad de oxigenación ante la probabilidad de despresurización durante los momentos críticos de la misión, es decir, despegue, aterrizaje y acoplamiento a la estación espacial. Rusia introdujo los trajes de actividad intravehicular después de la tragedia del “*Soyuz XI*”, donde murieron tres cosmonautas a su regreso a la Tierra a causa de una despresurización y asfixia súbitas ya que no contaban con la vestimenta adecuada.

A pesar de la similitud en funciones con el traje de actividad extravehicular, el traje de actividad intravehicular ofrece ciertas ventajas como flexibilidad y no tiene partes rígidas que impiden el movimiento, pero tiene la desventaja de no contar con una cubierta exterior gruesa que proteja contra variaciones térmicas extremas y micrometeoritos.

Pesa aproximadamente 10 kg, tiene la capacidad de regular la presión interna y generalmente tiene cuatro umbilicales frontales. Dos umbilicales son eléctricos, sirven para comunicaciones y datos biomédicos, también tiene umbilicales de ventilación, uno de ellos suministra oxígeno a un ritmo de 150 litros por minuto y el segundo suministra oxígeno puro a 20 L/min y se utiliza sólo en caso de emergencia cuando la presión de la nave disminuye.^{251,252}

Traje de actividad extravehicular

Denominados UME o unidad móvil extravehicular, el traje espacial para paseos exteriores a la nave es considerado una nave espacial individual. Pesa aproximadamente 130 kg, con un costo aproximado de 2 millones de dólares y más de 30 minutos para vestirlo; el traje espacial está totalmente equipado y constituido por partes intercambiables que se acoplan, lo que le otorga la ventaja de hacer reposiciones. La empresa ILC Dover manufactura para la NASA y la empresa Zvezda a Roscosmos de Rusia²⁵³ (Figura 10.2).

El traje está constituido por capas de material para proteger al astronauta, tres capas internas de refrigeración y ventilación, una capa intermedia de nailon que brinda la presión adecuada, capas de estructura del mismo material que las tiendas de campaña y siete capas de aislamiento que vuelven al traje un termo. Además, cuenta con un revestimiento resistente al desgarró, resistente a ser dañado por pequeños objetos que viajan a alta velocidad en el espacio y una capa exterior hecha de una mezcla de telas impermeables, material utilizado para fabricar chalecos antibalas y resistentes al fuego. Estas capas atienden a la necesidad de evitar peligros, vestimenta adecuada al entorno y proteger al astronauta de temperaturas extremas de frío o calor. Fabricados en color blanco independientemente de la nación para rechazar la luz y evitar el calentamiento.²⁵⁴

Con el fin de entender la vestimenta de los trajes espaciales de actividad extravehicular y correlacionarlos con las necesidades fisiológicas que atiende,



FIGURA 10.2.

Unidad móvil espacial o traje de Actividad Extravehicular durante caminata espacial.

didácticamente dividiremos el traje EVA en siete: 1) casco; 2) torso superior rígido; 3) brazos; 4) guantes; 5) torso inferior; 6) mochila de sistema portable de soporte vital, y 7) ropa interior.²⁵⁵

Casco espacial

El casco a su vez está compuesto por tres piezas que le otorgan diferentes funciones al traje espacial. En su capa más interna encontramos “el soporte de comunicaciones”, es una capucha con un interfaz eléctrico incluido que contiene micrófono y audífonos para establecer comunicación, está hecha de teflón y nailon. “El soporte de Casco” consiste en una coraza transparente, un anillo de cuello, conducto de ventilación y un dispositivo ajustable valsava. La coraza transparente ofrece una amplia visión al astronauta y al mismo tiempo protege de eventuales impactos en la cabeza. Finalmente tenemos el “visor extravehicular” que está conformado por filtros de rayos luminiscentes solares y térmicos, ya que las temperaturas directas a los rayos solares pueden ser de hasta 135 °C y además provee protección de pequeñas colisiones como micrometeoros.

Este accesorio espacial se viste acoplándolo por el cuello al torso superior rígido que va en el tórax, además de incluir conductos de oxigenación, eliminación del dióxido de carbono producido por el astronauta y suministro de líquidos, el cas-

co puede llevar luces laterales y una cámara de televisión. Es entonces el casco un dispositivo de vestimenta que procura necesidades humanas como oxigenación, hidratación, eliminación del dióxido de carbono, facilita el movimiento a través de la capacidad visual que provee, protege de los rayos ultravioleta, prevé los riesgos de colisión del entorno y otorga al astronauta la capacidad de comunicación, ocupación y recreación.²⁵⁶

Torso superior rígido

Esta pieza no sólo es de capital importancia por proteger el tórax y, por ende, el corazón y pulmón del astronauta, también es la pieza del traje espacial que más conexiones tiene con todos los componentes. Estos son cinco espacios de acoplamiento para permitir un sellado hermético, dos en brazos, el casco, los pantalones y en la parte posterior con el sistema portable de soporte vital. La pieza está hecha de un caparazón de fibra de vidrio interna recubierta con las mismas telas que todo el traje. En el pecho se encuentran los controles de volumen de radio, oxigenación y los medidores de presión y oxígeno, además interconecta los cables de la interfaz de soporte vital y LCVG, descritos más adelante.

Este dispositivo consta de anillos para ensamblaje hermético, es rígido y puede dificultar el movimiento, pero por contraparte brinda protección y función adecuada del resto de componentes del traje. En el torso superior se incluye la bolsa de bebida, adherida por un velcro y conectada por manguerillas hasta llegar al casco, con una válvula de succión en un lugar accesible para el astronauta cerca del rostro. Todo lo anterior pone al torso como un accesorio central encargado de controlar el flujo de oxígeno y agua, una protección torácica contra impactos medianos, y a su vez es el control de comunicaciones.²⁵⁷

Brazos

Los brazos no tienen una medida personalizada a los astronautas, se compone de diferentes partes intercambiables según el tamaño del astronauta. Generalmente son dos piezas, brazo y antebrazo, acopladas por un anillo metálico de cierre hermético. Son resistentes a altas temperaturas, fuego y desgarres. Por la parte proximal se acoplan al torso superior y por la parte distal a los guantes. Son cómodos al movimiento, permitiendo la flexión y extensión del brazo. Procura las necesidades para completar la misión con la movilización, protección contra el entorno y protección de temperaturas extremas.²⁵⁸

Guantes

Los guantes son un dispositivo accesorio diseñado específicamente para el trabajo fino, brindan protección sobre los dedos, el dorso y la muñeca. Debido a que los dedos por ser el extremo más distal del cuerpo humano sufren hipotermia por la baja perfusión es que los guantes cuentan con calentadores de dedos controlados

por el astronauta. Añadido a esto incluye almohadillas en pulgares y dedos para proteger la mano. Principalmente los guantes atienden a la necesidad de movimiento incorporando un cojinete rotatorio para la muñeca y una articulación que proporciona flexión y extensión, facilitan la ocupación y buscan la protección térmica distal y del entorno. El riesgo de estas ventajas en los guantes radica en el grosor de los materiales en la palma, pues al permitirle la pinza fina al astronauta lo expone a la probabilidad de perforación y despresurización repentina del traje completo, comprometiendo la vida y la misión.²⁵⁹

Torso inferior

La parte inferior del traje está compuesta por la parte inferior del torso, los pantalones espaciales y las botas. Estas piezas están interconectadas, permiten el sellado hermético y son intercambiables. Existen variaciones de diseño para poder diferenciar a los astronautas durante los paseos espaciales, el torso inferior cuenta con anillos de sujeción para atar cuerdas hacia la nave espacial y evitar que los astronautas se alejen, del mismo modo que todo el traje está recubierto de capas protectoras y también permiten la rotación de la cadera, logran brindar un amplio grado de movimiento de ésta, incluyendo la flexión y extensión de los miembros podálicos. Puede ser muy complicado y tardado colocarse esta parte del traje espacial, pero las necesidades de movimiento que cubre superan en un alto grado a dichas dificultades.²⁶⁰

Sistema portable de soporte de vida

El sistema portable de soporte de vida (o LSS por sus siglas en inglés) es una mochila trasera de aproximadamente 47 kg con una altura de 66 cm por 53 cm de largo y 27 cm de ancho. Potenciada con una pila de 16.8 volts, hecha en su exterior por fibra de vidrio y recubierta con las mismas capas que el traje espacial. El LSS recrea una atmósfera interna en el traje durante las excursiones espaciales, presurizando el traje a 202 mm Hg, suministrando desde un tanque trasero oxígeno para respiración y ventilación, al igual que agua refrigerada y oxígeno para el enfriamiento del cuerpo. En condiciones óptimas permite alrededor de 7 horas de actividad espacial dependiendo del ritmo metabólico de uso de cada astronauta.²⁶¹

Dentro de esta mochila se alojan cinco subsistemas de mantenimiento de vida: a) suministro de oxígeno primario; b) circuito de ventilación de oxígeno; c) circuito de transporte de agua; d) circuito de alimentación, y e) sistema de comunicación espacial. Además, cuenta con el sistema de oxígeno en emergencias que brinda de 30 a 90 minutos adicionales de acuerdo al flujo y la unidad de mando a distancia, éste se adhiere al pecho del torso superior para controlar la bomba de agua y ventilador de oxígeno, comunicaciones, volumen del radio, monitor de oxigenación e indicadores de advertencia. El traje Orlan ruso se puede vestir mediante una entrada en forma de puerta por una vía trasera, donde se ubica el LSS, esta pieza contiene todos los dispositivos de alimentación y por si fuera poco en la parte inferior de la mochila se engancha el

“SAFER”, un dispositivo de propulsión para la navegación espacial en caso de que el astronauta se aleje de la astronave, una especie de mochila propulsora espacial.

Ropa interior

Hay dos piezas que todo astronauta debe vestir cuando usa el traje espacial de actividad extravehicular, una de ellas es la “prenda de máxima absorción”, una especie de calzón espacial, se usa debajo del LCVG y provee una colección higiénica de la eventual transferencia de micciones y materia fecal que arroje el astronauta durante los prolongados paseos espaciales. El LCVG o “ropa de refrigeración y ventilación”, es un traje ajustado completo que cubre todo el cuerpo a excepción de las manos y la cabeza, en él se incorpora una red de finas manguerillas que se mantienen en contacto estrecho con la piel del astronauta mediante una capa elástica. La función de esta prenda es contrarrestar el calor producido por el sellado hermético del traje de actividad extravehicular y funciona haciendo circular un flujo de agua a través de todas las manguerillas de manera ininterrumpida para mantener fresco al astronauta²⁶² (Figura 10.3).

Estas dos prendas interiores cubren el cuidado corporal de eliminación, vestimenta, limpieza e higiene y también evitan el estrés por sobrecalentamiento

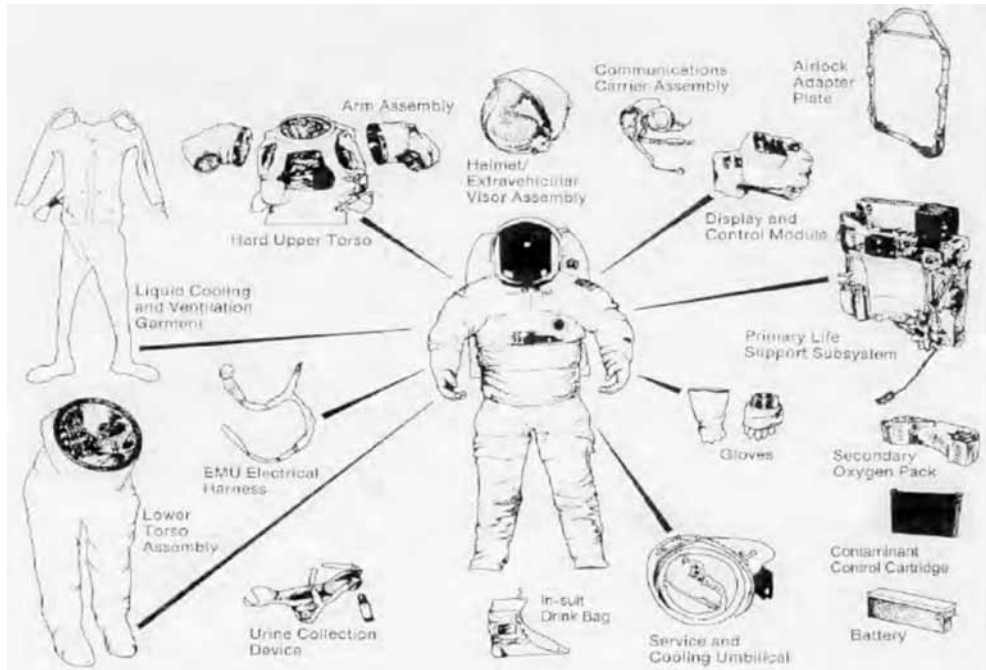


FIGURA 10.3.

Componentes del traje de Actividad Extravehicular manufacturado para la NASA por ILC Dover.



FIGURA 10.4.

Huella sobre la superficie lunar de la bota del astronauta Neil Armstrong, ícono del avance científico y espacial.

permitiendo hacer extenuantes trabajos con eficiencia, además evitan el incremento térmico del astronauta al interior del traje y por consiguiente la disminución de la deshidratación por pérdidas insensibles. Aunque hay cambios de estilo entre nación y nación, todos los astronautas los usan.

Podemos concluir que, aunque Enfermería no trabaja en la construcción de vestimentas, el modelo teórico soporta la visión de cuidado que la ropa ofrece en todas las dimensiones del ser humano. Los trajes espaciales son representaciones culturales y psicológicas, muestra de esto son las estampas icónicas de las misiones, países o agencias a las que pertenecen. Como el escudo de “operación de misiones de actividades extravehiculares” con un hombre de Vitrubio o la suela de la bota de Neil Armstrong marcada sobre la superficie lunar (Figura 10.4), que es un ícono de avance científico y guía para la exploración espacial del mundo.

Los trajes espaciales también se enfocan en el soporte biológico de la vida y atienden a casi todas las necesidades. Es entonces deber de la ciencia de los cuidados colocar la mirada en el futuro donde la vestimenta integrará una parte esencial de una especie interplanetaria, las colonizaciones lunares y marcianas. Los retos de soporte en viajes largos, la evolución de la ciencia de los cuidados, las tecnologías y por supuesto la vestimenta.^{263,264}

Termorregulación en el astronauta

Las alteraciones sobre la necesidad de mantener una termorregulación estable en el cuerpo son cruciales para la vida del astronauta y sobre todo para el éxito de la misión, debido a ello a continuación nos adentraremos en la trascendencia de las intervenciones de enfermería para con la termorregulación, a través de registros de misiones en la Estación Espacial Internacional y la comprensión de contraste térmico interplanetario, en especial Marte. Finalmente conoceremos algunos de los dispositivos actuales usados en el espacio para proteger la nave y al astronauta del desequilibrio térmico.

Termorregulación en el espacio exterior

La termorregulación es la capacidad de respuesta humana a la temperatura ambiental, permitiéndole regular la temperatura del cuerpo en los límites compatibles con la vida entre frío y calor. Esta necesidad se ve alterada por vías endógenas ante respuestas infecciosas y por vías exógenas por el medio ambiente. El cuerpo percibirá entonces las modificaciones térmicas mediante la piel, está demás decir que la alteración de esta necesidad implica efectos deletéreos al cuerpo e incluso la muerte.

La ciencia espacial ha enfocado sus esfuerzos en poder brindar cuidados térmicos al astronauta, dentro de la nave y mediante los trajes espaciales, contra las extremas condiciones térmicas del espacio y condiciones lunares. Pero no siempre se logra brindar una protección contra el riesgo de desequilibrio y cuando un organismo no tiene la capacidad de satisfacer esta necesidad aun con las condiciones de contramedidas ambientales añadidas, es necesario establecer cuidados médicos.²⁶⁵

La temperatura del ser humano oscilará entre 36.5 y 37.3 °C normalmente, y dependerá del ambiente en el que esté y si la temperatura se mide en boca, axila, piel o recto. Para entender la termodinámica en el espacio resulta inherente entender los tipos de transferencia de calor, siendo éstos invariablemente de caliente a frío hasta llegar a alcanzar una temperatura media entre objetos, llevándose a cabo por tres formas: conducción, convección y radiación.²⁶⁶

La *conducción* es el mecanismo de transferencia por el cual el calor propaga la energía en los materiales, siendo muy buenos conductores los metales de los que está hecha la nave espacial o la EEI y malos conductores el agua, aire o plástico,

llamados aislantes. Podemos entender *convección* como la transferencia calórica derivada de movimiento de una masa dentro de otra sustancia, variable entre densidades, como el calentamiento de la nave por fricción cuando desciende a la Tierra a gran velocidad. Y *radiación* consiste en la transmisión calórica de energía emitida por un objeto a distancia produciéndose desde la fuente hacia todas direcciones, ejemplo de esta transferencia en el espacio interestelar es el Sol.

Es de interés clínico en relación con esta necesidad conocer las variaciones térmicas en la Tierra, las naves espaciales, los planetas y el espacio profundo. En la Tierra el clima combina variables de patrones de temperatura, humedad, presión, viento y precipitación. El promedio general térmico del planeta Tierra es de 15 °C y las condiciones atmosféricas en las que se encuentra son replicadas en las naves espaciales, ejemplo de esto es la oscilación entre 18 y 22 °C de las naves “*Mercury*” lanzadas entre 1961 y 1963, las naves “*Apollo*” que mantuvieron temperaturas entre 21 y 26 °C o la EEI que logra mantener la temperatura en su interior dentro de los parámetros fisiológicos a través de textiles que consiguen el aislamiento térmico con una capa de alta reflexión llamada “Aislamiento multilaminar” (*Multi-Layer Insulation*), misma que se usa para brindar cuidados en la Tierra a pacientes con choque hipotérmico.²⁶⁷

Sin este aislamiento las temperaturas mientras la EEI orbita en el lado solar del planeta podrían ascender a 121 °C o en el otro lado de la Tierra descender a -157 °C.²⁶⁸ Este sistema aislante brinda tal grado de funcionalidad disipando el calor que también aísla el interior de la EEI, y con todas las máquinas generando energía la temperatura aumentaría internamente, por eso los científicos de la NASA desarrollaron el sistema activo de control térmico o “*Active Thermal Control System*” (Figura 11.1), un sistema constituido por placas de enfriamiento y sistemas de intercambio térmico capaces de procesar el calor, enfriando y extrayendo el exceso de calor al interior de la nave, después este calor es removido por el sistema líquido de enfriamiento a radiadores que disipan el calor al espacio.²⁶⁹

En el entorno espacial se encuentran múltiples tipos de luz de espectro no visible para el ojo humano, como la luz infrarroja que es la parte del espectro electromagnético que transmite el calor de las estrellas, en especial la radiación del Sol. No se encuentra en el espectro visible y sólo se puede captar con cámaras especiales de luz infrarroja, de esta manera se ha precisado la temperatura superficial de los planetas. Estos datos cobran más importancia clínica que nunca en el s. ^{xxi} con las pretensiones de colonización marciana y los viajes largos. Siendo necesario reconceptualizar los sistemas de soporte vital en relación con la termorregulación dependiendo de los espacios a explorar, ya que esta expedición implicaría abandonar la zona eutérmica que comprende de Venus a Marte e ingresar a la zona hipotérmica. Se ha registrado un promedio de temperatura sobre la superficie marciana de -55 °C y con tendencias a los extremos térmicos debido a la ausencia de gases que regulan la temperatura como en la Tierra, es decir, aire, vapor de agua y CO₂.²⁷⁰

Es entonces importante establecer programas de salud en viajes espaciales, que atiendan las modificaciones térmicas en el cuerpo humano, se brinden cuidados de

Thermal Control System (TCS)

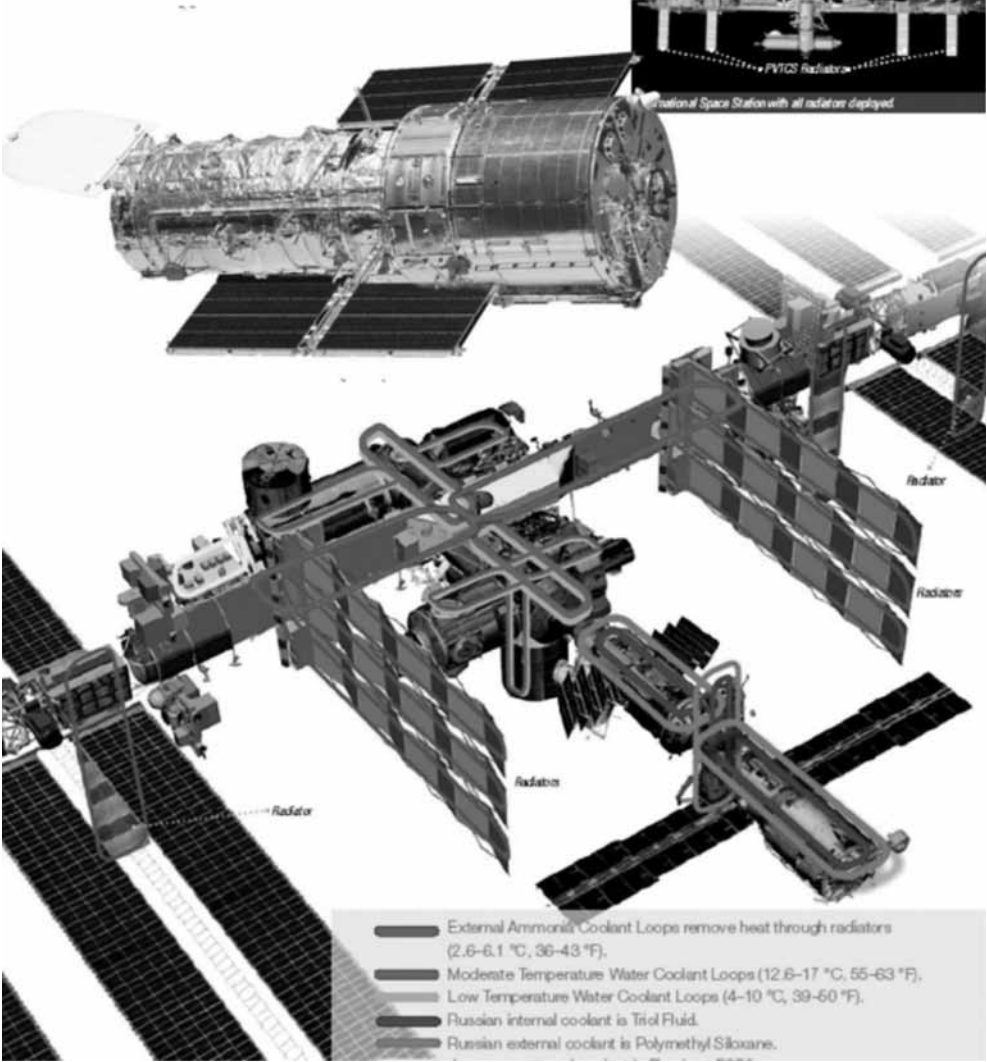


FIGURA II.1.
Sistema de control térmico integrado en distintos paneles de la Estación Espacial Internacional.

contramedida y se contemplan las variables clínicas que afectan ya sea edad, capacidad sensorial térmica, historia de exposición a temperaturas extremas, capacidad de adaptarse corporalmente a las transiciones térmicas, hábitos de autocuidado como contramedidas de variación y capacidad de usar instrumentos para la medición térmica.

Los astronautas son expuestos previo al viaje espacial a variaciones térmicas, puesto que implica un factor psicológico de estrés importante para la misión y es requisito de los candidatos a astronauta aprobar estas pruebas para ser seleccionados. A bordo de la nave, todo depende de planificar cuidados térmicos que, aunque no logren un equilibrio perfecto mantengan al astronauta dentro de la “zona de confort”, suficiente para realizar las actividades propias de la misión, para esto existen los sistemas de enfriamiento de la nave espacial y más particularmente las prendas de enfriamiento, como el LCVG o dispositivos de calentamiento como el calentador de dedos del EVA. Al igual que los trajes descritos en la necesidad de vestir y la protección térmica que ofrecen.²⁷¹

De la valoración de los signos y/o síntomas de hipertermia o hipotermia espacial es que se desprendan los diagnósticos de Enfermería propios a esta necesidad, como el riesgo de desequilibrio de la temperatura corporal relacionado con la exposición crónica a temperaturas ambientales extremas, deshidratación o ropa inadecuada para el ambiente, como sucedió en la misión “*Apollo XIII*” en la que los astronautas sufrieron hipotermia en el módulo lunar donde buscaron refugio; termorregulación ineficaz relacionada con fluctuaciones térmicas ambientales o procesos infecciosos, donde normalmente los signos y síntomas comprenden taquipnea, taquicardia, piel fría o caliente al tacto o piloerección, ya que es muy probable que exista esta variación de la temperatura en el espacio producto de procesos infecciosos debido al descenso de células NK y la depresión general del sistema inmune.²⁷²

En cualquier caso, es imprescindible que los cuidados estén enfocados a la regulación térmica a través del manejo ambiental, así como control y monitoreo de líquidos corporales valorándolos a través del llenado capilar y turgencia cutánea, tratamientos específicos de fiebre o hipotermia mediante medicamentos y medios físicos anteriormente descritos y diferentes a los usados en la Tierra, además de ser complementado por el monitoreo continuo de signos vitales.

Tener en cuenta que la hipertermia, dependiendo de la tasa metabólica de cada sujeto, condiciona una aceleración en la pérdida hídrica por insensibilidad, con diaforesis y aumento de la frecuencia respiratoria, propiciando la disminución de líquidos en el organismo y, por ende, el agravamiento sobre el control térmico del astronauta.²⁷³

La prospección oportuna y enfoque de esta necesidad por la ciencia de los cuidados jugará un rol clave ante los retos venideros en trayectos espaciales largos, así como pretensiones de colonización interplanetaria, pues implica una de las necesidades biológicas esenciales de vida, independientemente del lugar en el espacio que ocupe y siempre requerirá intervenciones de cuidados, ya que implica intervenciones de contramedida entre el frío del espacio y el calor abrasador de nuestro astro.²⁷⁴

El viaje espacial: cuidado de la higiene e integridad cutánea

A continuación describiremos la importancia de esta necesidad y cómo se lleva a cabo en ambientes extraterrestres. Conoceremos en detalle los medios y sistemas de higiene en un entorno de microgravedad y cómo esto repercute en la autopercepción de los tripulantes. Puntualizaremos las alteraciones más comunes en la integridad cutánea y la higiene corporal y entenderemos la manera en que el profesional de Enfermería puede realizar un plan de cuidados al astronauta a través de la participación activa en la valoración previa y durante el vuelo espacial.

Protección dérmica y sistemas sanitarios espaciales

Mantener la higiene corporal es una necesidad fundamental y ésta se define como el conjunto de actividades dirigidas a proporcionar el aseo del individuo mediante procesos de higiene y limpieza de la superficie del cuerpo y mucosas externas, y puede realizarse personal o asistidamente con la finalidad de conseguir un apropiado estado de salud y bienestar.

Es importante retomar dos aspectos esenciales para su cumplimiento: la higiene corporal y la integridad cutánea. En cuanto al aseo corporal corresponde a las acciones que mantengan un adecuado saneamiento de la superficie tegumentaria y mucosas, es decir, cabello, uñas, dientes, piel, entre otras. Ahora bien, por lo que se refiere a la integridad cutánea, es primordial recordar que, como primer sistema de defensa del cuerpo humano, ésta debe permanecer limpia en su totalidad manteniendo el estado general de la piel; elasticidad, temperatura, humedad, integridad, turgencia y color.²⁷⁵

Las condiciones higiénicas del individuo se consideran un signo externo del estado de salud personal. Por eso el cumplimiento de la necesidad de mantener la higiene corporal y la integridad cutánea tiene beneficios como fomentar la limpieza, eliminar microorganismos, secreciones y excreciones corporales, fomentar el descanso, relajar el cansancio muscular, mejorar la autopercepción y la autoimagen, favorecer un adecuado aspecto físico, eliminar malos olores, acondicionar la piel y mejorar la circulación sanguínea.

La satisfacción de esta necesidad depende de diversos factores como la edad, alimentación e hidratación, ejercicio, estado general de salud, temperatura, la imagen

corporal, factores económicos y socioculturales, preferencias personales, etc. De este modo, resulta evidente que el profesional de Enfermería personalice las valoraciones para conocer la respuesta individual de la higiene, la capacidad para su ejecución y una valoración del estado de la piel y mucosas.

Para este capítulo enfatizamos las acciones que lleven al cumplimiento de esta necesidad, puntualizando 4 elementos esenciales: higiene en piel, cabello, uñas y dientes.

Higiene en microgravedad

Los astronautas que viajan, viven y trabajan en el espacio, aparte de enfocarse en los objetivos de la misión también deben cumplir requerimientos sanitarios de higiene personal tal y como se hace en la Tierra, es decir, lavan su cabello, cepillan sus dientes, se rasuran, cortan sus uñas y se bañan (Figura 12.1). Sin embargo, mantenerse limpio en el espacio es más complicado pues no se cuenta con un baño como en la Tierra, es por esto que los astronautas tienen distintas medidas para la realización de estas tareas, impedidas principalmente por el entorno de microgravedad.

A bordo de la nave, cada miembro de la tripulación cuenta con un kit para la higiene, mismo que contiene distintos artículos personales que cada uno elige desde la Tierra. Estos artículos suelen ser los mismos que todos utilizamos para nuestro aseo diario, por ejemplo: el cepillo de dientes, cepillo para el cabello, rastrillo o afeitadora y cortaúñas. Un kit también está provisto de artículos esenciales para la higiene y productos para el aseo femenino. Aparte de esto, es necesario incluir productos especiales como champú sin enjuague, dos toallitas, toalla, dispensadores de papel, entre otros. Este kit se personaliza con el nombre de cada astronauta y para su comodidad se sitúa frente al sistema de administración de residuos (“baño”) y en su parte posterior tiene una base de velcro que permite que el astronauta disponga fácilmente de él y pueda movilizarlo con comodidad en las paredes de la nave o estación espacial (Figura 12.2).

En el espacio, la ducha ha sido distinta a lo largo de la evolución de las misiones espaciales. En los primeros vuelos de larga duración, se apostó por una ducha similar como se hace en la Tierra, sin embargo, la microgravedad imposibilita que el agua “caiga” normalmente. Debido a esto, se intentó implementar un baño en el que el astronauta estaba de pie dentro de una bolsa de tela cilíndrica y plegable, donde se arrojaba agua caliente sobre sí mismo utilizando una pistola especial. No obstante, este método no tuvo éxito porque el líquido se escapaba alrededor de la nave y el resto de la tripulación debía aspirarla con ayuda de una máquina recolectora para que no dañara el equipo. En la actualidad no se incluye una ducha en las misiones espaciales, y probablemente así seguirá siendo a futuro. En su lugar, los tripulantes realizan baños parciales de esponja utilizando agua y jabón especial que se adhieren a la piel gracias a la tensión superficial cutánea, y tiene la singularidad que no se necesita enjuagar. Finalmente, si hay un exceso de agua o jabón, lo único que se debe hacer es retirar el sobrante con una toalla.



FIGURA 12.1.
Astronauta Chris Hadfield realizando técnicas de higiene personal a bordo de la EEI.



FIGURA 12.2.

La astronauta Samantha Cristoforetti utilizando el “Kit personal para la higiene corporal”.

Con respecto a la higiene del cabello, se utiliza champú especial que no requiere enjuague. Lo que el tripulante debe hacer es humedecer su cabello y añadir este champú exclusivo, después es necesario que frote el cabello tal y como lo hiciera en la Tierra. Al final se utiliza una toalla para retirar el exceso de agua y jabón. En una de las paredes junto al baño hay un ventilador que aspira el líquido excedente hacia un contenedor que conduce al tanque reciclador de aguas residuales de la nave para ser reciclada. A pesar de esto, cada astronauta debe tener cuidado al utilizar estos productos pues las burbujas o el agua jabonosa puede flotar por toda la nave. Un dato curioso es que estos jabones y champús especiales inicialmente fueron creados para su uso en hospitales, para aquellos pacientes inmovilizados que no pudiesen tener higiene corporal diario, por lo que requería un aseo asistido con la participación del profesional de enfermería con un rol sustitutivo para los cuidados personales.

Continuando con las técnicas de higiene, así como en la Tierra, es necesario que durante las misiones espaciales se conserve el aseo dental, por lo que los astronautas necesitan cepillar sus dientes, mínimo después de cada ingesta alimentaria. Los utensilios empleados son: un cepillo de dientes, un tubo de pasta dental y un dispensador de agua. El procedimiento es el mismo que seguimos diariamente, sólo sufre algunas modificaciones debido a la microgravedad. Lo primero que debe realizar el tripulante es humedecer el cepillo y añadir pasta dental. A continuación, efectúa el cepillado habitual cuidando no dejar escapar partículas jabonosas o de agua para que éstas no vuelen por toda la nave y dañen el equipo. Hay

dos opciones: la primera es extraer de la boca el contenido jabonoso y colocarlo en un papel que posteriormente será sellado y puesto en el sistema de recolección de basura. La segunda opción es tragar el contenido. Esta pasta no es dañina para el organismo, fue creada especialmente para reducir los elementos de desecho que se utilizan durante la higiene. En ambas opciones, se puede utilizar más agua para enjuagarse la boca, y los residuos serán extraídos a un papel, después se coloca en un ventilador que absorbe y lleva el agua a un reciclador de la misma para su reutilización en el futuro.

En cuanto al aseo facial, los tripulantes pueden fácilmente complementar la higiene afeitándose tal como se hace en la Tierra. A bordo de la nave espacial, este proceso toma un poco más de cuidado pues la barba o el bigote podrían flotar alrededor de la nave y dañar el equipo o algún astronauta podría inhalarlo al respirar. Sin embargo, el proceso no es complejo. Lo primero que se debe hacer es reunir los utensilios necesarios, es decir, un rastrillo convencional, crema de afeitar especial para astronautas y algunas toallas de papel húmedas. El procedimiento es similar al aseo en la Tierra: primero se unta la crema espacial en el rostro, después el astronauta se rasura normalmente cuidando que el vello facial no flote fuera del rastrillo, para esto se utiliza una toalla de papel húmeda que recoge el vello del rasurador (otra opción es utilizar la aspiradora que recolecta el cabello), finalmente con otra toalla húmeda se limpia el exceso de crema espacial.

Otro elemento importante para el cumplimiento de esta necesidad es el cuidado de las uñas. Estas medidas conservan las uñas limpias y cortas y para lograrlo se requiere un aseo habitual. Lo único que se necesita es un cortauñas convencional y un ducto de aire o una aspiradora para la recolección de las uñas. El procedimiento es el mismo que en la Tierra, poniendo suficiente énfasis en no dejar que las uñas salgan expelidas por la nave. Para esto se utiliza la aspiradora recolectora y así se evitan incidentes en las computadoras de la nave o en los tripulantes.

Por último, el lavado de manos, como base para la higiene personal, ocupa un lugar trascendental en el cumplimiento de los protocolos de sanidad que se deben procurar en las misiones y así, evitar la proliferación de microorganismos patógenos. Para realizar el lavado de manos en un entorno de microgravedad, se utiliza jabón que no necesita enjuague y una toalla para secar. Aunque no hay una técnica predeterminada, es inherente que la participación de enfermería sea crucial en la enseñanza e implementación de un método sistemático para llevar a cabo este proceso. Por eso se propone un método del *lavado de manos espacial* que cuente con 9 pasos de acción, utilizando como base la técnica habitual propuesta por la Organización Mundial de la Salud (OMS), con algunas modificaciones: *un lavado de manos espacial* que dure entre 40 y 60 segundos, en primer momento se añade el jabón sin enjuague y a continuación se frotan las palmas de las manos, después el dorso de ambas, en seguida las palmas con los dedos entrelazados, posteriormente el dorso de los dedos de una mano con la palma de la mano opuesta, luego los pulgares

utilizando movimiento de rotación y envolviéndolo con la palma contraria, posteriormente frotando la punta de los dedos de una mano contra la palma de la otra haciendo movimientos de rotación y finalmente secar las manos con una toalla que será puesta en los ductos de absorción de agua de las naves espaciales.

Y usted se preguntará, “Después de realizar todo el aseo corporal, ¿qué sucede con la ropa sucia?” Esto es fácil. A bordo de las naves espaciales no hay lavadora de ropa, por lo que la vestimenta debe reutilizarse varias veces antes de ser desechada al “cesto de ropa sucia”.²⁷⁶ La indumentaria se cambia dependiendo del uso de la misma, por ejemplo, los pantalones se pueden aprovechar desde una semana hasta meses, por otro lado, los calcetines deportivos (utilizados durante el ejercicio espacial) y la ropa interior se debe cambiar cada 2 o 3 días, asimismo, las playeras y camisas pueden reusarse 4 o 5 días. Estos cambios de vestimenta dependen del astronauta y su criterio. Al desechar estas prendas se debe sellar en bolsas herméticas de plástico para evitar la proliferación de microorganismos patógenos y para que su transporte al regreso a la Tierra sea fácil y eficaz.

Otra opción para reutilizar la ropa interior sucia es cultivar plantas.²⁷⁷ Así fue como el oficial de Ciencias Donald Pettit, a través de sus reportes de misión, informó sobre el cultivo de semillas de tomate y albahaca a bordo de la EEI. Bajo la premisa de la inexistencia de tierra, averiguó cómo podía cultivar plantas utilizando otro material. En uno de sus *blogs*, de los cuales se destaca “*Diary of a Space Zucchini*”, escribió que para construir el sembradío se necesitaba un núcleo esférico que pudo sustituir con ropa interior. Había suficientes suministros en la EEI para cambiarse la ropa cada 3 o 4 días, así que ahí se podía encontrar algunos nutrientes. Después de que Don Pettit resolvió el problema de enfriamiento de las semillas, éstas brotaron en el plantador de ropa interior en un par de días.

Como se puede constatar, los sistemas de sanidad han evolucionado para dar seguimiento a la higiene de los viajeros espaciales, y así se ha logrado cumplir satisfactoriamente esta necesidad, sin embargo, hay algunos cuidados de enfermería que no se han abordado, por lo que a continuación se trata la temática de la participación que este profesional de la salud es capaz de aterrizar a la atención espacial del astronauta.

Cuidados de enfermería en la necesidad de mantener la higiene corporal y la integridad cutánea

Previo al vuelo espacial

Como uno de los ejes principales del cuidado de enfermería, encontramos que la prevención anticipa los trastornos que lleven al incumplimiento de las necesidades básicas del ser vivo. Es por eso que, para esta necesidad, la atención de los cuidados previos al viaje espacial deberá estar orientada a la valoración focalizada para anteponer posibles afecciones que imposibiliten al astronauta antes de llevar a cabo la misión espacial. La valoración especializada de enfermería atiende las posibles afec-

ciones que pudiesen presentarse durante la misión espacial, por lo cual, se enfoca en dos acciones: la evaluación de la capacidad autónoma para realizar las labores de higiene corporal y la integridad cutánea previa al viaje que tiene relación con la incidencia de enfermedades dérmicas.

La capacitancia para la valoración retoma la recogida de datos habitual, es decir, la anamnesis de enfermería, por lo que se propone realizar una entrevista al futuro viajero espacial, puntualizando si tiene o ha tenido problemas o limitaciones para realizar adecuadamente la higiene corporal y en caso de tenerlas es necesario reconocer las causas posibles como incapacidad, preferencias, aspectos personales, etc. Por otro lado, con la ayuda del astronauta, se puede realizar una agenda que registre los hábitos higiénicos que llevan a cabo, por ejemplo, si toma baño o ducha, la frecuencia con la que tiene higiene dental, la continuidad con la que recorta sus uñas, entre otras. Finalmente se debe cuestionar la autopercepción de los cuidados para el baño e higiene corporal.

A bordo de la nave espacial se han visto con mayor frecuencia las afecciones en la higiene bucal: en misiones previas se han reportado incidencias de pulpitis en astronautas estadounidenses y rusos. Por lo antes mencionado, los exámenes de valoración de enfermería previos al vuelo deben implementarse para prevenir los problemas más comunes durante la misión. Los métodos de valoración dental previa al vuelo serían similares a los que se llevan en la Tierra, utilizando predominantemente la radiografía digital, la radiografía de mano, la espectroscopia de impedancia de corriente eléctrica alterna, fluorescencia inducida por luz cuantitativa, fluorescencia láser, radiometría, entre otras técnicas que pueden detectar las caries dentales y otras patologías adyacentes.

Con respecto a la integridad cutánea, durante la valoración mediante el examen físico y observacional, se constataría el estado de la piel tomando en cuenta el color: si presentara palidez, rubicundez, cianosis, ictericia u otra coloración anormal; la turgencia: si estuviese conservada, disminuida o aumentada; la elasticidad: conservada, disminuida o aumentada; la temperatura; la humedad; si hubiese alguna lesión: tipo (traumas, quemaduras, heridas quirúrgicas, lesión vascular, etc.), localización, tamaño y signos y síntomas que demuestren alguna inflamación que preceda a un dato infeccioso.

Si durante la valoración se observara algún hallazgo de anormalidad en la capacidad para llevar a cabo la higiene personal o en la integridad cutánea, a través del juicio clínico de enfermería, se podría considerar la inhabilitación del astronauta para seguir con la misión, pues el riesgo de infección y/o exposición a la radiación cósmica es muy elevado, lo cual pone en riesgo los objetivos del vuelo y al astronauta.

El plan de intervenciones de enfermería que se realizaría antes de la fecha para emprender el viaje espacial, corresponde a la participación mediante acciones propuestas en un rol de educador, en otras palabras, es necesario que el profesional

enfermero realice actividades que favorezcan el adecuado aprendizaje de las técnicas para mantener la higiene corporal. Por esto, los cuidados preverían toda inexperiencia en los métodos de limpieza personal, a través de la enseñanza, para llevar a cabo la salud espacial.

Valoración, diagnósticos e intervenciones a bordo de la nave espacial

Parcialmente, esta necesidad básica de todo ser humano se cumple a bordo de la nave gracias a la preparación previa y a los cuidados espaciales para mantener la higiene corporal, sin embargo, el cuidado a la integridad de la piel se ve afectado principalmente por los niveles de radiación cósmica a los que se está expuesto durante la misión, ya que son demasiado elevados y este proceso no puede ser fácilmente eludido pues la protección ambiental a bordo de la nave es menor que en la Tierra.²⁷⁸

La radiación es un flujo de partículas atómicas y subatómicas y de ondas que provienen de diversas fuentes como los rayos calóricos, solares o los rayos X, por mencionar algunos. Como se ha visto en capítulos anteriores, esta radiación puede ser ionizante y no ionizante y toda la materia está expuesta a recibirla. La radiación es energía en movimiento y cuando esta energía se absorbe en un tejido vivo puede causar un efecto biológico, cuya consecuencia depende de la cantidad de energía absorbida, la longitud de onda y del tipo de partículas. Esta absorción afecta el comportamiento y funcionamiento de las células del ser vivo siendo capaz de causar un daño irreversible. Aunque la exposición ocupacional a la radiación sea inherente a la labor espacial, se requiere tomar consideración en los efectos nocivos que tiene para la piel y por lo tanto para el cumplimiento de la necesidad de mantener la integridad cutánea.

Los cambios en la piel de los seres humanos ocurren progresivamente en la Tierra, a pesar de la protección atmosférica ante la radiación, mientras que, en el espacio, estas modificaciones dérmicas se aceleran. Durante las misiones de larga duración se ha documentado que las afecciones son similares: resequedad excesiva, picazón, adelgazamiento de la piel, aumento de la pérdida celular, aumento del envejecimiento celular y capacidad disminuida para los periodos de cicatrización. Estas alteraciones deben ser monitoreadas durante toda la misión, tomando en cuenta diversos aspectos como el nivel de hidratación cutánea, la pérdida de agua transepidérmica, el grosor de las capas e imágenes superficiales de la piel, entre otras.

Hoy en día se llevan a cabo investigaciones a bordo de la Estación Espacial Internacional, donde se experimenta con una emulsión para el cuidado de la piel.²⁷⁹ El estudio consiste en la aplicación de un tratamiento diario en el antebrazo izquierdo utilizando esta solución y en el antebrazo derecho el cuidado higiénico rutinario. Los resultados han revelado que el área tratada mostró una hidratación mejorada (y, por lo tanto, más beneficios ante la consistencia dérmica) y, por otro lado, en la piel

no tratada, se encontró una disminución de la elasticidad cutánea, reducción de la densidad en las fibras dérmicas, un adelgazamiento de la epidermis y una constante eliminación de las células de la piel.^{280,281}

A pesar de las investigaciones, poco se ha hecho para conservar la integridad de la piel a bordo de la nave espacial, por lo que es necesario que se incluya la participación de enfermería en la valoración del estado dérmico, utilizando técnicas multidisciplinarias que puedan aplicarse fácilmente, empleando equipo portátil durante el viaje. Esta evaluación deberá partir desde la valoración mediante el método clínico, comenzando con la anamnesis, específicamente en la recogida de datos, se interrogaría acerca de los factores que pudiesen influir en el cumplimiento de la necesidad de mantener la integridad cutánea: el estado nutricional, las actividades que se realizan habitualmente, áreas de apoyo (ante la microgravedad posiblemente las únicas áreas de apoyo pueden ser al dormir y durante el ejercicio), actividad física, sintomatología inherente a un problema dérmico, etc.

Al continuar con la inspección, se constataría el estado general de la piel para detectar signos de deshidratación, condición general higiénica y del aseo diario, búsqueda de alguna manifestación alérgica (eritema, inflamación, dolor, etc.), cambio en la coloración, presencia de lesiones cutáneas (observando forma, bordes, color, localización, tamaño y superficie, etc.). Para complementar la inspección, se realizaría palpación para conseguir un diagnóstico certero. Y ante ésta se observaría la textura de la piel, grado de humedad, elevación o disminución de la temperatura y si hay dolor o molestia al sentir presión. Como medios complementarios, es posible que a bordo de la nave espacial haya equipo portátil de imagenología que muestre si hay adelgazamiento de algunas regiones dérmicas.

Es común que durante el vuelo y la estancia espacial se presente deterioro de la integridad cutánea, esta alteración relacionada con cambios en la redistribución de líquidos, déficit inmunitario y desequilibrio hídrico, manifestado por deshidratación de la superficie de la piel. Para llevar a cabo los cuidados de enfermería, es oportuno que se realicen algunas intervenciones que contrarresten dicha alteración. Dentro de las intervenciones más eficaces estarían las siguientes: recogida y análisis de datos del paciente, esto con el objetivo de llevar un registro diario y así mantener la integridad de la piel. Para llevarlo a cabo, se utilizaría una herramienta de valoración para identificar el riesgo de pérdida de la integridad cutánea, asimismo, es necesario documentar los cambios en la piel y favorecer las técnicas de limpieza corporal con fines de higiene y mejora dérmica.

Ante la reevaluación de la actuación del profesional de Enfermería, se demostraría una mejora estructural y de la función fisiológica normal de la piel, es decir, la textura, grosor e integridad cutánea corresponderán a un estado desde gravemente comprometido a no comprometido.

Como se ha visto, durante este capítulo se relaciona la participación del profesional de Enfermería con las misiones espaciales, desde diversos roles: cuidador

asistencial y de educación para la salud. La actuación mediante un plan de cuidados podría prevenir o erradicar las principales alteraciones vinculadas con la necesidad de mantener la higiene corporal y la integridad cutánea, que resulta muy importante para llevar a cabo las diversas misiones espaciales.

Evitar riesgos en la misión espacial

Las misiones espaciales son de un inmenso riesgo para la vida humana, debido a que el entorno está lleno de peligros, es decir el espacio. Es por eso que la Enfermería tiene un gran compromiso desde su base histórica de desarrollo, debido a ello a continuación expondremos algunos aspectos a considerar para la *Enfermería espacial* en relación con los entornos en la Tierra a diferentes altitudes, las capas atmosféricas para la aeronavegación, el espacio profundo en los viajes espaciales y el ambiente marciano para el establecimiento multiplanetario de la humanidad. Hablaremos sobre los procesos de adaptación fisiológica y evolución en la Tierra para comprender los retos en Marte en torno a la radiación, presión de oxígeno, temperatura, humedad, etc. Finalmente conoceremos el riesgo de infecciones en las naves espaciales y la implicación directa de los profesionales de Enfermería en los programas espaciales para prevención y tratamiento de contaminación por patógenos en el espacio.

Entorno espacial

Todo viaje implica ciertos riesgos a la salud y el viaje espacial quizá sea el que más riesgos implica, pues supone un grado de exposición crítico para la salud a un entorno con microgravedad, radiación e incidencias variables durante el vuelo. Es entonces una necesidad atender el estudio del entorno espacial y comprender los efectos de la radiación y microgravedad en el cuerpo humano para poder establecer los riesgos y actuar en consecuencia con cuidados a la salud, especialmente en viajes de larga duración y la colonización de puestos de avanzada en la superficie lunar y en la superficie en Marte.²⁸²

El cuidado de la salud a través del entorno se puede definir como la previsión y modificación de todo lo que rodea al organismo que le pueda ocasionar lesiones fisiológicas, psicológicas o sociológicas. Este es uno de los principios más trascendentes en la evolución de las especies y en la adaptación del hombre a los diferentes entornos y ecosistemas. Un entorno seguro y compatible con la vida humana es aquel que satisface las necesidades básicas del ser humano, reduce los riesgos físicos, la transmisión de microorganismos patógenos, mantiene los niveles de higiene y contaminación.

Los cuidados de enfermería contemplan variables de entorno en relación con esta necesidad, vinculados en su mayoría con los estándares atmosféricos, es decir, temperatura, humedad, presión; Iluminación, colocación de estructuras, mobiliario y todo aquello que rodea a la persona; niveles de ruido o vibración en el ambiente, microorganismos patógenos potencialmente contaminantes, eludir peligros especiales como fuego, radiación, electricidad, gases o sustancias tóxicas, además de cuidar la seguridad psicológica utilizando contramedidas adecuadas frente a situaciones de estrés, depresión o cansancio mental.²⁸³

La adaptación a los diferentes entornos, las contramedidas y cuidados a la salud son variables a los diversos ecosistemas en la Tierra, ya que implican modificaciones climatológicas de adaptación entre ambientes de frío como la tundra, calor como el desierto, humedad como en las selvas o grandes altitudes como en Lima, Perú. Ejemplo de esto son las cordilleras de los Andes, el Tíbet o Nepal que el ser humano ha sufrido la adaptación más radical a las altitudes, respondiendo a la hipoxia del entorno mediante una respuesta adaptativa aumentando la capacidad pulmonar, las dimensiones torácicas y el conteo total de eritrocitos. Otro ejemplo de adaptación al entorno son las modificaciones de pigmentación dermatológica en relación al grado de exposición solar a través de las generaciones para evitar el riesgo de lesiones. Estas son medidas de protección del cuerpo ante el entorno que también serán sujetas a modificación en los ambientes espaciales con microgravedad, todas las variables atmosféricas y altos niveles de radioactividad proveniente del cosmos.

El planeta Tierra ha sufrido innumerables transformaciones en el entorno que ponen en riesgo la vida humana, los fenómenos climatológicos como terremotos, explosiones volcánicas, inundaciones, tormentas o tornados han ocasionado más muertes que todas las guerras de la humanidad. Esto expresa la necesidad de atender a los cuidados de la salud en relación con evitar peligros en los futuros asentamientos espaciales.²⁸⁴ La NASA ha puesto como objetivo de colonización para la emigración de la humanidad al espacio exterior tres sitios distintos:

- La Luna, el satélite natural es particularmente atractivo por la distancia y las ventajas en minería, turismo, combustibles, instalaciones de investigación, energía eléctrica y como puerto espacial
- Marte, por sus similitudes con la Tierra y también su potencial transformación a través de la forestación y el descongelamiento de los polos, según la NASA.²⁸⁵ Esta colonización iniciará con el establecimiento de asentamientos que procuren sistemas de soporte vital, ciudades, campos agrícolas, campos industriales y laboratorios científicos, para lograr así el paulatino proceso de "Terraformación"
- Ciudades espaciales, estructuras que brinden la capacidad de sostener la vida en el espacio y puedan recrear condiciones compatibles con el organismo humano, es decir, recrear un entorno que contemple temperatura y luz solar regulada, humedad y presión ambiental igual a la Tierra, ciclos diarios y anuales, incluso condiciones atmosféricas con presencia de fenómenos naturales como lluvia, nubes,

viento o nieve. Cualquiera que sea la estructura en el futuro que conformará el entorno espacial de vida, deberá atender los riesgos del espacio. Principalmente tres: radiaciones cósmicas, infecciones espaciales, y afecciones fisiológicas derivadas de la microgravedad²⁸⁶

La radiación cósmica en el espacio y sin la protección de la atmósfera y el campo magnético terrestre, expone al astronauta a las partículas subatómicas procedentes del espacio exterior que viajan a velocidades extremas a ser impactadas contra el cuerpo. Son la etiología de carcinogénesis principalmente por la estrecha relación con la afectación directa al ácido desoxirribonucleico, la ruptura de las cadenas de DNA y su subsecuente mutación ocasiona melanomas debido a que la piel es el órgano con mayor grado de exposición, pero también afectará gónadas y ojos, aunque no existe evidencia consistente de mayor grado de cáncer en astronautas que el resto de la población, seguirá siendo un riesgo latente que requiere de la revisión y cuidados del personal sanitario de Enfermería en el futuro.²⁸⁷

Otro factor capital que se debe contemplar en el espacio y tiene serias repercusiones sobre el cuerpo humano es la microgravedad, debido a que este es un aspecto del entorno que afecta todas las necesidades y éstas a su vez repercuten en el entorno. La microgravedad es el factor del entorno más relevante, pues el ser humano se ha adaptado durante miles de años a la fuerza gravitacional de la Tierra y las implicaciones corporales de la exposición al espacio inician el síndrome de desadaptación, esto mismo sucedería en otros planetas como Marte, cuya fuerza gravitacional es inferior a la de la Tierra, 3.71 m/s^2 en comparación a los 9.81 m/s^2 de la Tierra, con un nivel de oxígeno natural de 0.13 % y temperaturas extremas que llegan a -55 grados centígrados.

Por último, están las infecciones en el espacio, mismas que se han estudiado en los laboratorios espaciales a través de microbiología y que se ha concluido que en viajes largos y estancias prolongadas en ambientes de microgravedad hay un significativo aumento en el desarrollo de infecciones y el control de las mismas. Debido en gran medida a la prolongada exposición de los astronautas a factores como la radiación, estrés y descenso inmunitario que coadyuvan al desarrollo de cuadros infecciosos.²⁸⁸

Específicamente en el viaje a Marte planeado por la NASA existe el riesgo latente, pues se estima que duraría 520 días ya que la distancia interplanetaria es de 54.6 millones de kilómetros en su punto más cercano. Arriesgando el ambiente de la nave espacial a la contaminación por *Pseudomonas aeruginosa*, reactivación de herpesvirus e incremento de microbios en el aire como *Pseudomonas* y *Staphylococcus aureus*, según los registros de viajes espaciales anteriores. Los factores del entorno a contemplar son la limitación en el espacio, ambientes espaciales compartidos entre astronautas y sistemas de circulación de agua y aire, resultando éstos como riesgos a favor de la contaminación y proliferación de microorganismos patógenos. Por eso la evaluación del entorno y la anticipación para evitar peligros de los profesionales de

Enfermería entra en vigor, pues conlleva monitoreo constante de los astronautas, ya que en misiones anteriores se han encontrado expresiones semiológicas como dolor, escalofríos, fiebre, rinorrea y astenia, además de cuadros clínicos como presencia de infecciones fúngicas, infección de las vías respiratorias, infecciones cutáneas, gastroenteritis e infecciones urinarias.²⁸⁹

Es aquí que se mezclan tres factores que no pueden escapar de la revisión de enfermería y la evaluación de seguridad y evasión de riesgos: astronautas, microorganismos y entorno. Los microorganismos presentan una rápida proliferación en medios líquidos durante situaciones de microgravedad, reflejando una curva de crecimiento microbiano acelerada. Además, se complica el control de las infecciones puesto que estudios en el espacio han demostrado la resistencia de los microorganismos a muchas líneas de antibióticos. Igualmente es oportuno hacer una revisión sobre los factores que propician la contaminación aeróbica de microorganismos en astronautas producidos por actividades como estornudos, hablar y toser, humedad del aire, temperatura, sistema de filtración de la astronave y tipo de superficies.^{290,291}

Cabe señalar que la mayoría de las interacciones de contaminación se deben a la transmisión persona-persona, pero la etiología de las infecciones se encuentra en la alteración del sistema inmunitario, numerosos registros de la EEI han señalado alteraciones en la cicatrización de heridas, alteración en la función de monocitos y granulocitos, alteración de diversas vías de señalización como las células T y la inhibición de la actividad natural de las células NK, entre otras.²⁹²

Como principio de mantenimiento de la salud, de la misma forma como se lleva el control ambiental y sistemas de soporte vital en la EEI se llevará en cualquier asentamiento, es decir, con peculiar atención en suministrar oxígeno, agua, controles ambientales, mecanismos de eliminación, etc. Conocido en la EEI con el nombre de *Environmental Control and Life Support Systems* (ECLSS), mismo que brinda las condiciones para soportar el “Sistema de cuidados a la salud de la tripulación” o *Crew health care system* (CHeCS), dividido a su vez en cuatro subsistemas de interés para la Enfermería²⁹³ (Figura 13.1):

- **Sistema de contramedidas**, compuesto de equipos y protocolos para lograr las intervenciones de ejercicio que aminoran crónicamente el daño por microgravedad
- **Sistema de salud ambiental**, encargado de monitorear los potenciales gases ambientales, los niveles de microorganismos en el aire y las condiciones del agua
- **Sistema de mantenimiento de salud**, destinado a proveer el soporte de ida y reanimación, los protocolos e instrumentos para responder al cuidado médico de lesiones y daños, cuidados preventivos de salud y monitoreo clínico de la tripulación
- **Sistema de radiación**, orientado al registro de la exposición acumulativa de la tripulación a la radiación y analiza el entorno de radiación ionizante interna a la Estación Espacial Internacional²⁹⁴

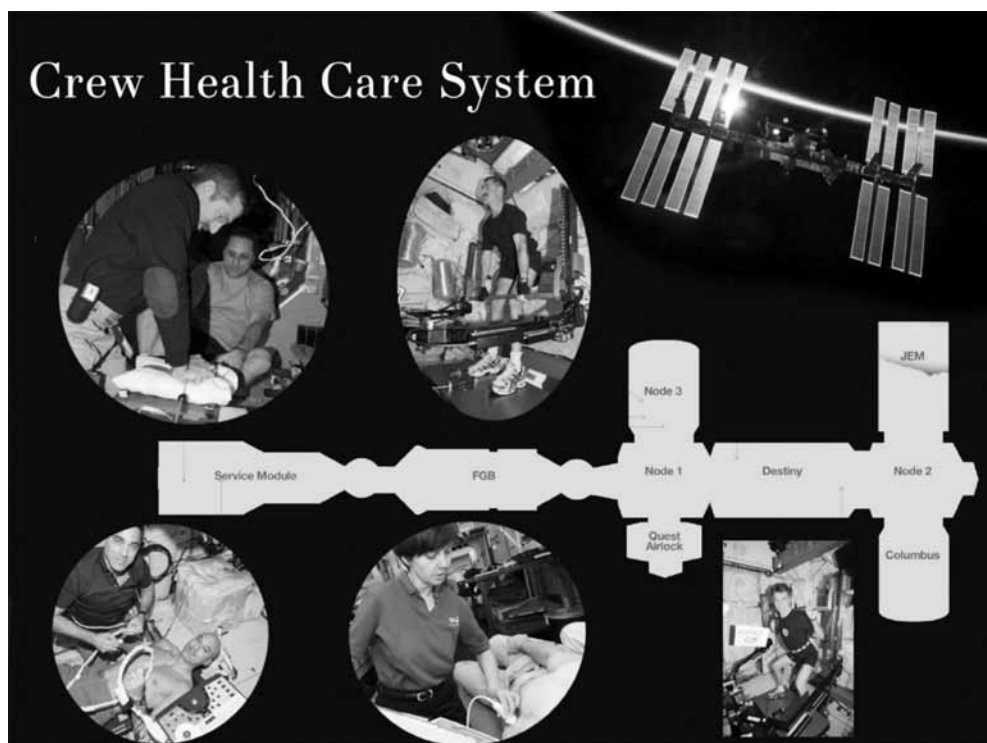


FIGURA 13.1.

Diagrama interno de la EEI donde se señalan las secciones y funciones del Sistema de Cuidados a la Salud de la Tripulación.

La evaluación de enfermería a los candidatos al viaje espacial debe contemplar un riguroso proceso de examen clínico para ampliar el conocimiento del estatus de salud de la tripulación y los peligros involucrados con su salud. Formando parte de una valoración de riesgo que clasifique la viabilidad de viaje espacial, pues la atención de enfermedades infecciosas durante el vuelo es reducida, y complicada en los viajes de larga duración debido al retraso en telecomunicaciones y equipo médico a bordo.

Las valoraciones clínicas de enfermería sobre el organismo del astronauta deberán ser realizadas antes y después. De la misma manera la tripulación deberá ser monitoreada constantemente a través de accesorios de telecomunicación, que ofrezcan datos vitales para base de operaciones y registros clínicos en la Tierra.

Las revisiones previas de la tripulación serán llevadas a través de sesiones periódicas antes de lanzamiento, 3 semanas antes, 2 semanas antes y una semana antes. A estas valoraciones se encontrarán acoplados los estados nutricionales,

neurológicos, oftalmológicos, psicológicos, cardiovasculares, entre otros. La tripulación permanece en aislamiento 7 días previos al despegue para evitar el desarrollo de agentes patógenos y la transmisión de enfermedades contagiosas que pueden interferir con el desempeño de la misión y poner en riesgo la salud de los astronautas.

La detección de indicios que señalen una infección en proceso en un miembro de la tripulación será motivo suficiente para suspender la participación del astronauta en el programa en curso y ser derivado a una atención médica especializada. Este caso sucedió en el “*Apollo XIII*”, donde un sustituto de tripulación tuvo que reemplazar a un astronauta debido a la sospecha de infección por sarampión, bajo el argumento de aminorar el riesgo para el resto de los astronautas.

Los programas de *Enfermería espacial* deberán hacer especial énfasis en la educación y capacitación de astronautas y pilotos sobre las medidas higiénicas para la mitigación de infecciones y lavado de manos, además de primeros auxilios y actuación en emergencias. Evaluar el grado de conocimiento de los astronautas en los procedimientos de operaciones estándar previo al vuelo y brindar la información pertinente sobre la detección de semiología indicativa de patologías en vuelo.

De igual forma es necesario que todo sujeto dispuesto a ser expuesto al hostil espacio cuente con un esquema de inmunizaciones completo establecido por los programas de *Enfermería espacial*, que cubran difteria, influenza, tétanos, polio, virus de hepatitis A y B, neumococo, meningococo, sarampión, rubéola, parotiditis y varicela. El programa de inmunización actual de la NASA considera estos aspectos e incluye extensos análisis médicos entre los que se encuentra monitoreo radiológico para descartar infecciones pulmonares.²⁹⁵

Además, será labor de enfermería regular las condiciones ambientales de los entornos en las unidades de enfermería, de la misma manera en que se evitan los microorganismos en las unidades de enfermería en la Tierra, pero con la adopción tecnológica especializada como el sistema de inyección y extracción de microorganismos que logra eficientemente remover casi la totalidad de partículas y a su vez proveer el monitoreo de las condiciones ambientales generales. Así como contemplar los espacios internos de asentamientos y nave espacial como instalaciones sanitarias, espacios dedicados al almacenamiento y distribución de agua deberán estar libres de contaminantes para evitar la proliferación de patógenos. También es preciso contar con sistemas de descontaminación y estrategias que impidan la contaminación de tomas de agua, contemplar la comunicación y el control térmico, como es el caso de la tecnología de los transbordadores “*Dragon*” del proyecto “*Space X*”.²⁹⁶

Adicionalmente se evitarán peligros a través de pruebas que comprueben los niveles de hermeticidad, filtración, compatibilidad y resistencia de las estructuras del entorno, generalmente constituidas por materiales de acero inoxidable y aluminio con el fin de brindar la capacidad desinfectante a las superficies. Esto inclu-

ye la valoración de controles como sistemas de ventilación y sistemas de reciclaje de agua. De la misma manera se valorará en el espacio con el fin de garantizar la integridad en la salud, conocer los niveles de contaminación de alimento, la hermeticidad de los paquetes y la irradiación con fuentes gamma, como medio para evitar la contaminación de patógenos específicos.

Bajo la sospecha o expresiones semiológicas de infección en la tripulación es preciso utilizar el sistema de precipitación de partículas energéticas específico (EEP por sus siglas en inglés), que es una especie de respirador. Cabe señalar que las soluciones antisépticas conformadas a base de alcohol dentro de la nave están contraindicadas, pues podría contaminar suministros de agua; por lo contrario, se recomiendan soluciones como cloruro de benzalconio y compuestos con base de clorhexidina.²⁹⁷

Muy probablemente en un futuro existan unidades de enfermería en el espacio, en grandes naves tripuladas y en los asentamientos en la Luna o Marte, por eso es necesario que se entienda el reconocimiento semiológico en estos entornos, y se profundice en las técnicas de primeros auxilios, instalación de catéteres y procedimientos en general. Actualmente los viajes espaciales cuentan con un botiquín sencillo de primeros auxilios que contiene lo necesario para una emergencia médica, pero se debe seguir estudiando la implicación de los servicios médicos durante las misiones o asentamientos (Figura 13.2).

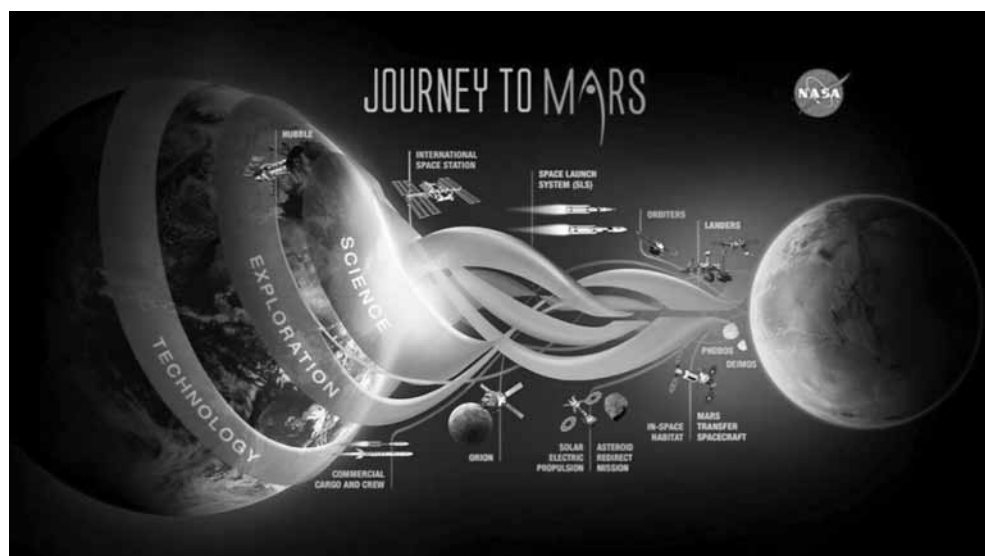


FIGURA 13.2.

Gráfico de la NASA sobre los sistemas de transporte relacionados con el proyecto "Journey to Mars".

Todos estos factores del entorno para evitar peligros y su interrelación con otras necesidades se pueden circunscribir de la siguiente manera:

- oxigenación está relacionado con el aumento en el riesgo de sufrir lesiones derivado de la disminución de las capacidades vitales que preservan al sujeto en situaciones que lo expongan al entorno
- nutrición requiere una estrecha vigilancia para evitar contaminantes e intoxicaciones, además de la importancia biológica, la implicación psicológica que conlleva la sana eliminación y el espacio donde se depone
- menos horas de sueño pueden causar un letargo en la reacción de los astronautas, en relación con las constantes variables en el entorno entre día y noche
- los trajes de actividad intravehicular y extravehicular protegen al astronauta del entorno fuera de su nave y la nave a su vez del espacio
- la temperatura está medida por la distancia o grado de exposición a estrellas y la radiación de calor
- la comunicación con una central operativa de misión en la Tierra actúa como contramedida, brindando la información necesaria para actuar en el entorno y eludir los peligros
- las actividades recreativas procuran la psicología del astronauta y aminoran el grado de estrés durante la misión
- el aprendizaje conlleva la capacidad de contener la información necesaria para actuar en cada escenario y evitar los riesgos mediante un protocolo planificado
- la microgravedad también es un buen hábitat para microorganismos y en conjunción con la depresión del sistema inmunitario representa un riesgo sólo evadible mediante la higiene
- las creencias y valores así como la ocupación implican cierta estructura de pensamiento que puede servir como reforzador de las conductas en cualquier ambiente y pueden ser el parteaguas de situaciones de riesgo, microgravedad, el espacio, la astronave y en la vida en general

Comunicación interestelar

En este capítulo comprenderemos la trascendencia de los sistemas de comunicación en el entorno espacial y el astronauta, haremos una revisión de la implicación de los cuidados de enfermería en relación con esta necesidad y el nivel de atención proporcionado durante las misiones espaciales, además conoceremos la apasionante historia detrás del establecimiento de la comunicación espacial desde la Tierra hacia el universo. Sin soslayar las tecnologías de información y comunicación en aplicaciones médicas en el espacio a través de la telemedicina, telecardiología y telecirugía, cuestión que propicia el desarrollo de plataformas para telecuidados, a la vez de proveer un exclusivo campo de actuación a la ciencia de la enfermería en venideros viajes espaciales, colonias extraplanetarias y unidades de Enfermería espaciales.

Comunicación interplanetaria

Comunicación proviene del latín “*communicare*”, que significa “poner en común, compartir algo”, es entonces la comunicación un proceso mediante el cual podemos transmitir y recibir datos, ideas, opiniones, experiencias y actitudes para lograr la comprensión del entorno y tomar una acción en consecuencia.

La comunicación es el elemento básico generador de sociabilidad, el distintivo de la humanidad, pues le confiere características de racionalidad y sustenta las estructuras sociales que ha desarrollado a lo largo de la historia. El principio fundamental para su correcta función depende de un emisor y un receptor, el emisor transfiere el mensaje bajo una configuración lógica y elocuente, el emisor recibe el mensaje, interpreta y analiza.²⁹⁸

En el cuidado la comunicación es de suma importancia, pues implica interacciones sociales entre los sujetos de cuidado y los enfermeros, de aquí que la habilidad social de comunicación está desarrollada en Enfermería, comprendiendo el lenguaje oral y escrito de los sujetos e interpretando el lenguaje verbal y no verbal de las personas. Además de ser el principal traductor de la semiología clínica que el cuerpo expresa, generando a partir de las configuraciones entre signos y síntomas, interpretaciones hipotéticas sobre el estado de salud del sujeto y consecuentemente accionando en intervenciones. Este es sin duda el principio fundamental de la comunicación científica que emana del proceso de atención de Enfermería.

Todas las ciencias con su objeto de estudio tienen un acercamiento en el orden de la lógica y la racionalidad, en las ciencias espaciales los físicos, matemáticos, químicos e ingenieros inciden sobre ejes de comunicación interna para con la misma ciencia, y externa, para con los sujetos implicados en la aplicación de los conocimientos, en este caso, los astronautas. Lo mismo sucede en la Enfermería y los cuidados, pues la hermenéutica del estado clínico del astronauta es inherente a la interpretación organoléptica de la fenomenología patológica o alteración de la necesidad por la que cruza el astronauta, en ello recae la importancia de tener capacidades de comunicación muy afinadas, como dominio de múltiples idiomas y lenguajes técnico-científicos de las misiones, para la enfermería en general, pero sobre todo para lograr la *Enfermería espacial*.

Los sonidos de la Tierra

El ser humano a lo largo de la historia siempre ha tenido la pretensión de establecer comunicación con otras sociedades y generar vínculos de comunión, desde las pinturas rupestres, las señales de humo, los libros, las telecomunicaciones, hasta llegar al máximo ejemplo en el campo de la astronáutica: las sondas espaciales estadounidenses lanzadas en 1977, las *Voyager 1 y 2*.²⁹⁹

En ambas se encuentra un mensaje grabado en un disco de cobre bañado de oro, llamado "*The sounds of earth*" (Figura 14. 1), destinado a la recepción de alguna probable civilización extraterrestre, donde se incluye un mensaje del entonces presidente Jimmy Carter que decía:

"Lanzamos este mensaje al cosmos. De los 200 mil millones de estrellas de nuestra galaxia, algunas, tal vez muchas, pueden tener planetas habitados y civilizaciones con tecnología espacial. Si una civilización intercepta nuestra nave y puede descifrar el contenido, este es nuestro mensaje: 'Estamos tratando de sobrevivir a nuestro tiempo para poder vivir en el de ustedes. Esperamos algún día, después de haber resuelto los problemas que enfrentamos, unirnos a una comunidad de Civilizaciones Galácticas. Este registro representa nuestra esperanza, nuestra determinación y nuestra buena voluntad en un universo vasto e impresionante' ".³⁰⁰

También se incluyeron grabaciones de saludos en 55 idiomas, una hora y media de música donde cabe resaltar que estaba la canción mexicana de mariachis "El cascabel", fotografías, la localización de nuestro sistema solar, unidades de medida que utilizamos, características de la Tierra, cuerpo humano, algunos animales y de la sociedad en general entre otras.³⁰¹ El contenido del disco fue elegido por un comité de científicos encabezado por el famoso divulgador Carl Sagan. Hoy las sondas se encuentran a 39 años de su lanzamiento, y más allá de la heliosfera, que incluso las telecomunicaciones de la sonda con la Tierra tienen un retardo de 15 horas aproximadamente, y viajan a una velocidad cercana a 17 km/s, se estima que en el 2025 las baterías de la nave dejarán de funcionar y aunque siga viajando, ya no podremos recibir información de lo que ve a su alrededor.³⁰²

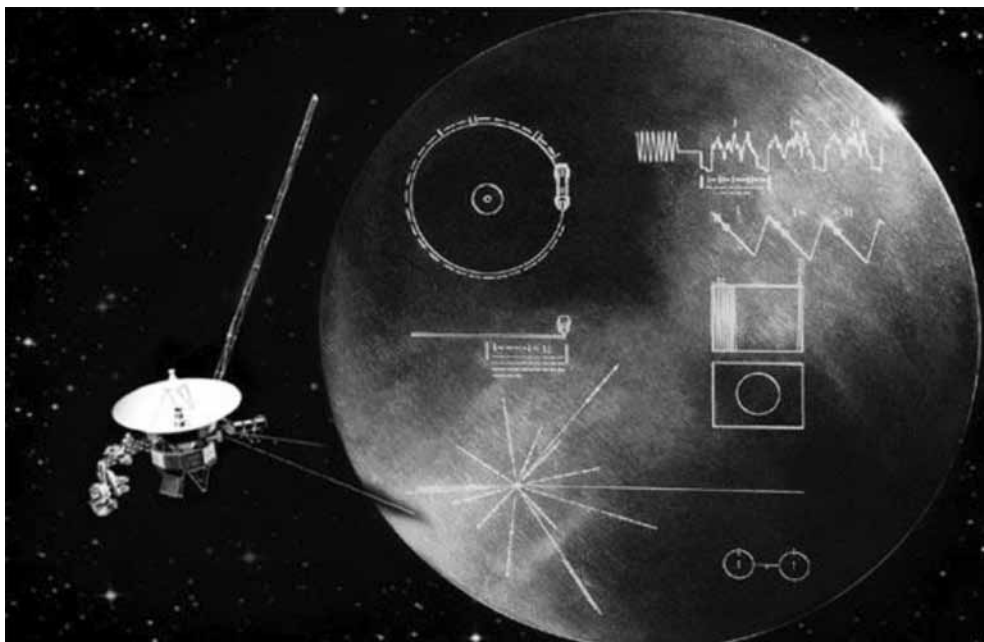


FIGURA 14.1.

Disco de cobre bañado en oro; "Golden record" que viaja en la sonda espacial "New Horizons".

Esto abre un gran campo para la actuación en materia de telecomunicaciones y por supuesto que también se implicará a lo largo de la historia la Telemedicina, partiendo de 1844 con el nacimiento del telégrafo y los primeros mensajes con información médica, más tarde en 1972 se usaría la radiolocalización del personal sanitario a través de *beepers*, hasta llegar a complejos sistemas de telecomunicación por internet con uso de registros y localizaciones satelitales.

Esto se puede lograr a través de la red de comunicaciones por radio y satélite que permite a la tripulación de la Estación Espacial Internacional hablar con los centros de control en la Tierra y el orbitador. También permite que el control de la Tierra supervise y mantenga los sistemas de la EEI y permita a los controladores ligeros enviar comandos a estos sistemas, transportando datos a diferentes centros de control de todo el mundo. El sistema de comunicaciones espacial permite: establecer comunicación bidireccional de video y audio entre tripulantes a bordo de la EEI, incluyendo tripulantes que participan en actividades extravehiculares; transferencia de comunicación bidireccional de audio y video con el centro de comando de la misión en Houston; triangulación de telecomunicaciones de telemetría entre el centro de control en la Tierra y el centro de operaciones de carga útil y el control de vuelo de la Estación Espacial Internacional.³⁰³

Un gran ejemplo es el uso de la telecardiología como una de las más grandes contribuciones de los cuidados vasculares en el espacio, pues permite la transmisión de datos clínicos desde el cuerpo del astronauta hasta una base de datos en la Tierra, con ella se monitorea el estado fisiológico que va cursando a lo largo de la misión, se clasifica el grado de afección a la salud e incluso se pueden prever cuadros clínicos de riesgo durante los largos viajes. Cabe destacar la participación del Dr. Ramiro Iglesias, como el primer científico mexicano en recibir un trazo electrocardiográfico desde el espacio proveniente del astronauta Anders que viajaba en el “*Apollo VIII*” el 24 de diciembre de 1968³⁰⁴ (Figura 14.2).

La atención a los cuidados, por otra parte, puede tener gran implicación en este campo, pues supone un enfoque clínico desde la Tierra al astronauta, centrado en frecuencia cardíaca, presión arterial, electrocardiograma, frecuencia respiratoria y algunos datos de signos y síntomas extra. Son éstos, datos suficientes para permitir el inicio de una valoración clínica permanente, una categorización de necesidades alteradas e intervenciones que solventen el problema de salud latente. Aunque en un futuro este tipo de contacto con los viajeros espaciales y la enfermería será *in situ*, ahora ya se puede pensar en teleenfermería como ya se hace dentro de la Tierra con múltiples pacientes simultáneamente.

A pesar de que existe hoy en día la telecirugía robótica y que ofrecen ventajas marcadas como disminución del trauma quirúrgico, disminución de hemorragias, menor tiempo de anestesia, pronta recuperación y en general mejores resultados clínicos. En materia de atención salubre en astronautas y el espacio, la telecardiología sigue siendo una mejor herramienta para el cuidado de la salud del astronauta para enfermería, ya que técnicamente es más fácil obtener, registrar y transmitir los signos clínicos, en conjunto son buenos indicadores del estado del astronauta y muestran las alteraciones a través de la estancia espacial de eventos críticos como la aceleración de escape, el periodo de aclimatación a la microgravedad, periodos de

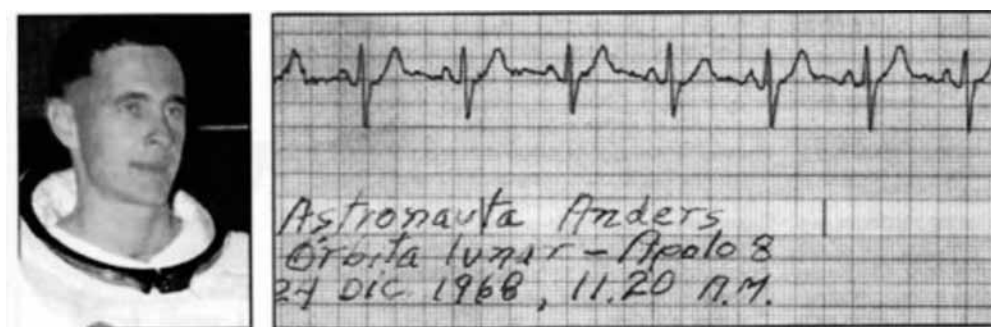


FIGURA 14.2.

Teleelectrocardiograma realizado al astronauta Anders en 1968 por el Dr. Ramiro Iglesias Leal.

actividad extravehicular, desaceleración de reingreso a la atmósfera y la gravedad terrestre.³⁰⁵

La comunicación de enfermería y los sujetos candidatos a vuelo también debe ser muy cercana previo al viaje espacial, durante el vuelo la atención podrá ser *in situ* y/o a distancia, y en los planes de atención junto con el equipo médico completo al regreso a la Tierra. Atendiendo etapas elementales del proceso de cuidados a la salud, es decir, valoración, diagnóstico, planificación, intervención y evaluación.³⁰⁶

Previo al viaje espacial

Además del examen clínico descrito en capítulos anteriores, es importante que el astronauta exprese todas sus opiniones, miedos e inseguridades sobre el viaje. En muchos casos les hacen entrevistas y tienen acercamientos con el presidente o comunicados internacionales para aminorar el impacto psicológico, además de aumentar la moral de la tripulación. Asimismo es crucial que exista un apartado de información y cuidados a la salud antes de que partan, así como se hace con el departamento de nutrición y acondicionamiento físico, entre otros, donde se informe a los astronautas a través de charlas y conferencias de educación en salud sobre tópicos como el manejo de emergencias en el espacio, el mantenimiento higiénico dentro de la nave, la medicación contra la sintomatología, procedimientos técnicos específicos de enfermería en el espacio realizados entre la misma tripulación, como registro de constantes vitales, técnicas para tomar muestra de tejidos sanguíneos, medidas de prevención de infecciones, así como explicarles el plan de cuidados que llevarán a lo largo de su estancia y orientarlos sobre efectos adversos de la microgravedad.

Durante el viaje espacial

Dentro de la nave espacial y derivado de la distancia puede surgir un problema con las telecomunicaciones, un retraso de minutos, cuestión que en emergencias podría ser crucial. Por eso se han implementado tecnologías *wereables*, que registran los datos clínicos a dispositivos cercanos. Podemos entender como *wearable* a todos los dispositivos que se pueden colocar sobre el astronauta y usar junto con el traje espacial e incluso colocarlos dentro del cuerpo del astronauta, esto nos permite llevar un registro minucioso, visualizar e incluso enviar y recibir información de forma inalámbrica. Se pueden llevar dispositivos como: brazaletes digitales, sensores de monitoreo en las piernas, en el pecho o en implantes dérmicos, sin duda abren un mundo de posibilidades a los telecuidados y la aplicación de la enfermería a distancia en el espacio, aunque es probable que en un futuro no muy distante sean necesarios cuidados en unidades espaciales de enfermería (Figura 14.3).

Téngase en cuenta además de la aplicación en telecuidados, los cuidados de comunicación propiamente dichos como contramedida a las afecciones psicológicas del confinamiento, soledad y estrés. Los astronautas tienen periodos de socialización y comunicación internos con los otros miembros del equipo, incluso participan



FIGURA 14.3.

Proyecto francés de prototipos *wereables* de monitoreo clínico a bordo de la EEI.

en actividades grupales programadas, donde logran expresar sus ideas. A la par de ser cuidados psicológicamente por los programas de salud de manera externa, a través de la planificación de intervenciones sobre comunicación como enlazar conferencias con estrellas cinematográficas, saludos a presidentes, participación en programas de televisión y enlaces científicos pero, sobre todo, lograr un canal de comunicación efectiva con familiares. Todo esto constituye parte de los cuidados psicológicos al astronauta a través de la comunicación.

Los medios de comunicación tradicionales de los astronautas desde el espacio se usan para enlazar conferencias como *skype*, trabajar en blogs como el caso de la astronauta Samantha Cristoforetti en *Google +*, publicar autofotos y fotos desde la estación espacial como Scott Kelly, videoblogs en *YouTube* como el astronauta Chris Hadfield o los canales de la NASA y Roscosmos, donde mantienen una vista permanente de la Tierra desde la EEI y en algunas fechas del año se mandan comunicados. Todos ellos también escriben en la plataforma *Twitter* y *Facebook* durante las misiones espaciales. Así como el primer *podcast* transmitido desde la EEI.

Al regreso a la Tierra

Si bien los planes de cuidado al regreso a la Tierra están enfocados en la situación orgánica del astronauta, es imprescindible pensar en la atención psicológica tras su regreso a la civilización. Este plan de aclimatación social debe de cruzar por periodos de acercamiento con sus seres queridos, informes generales de estado de salud al astronauta y a su familia, comunicados internacionales del estado del astronauta, a la par de acercamientos con médicos, científicos, y en muchos casos al presidente quien extiende felicitaciones personales por su desempeño extraterrestre. Es vital para la misión que el capitán de la tripulación entregue un informe detallado de los procesos vividos durante el vuelo espacial con el fin de aprender de los errores y mejorar, del mismo modo que socializar las peripecias y logros científicos de la misión con la agencia y la sociedad general del conocimiento astronáutico. Es probable que el cuidado de la necesidad de comunicación sea un factor clave para la recuperación orgánica del astronauta y un factor de gran peso para los fines de la misión y la ciencia.

Comunicaciones y transportes extraterrestres

Aunque el proyecto más actual de la NASA de colonización en Marte, "*Space X*", integra mucha de la tecnología de comunicación y revoluciona los dispositivos tecnológicos de transporte, como es el uso de drones, prototipos de naves espaciales autodirigidas, camionetas de transporte para la superficie marciana, satélites, etc, es probable que en misiones próximas se siga actualizando esta tecnología, ejemplo de esto es la propuesta de llevar internet a Marte a través de cientos de pequeños satélites o el desarrollo del transbordador reusable "*Dragon*" de la misma compañía, con el fin de agilizar el tiempo de traslado de pasajeros y acelerar el tiempo de retardo en las comunicaciones, para abrir paso a la aplicación científica de las múltiples disciplinas,

entre ellas la del cuidado de la salud de los astronautas y viajeros espaciales, pues se puede señalar que el reto de distancia y viaje entre planetas consiste en una alineación de ambos, donde Marte se ubique en su punto más cercano al Sol y la Tierra en su punto más lejano, en teoría esto colocaría a ambos planetas a una distancia de 54.6 millones de kilómetros, lo que se calcula tiene un tiempo de traslado aproximado de 18 meses, poniendo en alto riesgo la vida de cualquier sujeto para traslados y mensajes de emergencia, esto añade factores para considerar la implementación de unidades de enfermería espacial dentro de los puertos espaciales que se planean para dichas misiones.^{307,308}

Sólo para contextualizar al lector quizá sea necesario recordar que la velocidad de la sonda espacial más veloz es la “*New Horizons*” de la NASA que viaja a 58 000 km/h y hoy en día se ubica cerca de Plutón. Si su destino hubiera sido Marte tardaría 39 días como mínimo y 289 días como máximo, con un promedio de 162 días, es imprescindible contrastar esta información con la velocidad de la luz que tiene un valor de 299 792 458 metros por segundo y el sonido sólo viaja a 343 m/s dentro de la atmósfera terrestre, considerándose un Match.³⁰⁹

Si coincidiéramos la luz que percibimos de la Tierra a Marte, entendiendo que es lo más veloz en el universo, aun en su punto más cercano interplanetario, tendríamos un retraso de 3 minutos y 8 minutos del sol, lo que literalmente indica que aunque parece actual estamos viendo un reflejo luminiscente del pasado, situación que ejemplifica claramente la problemática de salud, pues en casos de emergencia unos minutos de no actuación sobre el organismo enfermo, como podría ser infarto cardiaco, se traducen en muerte.

En contraste algo semejante ocurre con las barreras comunicativas por distancia en el mismo planeta Tierra, entre continente y continente, lo que evidencia los mayores retos de comunicación extraterrestre, así como la intención constante de las agencias espaciales, expresada en desarrollo de exploraciones por sondas interestelares, enfocadas en localizar vida inteligente y establecer contacto con ella. Alguna vez Carl Sagan dijo,

“A veces creo que hay vida en otros planetas, y a veces creo que no. En cualquiera de los dos casos la conclusión es asombrosa”.

El supuesto de encontrar vida con cierta cultura requeriría una revisión lingüística para lograr comunicación efectiva, aunque el hombre ha encontrado un lenguaje universal, las matemáticas. De cualquier forma, la NASA ya tiene ejes de investigación en materia de comunicación exterior a la Tierra, conocido como SETI: *Search for Extra Terrestrial Intelligence* (Búsqueda de Inteligencia Extraterrestre), que intenta establecer comunicación a través de la emisión de mensajes al espacio de distintas formas, con la esperanza de recibir algún mensaje de recepción. Aunque jamás se ha recibido algún mensaje extraterrestre en la historia, los científicos no pierden la esperanza en este tipo de proyectos, pues el universo es mucho más grande que cualquier esfuerzo humano.³¹⁰

Sólo en nuestra galaxia existen alrededor de cien mil millones de estrellas y hay probablemente cien mil millones de galaxias, y en cada una de esas estrellas podría haber planetas en condiciones similares al nuestro. Esto matemáticamente implica un alto grado de probabilidad de que existiese alguna civilización, con necesidades, cultura, creencias e intenciones de comunicación como nosotros (Figura 14.4). Aunque la distancia es tal que aun viajando a la velocidad de la luz tardaríamos centenares de años en establecer contacto con vida inteligente. Esto, asumiendo que nuestra única barrera fuera la distancia y no variantes lingüísticas o multidimensionales con las que nos pudiésemos relacionar, cualquiera que sea, aún es un gran interés científico y popular.^{311, 312}

En conclusión, podemos entender la comunicación como una herramienta para lograr una estructurada organización, ampliando los horizontes de comunicaciones y transportes por la ingeniería, pero haciendo uso de ellos a través de la aplicación científica funcional para preservar el objetivo de los viajes espaciales. En el sentido de los cuidados, será un vehículo de enlace entre profesionales de las disciplinas espaciales para encontrar una resolución a las peripecias del trayecto y un importante instrumento para llevar a cabo las actuaciones clínicas de los profesionales del equipo médico, con énfasis en la *Enfermería espacial* y futuros profesionales preparados en grado tal que puedan brindar atención a la salud de los astronautas y otros miembros, dentro de las astronaves.

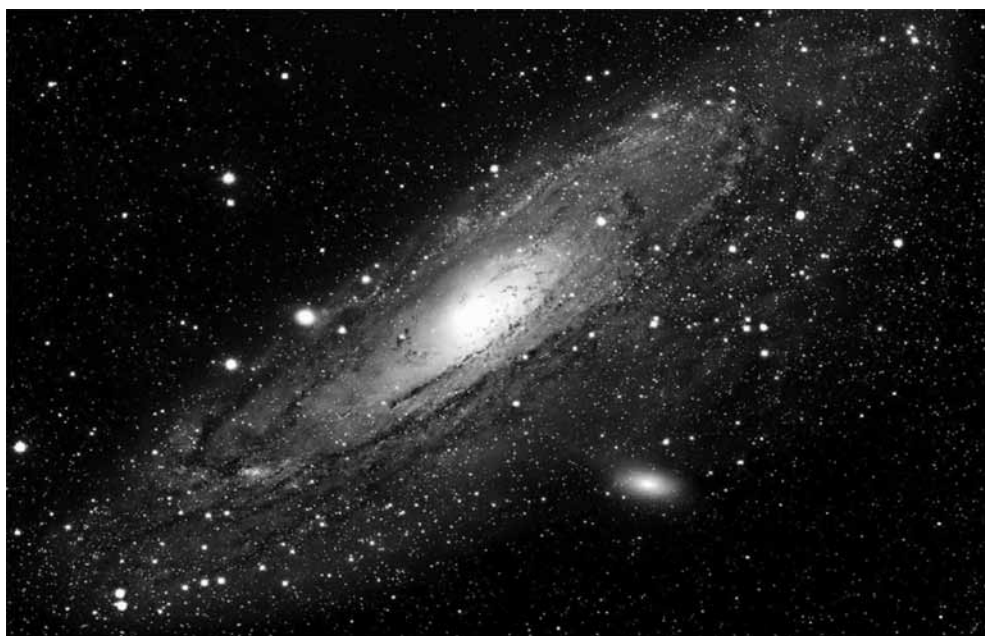


FIGURA 14.4.

Imagen de la Vía Láctea y su dimensión espacial entre miles de millones de estrellas.

Cosmovisión y experiencia espacial

Las creencias y los valores son tomados muy en serio por los astronautas y las agencias espaciales, pues tienen injerencia en la toma de decisiones y en la actuación del ser humano. Por eso en este apartado conoceremos más de cerca cuál es la cosmovisión social sobre las exploraciones del espacio, exploraremos las creencias religiosas, espirituales y cómo se mezclan con las teorías del universo y la física. Además, expondremos algunos ejemplos de astronautas y su personal conexión espiritual, prácticas y rituales. Sin dejar pasar la concepción mesoamericana del espacio interestelar y cómo afecta sobre la vida del ser humano. Finalmente conoceremos el sistema de valores con el que se rige la NASA para con los astronautas y cómo éstos actúan en consecuencia.

Necesidad de vivir conforme a valores y creencias

Actuar según creencias y valores es una necesidad humana que implica vivir y tomar decisiones conforme a la propia noción del bien y el mal, conducirse bajo valores y actuar según la concepción que se tiene de justicia, ideología y creencias particulares. No es posible la vida sin la interacción constante con otras personas y sociedades. Estas interacciones impregnan al ser humano de constructos culturales y espirituales, en los que se comparte la interpretación metafísica de la realidad y su prospectiva en la vida y en la muerte, es decir, la cosmovisión.³¹³

Desde la perspectiva histórica la cultura ha tenido un impacto sobre la exploración, a través de la creencia de encontrar más allá de lo que se conoce, nuevos lugares y sociedades en la Tierra, a veces esta navegación impulsada por grupos hegemónicos gubernamentales o eclesiásticos, ejemplo de esto es la influencia católica en el descubrimiento del continente americano. Las creencias siempre han acompañado al ser humano en su exploración, desde la antigüedad clásica con el pensamiento de monstruos marinos y la Tierra plana en las navegaciones marítimas, pasando por la Teoría heliocéntrica y la física de Newton que explica la dinámica astronómica en las trayectorias de lanzamientos espaciales, hasta llegar a las estructuradas concepciones interpretativas que hoy en día logran consenso científico del universo y que se usan para misiones espaciales, es decir la Teoría de la relatividad general de Albert Einstein, la Mecánica cuántica de Max Planck (Figura 15.1) o la Teoría de cuerdas. Sin duda el

desarrollo de la ciencia y la tecnología ha sufrido evoluciones en paralelo a los procesos sociales y culturales en los que se mezclan las creencias y valores de las naciones a través de la historia.³¹⁴

En todas las culturas la cosmovisión a lo largo de la historia de la humanidad ha sido trasladada a mitos y creencias hacia el cielo, proyectando la herencia cultural de las creaciones folclóricas representadas en constelaciones y deidades celestiales en los planetas, ejemplo de esto es el nombre actual de los planetas que derivan de los dioses griegos con su adaptación de nombre romano o la gigantesca muestra arqueológica de las culturas mesoamericanas que perpetuaron e ilustraron lo buen observadores del cielo que eran los mayas plasmando en códigos y pinturas su gran conocimiento astronómico, matemático y su rica mitología y rituales. Lo cual es propio de su cosmovisión religiosa y peculiar visión predictiva basada en ciencia y cálculos.³¹⁵

En América Latina también las tradiciones mesoamericanas compartían una cosmovisión de interpretación astral, donde se explica la fuerza de la naturaleza y el flujo de deidades con relaciones interestelares, objeto de veneración y de identificación de patrones astronómicos como agentes de acción benéfica o maléfica sobre la vida del hombre. La observación astronómica de los pueblos precolombinos combinaba cierta exactitud de predicciones sobre los fenómenos ligados a la dinámica de las estrellas, con manifestaciones sensoriales impregnadas de sacralidad, expresado

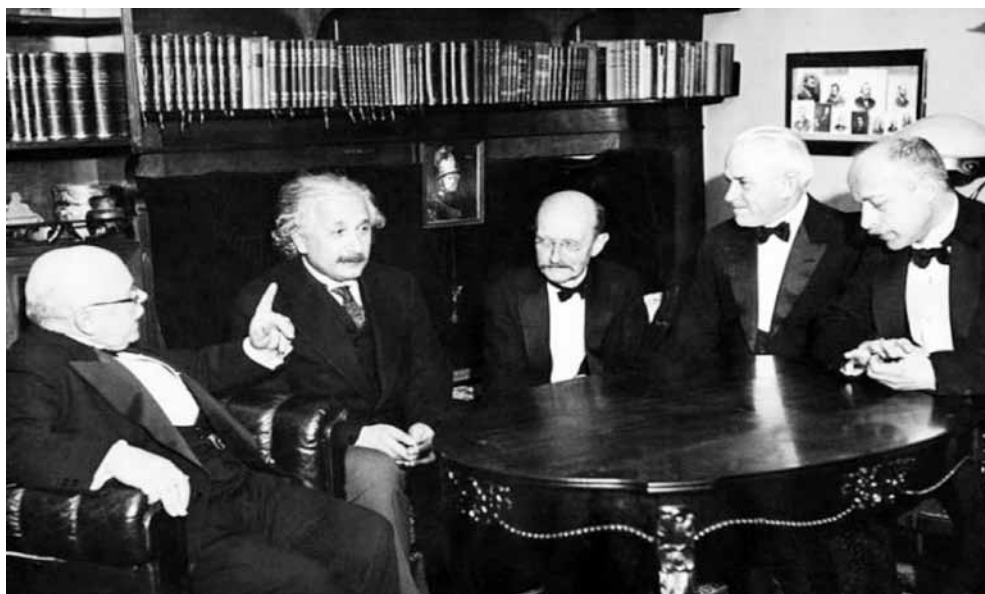


FIGURA 15.1.

Albert Einstein y Max Planck (*tercero de izquierda a derecha*), como postuladores de las dos teorías físicas que sirven de referencia para entender todo el campo espacial.

en la bóveda celeste, el mundo intangible y espiritual de las deidades y los ancestros, es decir, pensaban que el orden de lo terrenal era una reproducción fiel del orden cósmico universal. Esta idea queda clara en la expresión maya, “bey ti’ka’an, bey ti’lu’um (“según es el cielo, así es el mundo”). Siendo éste un claro ejemplo de la herencia en México y América Latina sobre el peso de la espiritualidad vinculada al cielo, el espacio y las estrellas.^{316,317}

La Estación Espacial Internacional incluye una diversidad de astronautas de muchas naciones, con diferentes costumbres y valores, pero en la estación y en las misiones se sigue la visión y valores de la NASA que rigen a los astronautas, aunque cada agencia espacial tiene sus propios valores muchos de estos son compartidos. Asimismo, la misión general de la NASA, como institución, es asegurar el éxito de cada uno de los protocolos de misión, contemplando el estado de salud de los tripulantes y las tecnologías para su desarrollo, proporcionando la seguridad de la operación a través de valores como: seguridad, integridad, respeto, trabajo en equipo, equilibrio, innovación y excelencia.³¹⁸

La NASA significa los valores como:

Seguridad, que implica el cuidado individual y grupal de daños innecesarios como piedra angular del éxito. El compromiso con la seguridad y salud de cada uno de los implicados en las misiones espaciales y con las sociedades en conjunto con otras agencias como indicador principal de seguridad

Integridad, construir el éxito mediante entornos de confianza y actuaciones éticas, donde se exige sinceridad y honestidad.

Respeto, apreciar la creatividad y extensa perspectiva de los diversos equipos, la diversidad es vital para el éxito

Trabajo en equipo, se entiende y se cree que el pensamiento, planeación, toma de decisiones y actuaciones son mejor cuando se hacen cooperativamente. Se reconoce la idea y creencia de que “ninguno de nosotros es tan bueno como todos nosotros”, también se reconoce que cada función es parte de un rompecabezas gigante

Balance, se cree en la importancia significativa de los logros y goces diarios de cada uno de los cuatro cuadrantes de la vida: trabajo, familia, amigos y a sí mismo

Innovación, cultivar creatividad y buscar conocimiento que fortalezca los equipos y a nosotros mismos. Reconociendo la innovación como una manera para energizar la motivación y actuación, llevado con un sentido de orgullo y logro personal

Excelencia, buscar consistentemente las maneras para mejorarnos y para mejorar la organización promoviendo un crecimiento continuo, aprendiendo de la diversidad de la experiencia. Se cree en proveer servicios de gran calidad que otorguen valor a largo plazo de los implicados³¹⁹ (Figura 15.2)

Estos valores internos en los astronautas cobran sentido debido al privilegio de asumir misiones de extraordinario riesgo, complejidad y de relevancia mundial e histórica. Además, cabe señalar que la interacción entre países y agencias



FIGURA 15.2.

Astronautas durante misión en actividad extravehicular clasificada en alto riesgo, EEI.

espaciales diversifica el marco de valores y creencias de los cosmonautas. Aunque generalmente las misiones espaciales son realizadas por Estados Unidos con la NASA y Rusia con Roscosmos, también están incluidos países como Canadá, Japón, Francia, Alemania, Italia, España, Suiza, entre otros. Lo que implica un intercambio cultural y político en el que se suman las creencias nacionales e individuales de cada astronauta.

Las creencias de orden religioso de los astronautas también son un aspecto inherente en las misiones espaciales y son relevantes en los contextos políticos de cada país, tal es el caso durante la guerra fría y la carrera espacial entre Estados Unidos y Rusia donde Neil Armstrong dijo la famosa frase

"Un pequeño paso para un hombre, un gran salto para la humanidad"

despertando la euforia y motivando a los científicos espaciales, para después hacer declaraciones en la Tierra sobre su condición cristiano-evangélico. Así como Neil Armstrong muchos astronautas han hecho pública su fe cristiana, como Frank Borman, John Glenn e incluso se puede ver durante una entrevista a la astronauta americana Sunita Williams en la Estación Espacial Internacional flotar por las cabinas con un crucifijo cristiano de metal sobre el cuello.³²⁰

Existe entonces una interrelación de esta necesidad con otras, por ejemplo, oxigenación con el control de la respiración mediante meditación, alimentación se ejemplifica con “La cena de acción de gracias” en el espacio, eliminación y las exigencias particulares de pudor, vestirse y desvestirse unida al uso de prendas alusivas a la Navidad durante esta época, o el caso del astronauta italiano Luca Parmitano disfrazado del superhéroe “Superman” durante la celebración de la noche de brujas, otro ejemplo es la decoración de la estación espacial con árbol navideño y calcetines en la necesidad de entorno y evitar peligros, pues brinda los medios que cuidan la integridad psicológica de los astronautas al igual que el esporádico hábito de los astronautas por mirar la Tierra desde la bóveda de la EEI. Comunicación y ocupación están muy relacionadas con las etapas de motivación y reconfortamiento espiritual, como leer mensajes de sus seres queridos o interactuar con grupos en la Tierra, como fue el caso de la interacción musical del astronauta canadiense Chris Hadfield con un conjunto musical desde el espacio con la Tierra.^{321,322}

Es entonces los viajes y la ciencia espacial un gran motivador y fuente de inspiración para los científicos, pues cada una de las misiones e innovaciones científicas construye un futuro mejor para la humanidad. De manera que envuelve los paradigmas culturales y tiene un fuerte impacto sobre la sociedad actual, al grado de mantener cierta vinculación desde las redes sociales como *Facebook*, *YouTube* o *Twitter*, en los que se han puesto *streams* de lanzamientos desde el estado de Florida o la constante puesta en *stream* desde la EEI en la Tierra, además de ser objeto documental para el público en general, en múltiples producciones cinematográficas, libros y documentales.³²³

Todo lo anterior ha construido las creencias y prospectivas de las naciones sobre el futuro y los avances científicos en materia de desarrollo espacial, actualmente la humanidad completa tiene la mirada en el 2033, la incertidumbre de la colonización en Marte y la esperanza del establecimiento permanente. Siempre se ha mantenido el interés del hombre en el mundo sobre las misiones relacionadas con la superficie en Marte, desde las primeras sondas espaciales que fotografiaban la superficie marciana durante la guerra fría, hasta la actualidad con el programa “*SpaceX*”, el desarrollo de transbordadores que buscan lograr una especie multiplanetaria, colonias sustentantes y viajes regulares a costos alcanzables por la población en general.

Se puede concluir que la necesidad de actuar según creencias y valores debe ser cuidada por el personal de Enfermería, desde el enfoque particular y social. Atender a las creencias personales de cada astronauta en adhesión con su cosmovisión cultural en todos los sentidos, proteger el entendimiento ideológico y moral de cada sujeto a través de la comprensión del conjunto de ideas y valores sociales de cada uno. Asimismo respetar y procurar los espacios de los ejercicios rituales, como ceremonias y celebraciones. Pero sobre todo la ciencia de Enfermería debe apropiarse de valores y creencias para poder ser fuente de inspiración para las nuevas generaciones espaciales y brindar cuidados de calidad a la futura especie interplanetaria.

Misión espacial: de la ocupación estelar a la autorrealización

En este capítulo puntualizaremos cuáles son los aspectos que se deben valorar en esta necesidad. Retomaremos los principales propósitos para alcanzar la satisfacción de esta necesidad. Realizaremos una correlación entre la ocupación espacial para alcanzar la autorrealización y la ejecución consecuente del trabajo como astronauta. Enlistaremos las aptitudes y actitudes individuales que requiere cada persona para conseguir la labor de astronauta. Y finalmente, exploraremos los diversos roles de los tripulantes durante una misión espacial.

Necesidad de ocuparse en labores que lleven a la realización personal

La capacidad de ocuparse para conseguir la autorrealización es consideando una necesidad psicosocial. En ésta se valora la capacidad que cada individuo tiene para conducirse en una labor en la que se sienta satisfecho consigo mismo y con el rol que ejerce. Esta satisfacción será circunstancial para la percepción de su propia realización, concepto e imagen. También es valorable la fortaleza de cada persona ante los factores externos que puedan afectar la integridad y manejo de estrés. Para que esta necesidad se lleve a cabo satisfactoriamente, es importante que el individuo comparta valores e intereses deseados mientras realiza esta labor.³²⁴

La ocupación como astronauta

La palabra *astronauta* proviene de las raíces etimológicas *astron* que hace alusión a las estrellas y *nauta* que quiere decir viajero. Es así que se concibe al astronauta como el viajero a través de las estrellas o astros, aquel explorador que se transporta por el espacio interestelar o aquel aventurero que emprende el viaje a otros ambientes en travesías por el cosmos.

El camino para la ocupación como astronauta no es fácil, es necesario tener cualidades, habilidades y aptitudes que permitan el desenvolvimiento del individuo en ambientes ajenos. De igual forma, es indispensable que éste sobresalga en capacidades físicas y mentales para poder aplicar sus conocimientos y habilidades, mismas que retribuirán la misión a la que está destinado. Los astronautas son un

eje fundamental para el éxito o fracaso de una misión, por eso las oportunidades son escasas y, por otra parte, debido a los elevados costos de inversión para la formación de un astronauta, es que la selección de los mismos debe ser minuciosa.³²⁵

Antes de hablar de las cualidades sociales, profesionales y fisiológicas, es importante puntualizar que, inicialmente, es necesario que un individuo conciba una autorrealización en la profesión de astronauta, ayudándole en la autopercepción al ejercer las labores que implican ser un viajero de las estrellas. Esto es lo que primordialmente los hace especiales.

Con respecto a las aptitudes profesionales, el solicitante requiere contar con un alto nivel de formación en una serie de disciplinas científicas o técnicas,³²⁶ aunado a un destacado perfil profesional en la investigación, aplicación metódica o educación, que a su vez esté apoyado por sistemas informáticos. Si el individuo tiene previas labores con la operación de aeronaves, tiene una gran ventaja.

Por otro lado, las habilidades anatomofisiológicas son significativas para el cumplimiento de una misión; los individuos que apliquen para laborar como astronautas deben pasar periodos intensos de preparación y entrenamiento que inclusive pueden durar meses, tiempo durante el cual su cuerpo resentirá demasiado estrés y resistencia física (Figura 16.1). Es importante recalcar que el individuo requiere una fortaleza que le posibilite luchar contra los factores de estrés pues algunas de las pruebas físicas implican vivir en espacios confinados durante largos periodos lo cual necesita adaptabilidad y autocontrol del carácter, esto se traduce en una acertada capacidad de resolución y le permite hacer frente al estrés y cualquier emergencia que pudiera surgir. Otro componente esencial de las competencias físicas integra las habilidades corpóreas para pasar el vuelo espacial de larga duración que incluye los siguientes requisitos: agudeza visual distante y cercana debe ser corregible a 20/20 en cada ojo, la tensión arterial que no exceda niveles de 140/90 mientras el individuo está en *Fowley* y una altura entre 1.57 y 1.91 m. Finalmente, en las cualidades físicas, la persona debe estar preparada para recorrer largas distancias y pasar largos periodos de viaje participando en misiones de duración prolongada.

En lo que a habilidades sociales y psicológicas se refiere, se necesita gran experiencia para la empatía y la afinidad por el trabajo grupal, ya que durante las misiones espaciales se pasan al menos 6 meses con el mismo equipo de trabajo. Por otro lado, es inevitable que el astronauta esté en el centro de atención público y ante medios de comunicación, por lo que las reuniones con la prensa y sus seguidores deben ser agradables para él. Finalmente debe dominar con fluidez el idioma inglés y ruso (aunque algunas veces también se le solicita conocimiento sobre el idioma japonés) pues esto facilitaría las relaciones con el resto de los tripulantes a bordo de las naves espaciales.

Como se puede constatar, para aplicar y ser parte del gremio de los astronautas están implícitas una serie de habilidades y actitudes que individualmente harán sentir satisfecho a la persona, pues la capacidad de actuar durante las labores espaciales beneficia los patrones de conducta y autopercepción ante las actividades a desempeñar. Los aspirantes eligen poner en marcha sus habilidades y así pueden



FIGURA 16.1.

Astronauta durante pruebas de entrenamiento ante diversos factores de estrés.

seleccionar un rol que sea compatible con sus metas y objetivos personales durante la misión. Es claro que a bordo de la nave espacial o la EEI, las actividades a realizar dependen del rol que cada tripulante adopta.

Roles a bordo de la nave espacial

Como se ha mencionado en párrafos previos, las labores y ocupaciones de un astronauta le destacan en distintas áreas, mismas que recogen los propósitos individuales y ayudan al cumplimiento de la necesidad de ocupación para la autorrealización. La elección de un rol durante la misión espacial ayuda a satisfacer los objetivos personales y por lo tanto a conseguir un fin particular. A continuación, se describen brevemente los roles actuales que el astronauta puede fungir:³²⁷

Comandante: es el capitán del vehículo espacial. A bordo de la nave tiene diversas responsabilidades como el vehículo, los tripulantes, el éxito de la misión y la seguridad del vuelo. Su actuación representa el mando jerárquico más alto, así que deben destacar sus habilidades y primordialmente la empatía con el resto del equipo a su cargo.

Piloto: es la persona que puede suplir al comandante. El piloto coadyuva al comandante en los controles y comandos de la nave espacial. Otras funciones son las de auxiliar en el despliegue y recuperación de satélites utilizando el *Remote manipulator system* (sistema de manipulación remota), realizando actividad extravehicular (EVA) y en operaciones de carga útil. Tanto el comandante como el piloto deben cubrir 1 000 horas de vuelo y las especificaciones físicas antes mencionadas.

Especialista de la misión: esta tripulación labora en conjunto con el comandante y piloto. Su mayor responsabilidad es coordinar las operaciones de la misión desde distintos enfoques: sistemas, planificación de las actividades de los tripulantes, operaciones de experimentación, carga útil y uso de consumibles. Previo al vuelo espacial, los especialistas de misión se capacitan acerca de los detalles de los sistemas a bordo, las características operacionales de la nave, los requisitos y objetivos de la misión y los sistemas de apoyo para cada uno de los experimentos que se realizarán. También realizan EVA, pues operan el sistema de manipulación remota y son responsables de recibir cargas útiles (dotadas de alimentos, ropa, agua, etc.). Es esencial que ellos tengan un conocimiento detallado de los sistemas de la nave o de la EEI.

Especialistas de la carga útil: esta parte de la tripulación está compuesta por personas que no necesariamente son astronautas y tienen tareas especiales a bordo. Su selección es propuesta por la agencia espacial, algún patrocinador externo o un patrocinador de carga útil. Estos tripulantes son considerados como miembros adicionales a la tripulación, siempre que la misión lo amerite.

Educador astronauta: los antecedentes de este rol a bordo de las naves espaciales datan de los años 80, sin embargo, la primera astronauta en ocupar este puesto fue Barbara Morgan en 2007 durante la misión *STS-118*.³²⁸ Las habilidades de este tripulante incluyen instrucción en lenguas extranjeras y una extensa preparación en emergencias, acondicionamiento físico, educación en principios científicos y de ingeniería y simulación de todos los procedimientos que se pudiesen suscitar en el espacio. Es en este rol donde la participación presencial de enfermería podría sustentarse dado el amplio enfoque desde el que aborda los cuidados: educacional, preventivo, asistencial y científico.

La orientación profesional dentro de la selección del rol para una misión espacial complementa al hombre y a la profesión. Las aptitudes físicas y mentales y las tendencias para efectuar ciertas labores encaminan al desarrollo profesional e individual y enriquecen los objetivos de la misión. Es así como la acción personal es llevada a cabo para originar una acción colectiva que beneficia el fin común, y en particular, permite la satisfacción de la necesidad de efectuar una labor que obtenga un sentido de realización personal.

Recreación y estancia espacial

Los procesos psicológicos y el estrés son factores determinantes durante las misiones espaciales, y dado que la necesidad de establecer periodos de recreatividad es la terapia más funcional para el cerebro frente a las extenuantes labores y entornos de ingravidez, en este capítulo abordaremos la penúltima necesidad aquí descrita y su correlación con las intervenciones de cuidados actuales en el espacio con astronautas, ejemplificaremos algunas actividades en la Estación Espacial Internacional y abriremos el horizonte en relación con la recreatividad para colonización y viajes prolongados.

Recreación en astronautas

Es la decimatercera necesidad humana, que es la necesidad de participar en actividades recreativas. Recreación es definido como acción-efecto de recrear y brindar diversión para alivio del trabajo, la recreación no es más que la actitud lúdica positiva para desarrollar actividades que permitan el logro del balance biológico y social, dando como resultado una buena salud y mejor calidad de vida.

De esta manera es como Enfermería aborda el cuidado de dicha necesidad y según Virginia Henderson constituye un requisito esencial para mantener su integridad. La necesidad de participar en actividades recreativas se encuentra anclada a la necesidad de descanso, comunicación y aprendizaje primordialmente, incluso contempla paradigmas psicológicos o pedagógicos y conlleva actividades para el desarrollo de habilidades de pensamiento, ejercicios mentales y destrezas físicas.

El desarrollo de dinámicas lúdicas tiene un impacto directo en los niveles de estrés, disminuyéndolos y otorgando al sujeto momentos de descanso y socialización. En el espacio bajo la microgravedad, el inminente peligro y las extenuantes labores de los astronautas, podrían desarrollar cuadros serios de distrés o síndrome de *burn out*, pues es uno de los trabajos de mayor complejidad y riesgo, y generalmente se desarrollan en el espacio alteraciones psicológicas relacionadas con el aislamiento y confinamiento, además de estrés o depresión.³²⁹

Desde la neurología se sabe que en procesos de intervalo entre ocupaciones en las que el cerebro se encuentra enfocado recae la tendencia natural al recreo y esparcimiento,

debido a que el cerebro tiende a regular por sí solo los patrones de trabajo y descanso. Además, se sabe que en la fisiología neuronal el nivel sináptico aumenta, producto del incremento de estímulos cerebrales de las diferentes regiones del cerebro. En esto radica la importancia de establecer diversos estímulos a través de las actividades lúdicas y contrarrestar los niveles de ansiedad o estrés en astronautas.

Vivir en el espacio no sólo implica trabajar, aunque tienen largas rutinas de ejercicio, tiempo en el laboratorio, actividades extravehiculares y encargarse de sus necesidades básicas, a los astronautas les gusta divertirse al igual que cualquier ser humano. Por eso requieren de distractores que les den tiempo libre a su dura rutina mientras orbitan la Tierra, por semanas o meses. Esto es contemplado por personal en tierra para planear horarios que combinen trabajo y recreación diarios, con el fin de brindar diversión, relajación y optimizar el tiempo de aplicación de los procedimientos que son objetivo de la misión. Labor que debe estar adherida a los programas de *Enfermería espacial* y ser estudiada a través de la investigación de implicación y repercusiones al confinamiento y contramedidas de cuidado³³⁰ (Figura 17.1).

El grado de implicación y repercusiones del confinamiento se puede contrastar con los numerosos experimentos que se han hecho en análogos de la Estación Espacial Internacional, como equipos en submarinos, o miembros de equipo confinados a la investigación en la Antártida, en los que se acentúan las alteraciones emocionales, comunicativas y sociales, como incremento de la hostilidad, deterioro de los canales de comunicación entre los miembros del equipo, disminución de la confianza e interacción social.³³¹

Para atender esta necesidad es primordial que enfermería comprenda las funciones educativas del juego y su desarrollo sobre las capacidades intelectuales, muchos de los juegos en el espacio son de tipo intelectual como ajedrez o “Scrabble”, además los experimentos en el espacio algunas veces involucran juguetes ordinarios y cómo la microgravedad los afecta; el aspecto físico integral, pues implica un desahogo físico, ejemplo de esto es el video de la NASA en el que los astronautas Reid Wiseman, Steve Swanson y Alexander Gerst aparecen jugando fútbol en la EEI; la integración emocional del juego, ya que conlleva elementos trascendentes en las misiones como manejo de emociones y expresión de las mismas; y, por supuesto, la concepción de las dinámicas sociales, canales de comunicación entre la tripulación y fortalecimiento de lazos afectivos.

Debido al grado de estrés y condiciones extremas a las que se puede someter un astronauta y en un futuro cualquier viajero espacial, como el prolongado viaje a Marte, en el periodo previo al vuelo es necesario establecer un marco de actividades según el perfil psicológico de cada sujeto, debido a ello el departamento de psicología de la NASA ha clasificado los perfiles y se han creado medidas para contrarrestar el riesgo de desarrollar síndrome de *burn out*. Es de vital importancia contar con la valoración psicológica previa completa, además valorar hábitos y preferencias para estructurar un plan previo de intervenciones de enfermería en este dominio, con el



FIGURA 17.1.

Astronautas realizando diversas actividades recreativas a bordo de la Estación Espacial Internacional (EEI).

fin de llevar una ejecución exitosa y aminorar o anular cualquier potencial riesgo de distrés en la astronave.³³²

A esta valoración se suman factores como la intervención de familiares o un equipaje extra con instrumentos u objetos lúdicos favoritos de cada astronauta.

Durante el viaje espacial y con el horario previamente planificado se indican intervenciones recreativas, la más popular de ellas es simplemente mirar por la ventana de la EEI, lo pueden hacer desde la bóveda de la nave, pero también cuentan con numerosas ventanas para hacerlo. Muchos comentarios de astronautas

señalan la fascinación de ver la Tierra girar a gran velocidad, y contemplar las múltiples figuras y texturas atmosféricas, algunos toman fotografías desde las ventanas sobre la fascinante transición del alba y el ocaso que ocurre cada 45 minutos sobre la superficie terrestre.³³³

Igualmente se prescriben actividades durante el viaje espacial como ver películas en compañía, escuchar música, leer libros, jugar cartas o establecer comunicación. Por lo que la base de operaciones bajo las recomendaciones de salud procura vincular videoconferencias con familia, amigos, científicos reconocidos o conferencias sorpresa con actores y artistas. Así como también permitir la vinculación por redes sociales y publicar desde *Twitter*, correo electrónico o *YouTube*, como es el caso de la astronauta Samantha Cristoforetti, además de mantener el contacto con noticias de audio y video y noticias deportivas. Cabe señalar que cada uno de los astronautas cuenta en su cabina de sueño con una computadora personal en la que pueden cargar un *software* recreativo, material de audio y video para uso recreativo y también se incluyen imágenes de seres queridos.³³⁴

Muchos astronautas también tocan algún instrumento en el espacio, Frank L. Culbertson tocaba la trompeta, Chris Hadfield la guitarra e incluso participó en conciertos tocando en vivo desde el espacio y el astronauta Kjell Norwood Lindgren que tocaba la gaita, por citar algunos ejemplos.

En algunas ocasiones incluso tienen tiempo de convivios recreativos entre la tripulación y tiempos libres marcados para celebrar ceremonias como cumpleaños o Navidad. Los astronautas también juegan con la microgravedad y los alimentos, les permiten llevar ciertos alimentos como chocolates o papas de bolsa, incluso se ha grabado en videos el comportamiento de líquidos en el espacio y cómo los astronautas ingieren sus alimentos en ingravidez de manera singular.³³⁵

Al regresar a la Tierra y tras la larga jornada de trabajo bajo confinamiento, es necesario que los astronautas crucen por periodos de aclimatación social con amigos y familiares. Se llevan a cabo reuniones con sus seres queridos para ayudarles a reajustar sus vínculos en la Tierra, a la par que se evalúa su salud psicológica general y se deben diseñar estrategias de contramedida desde el primer instante para buscar la adaptación social. Generalmente los astronautas a su regreso son entrevistados en televisión o radio, además participan en eventos públicos donde se reconoce su labor.

En un futuro no distante no sólo los astronautas se enfrentarán a esto de manera más cotidiana, también existirán viajeros espaciales que se desplacen largas distancias y requieran una planificación completa de intervenciones recreativas para hacer más llevadero el viaje. En palabras de Elon Musk, director del proyecto "*Space X*" y la colonización en Marte, durante el Congreso internacional de Astronáutica celebrado en 2016 en Guadalajara, Jalisco, al cual asistieron los autores como parte de esta investigación, se presentó por primera vez el plan de colonización y especie multiplanetaria a Marte, se mencionó la importancia de mantener el viaje

entretenido y aseguró que los largos viajes a Marte contarían con actividades de recreación continuas como restaurantes o cines, cabe mencionar que una de las líneas del proyecto *Space X* es colocar satélites en órbita para disponer de internet en Marte³³⁶ (Figura 17.2).

Este interés se ejemplifica en la suma de transbordadores espaciales de uso turístico desarrollados por compañías como Xcar, BlueOrigen, VirginGalactic, SpàceX o go- ZeroG (Figura 17.3), entre otros; además de la intención de impulsar los viajes turísticos suborbitales y orbitales se tiene en mente la construcción de estructuras habitables en el espacio, una especie de hotel espacial, existen algunos proyectos en marcha por parte de Bigelowaerospace o Galacticsuite, por mencionar algunos. Otro interés recreativo espacial es la instauración de deportes en el espacio, aunque el astronauta Shepard en 1971 jugó golf en la Luna; existen máquinas de gimnasia en la Estación Espacial Internacional o paracaidismo desde el espacio, como el sucedido en el año 2012 donde la empresa Redbull lanzó a Felix Baumgartner en paracaídas; aún es un campo a estudiar y explorar. Lo mismo se puede decir sobre los viajes espaciales turísticos a la Luna o al planeta rojo, éstos se verán después de



FIGURA 17.2.

Elon Musk, fundador de *SpaceX*, en conferencia sobre viajes interplanetarios.



FIGURA 17.3.

Físico Stephen Hawking durante un vuelo turístico parabólico de la compañía "Zero G".

las fases iniciales de exploración y reconocimiento con transbordadores modernos, probablemente después del 2030.

Aunque los viajes espaciales turísticos son cada vez más comunes, como los impulsados por la compañía Virgin Galactic y son en sí mismos objeto de recreación, se deben iniciar ejes de investigación en materia de psicología para hacer una revisión sobre actividades recreativas y su implementación, tal como actualmente se hace en viajes turísticos en avión, donde se brinda a los pasajeros comodidades de internet, música y video.

Enfermería tiene un gran compromiso y reto para con las ciencias espaciales, pues implica una visión completa del astronauta, una valoración metodológica de esta necesidad a través de la multidisciplinariedad como es psicología o pedagogía, y una responsabilidad en la ejecución de intervenciones que alivien esta necesidad.

El aprendizaje, ciencia y viajes espaciales

En este capítulo puntualizaremos el concepto de aprendizaje y su importancia dentro de las necesidades básicas del ser humano. Recordaremos los aspectos a evaluar en esta necesidad y cómo alcanzar su cumplimiento. Asimismo describiremos la importancia de la participación de enfermería para la satisfacción de esta necesidad. Contextualizaremos al aprendizaje desde una perspectiva científico-espacial y cómo ésta puede llevarse a cabo previo al viaje y a bordo de la nave espacial. Finalmente se propone la colaboración activa de enfermería, desde el rol de enseñanza, para el aprendizaje de las técnicas de salud que permitan la investigación fisiológica espacial y supervivencia de los astronautas.

Necesidad de aprendizaje

Podemos conceptualizar al aprendizaje como un proceso continuo a través del cual se obtienen y modifican diversas habilidades, competencias, actitudes y conductas a partir de la adquisición de nuevos conocimientos que son aplicables por el aprendiz. El empleo de este saber tiene un fin personal y/o colectivo.

En Enfermería se juega un papel importante en el proceso de enseñanza-aprendizaje para alcanzar el conocimiento. El ejemplo más contundente sobre esto es la enseñanza de los cuidados, mismos que se consideran una parte fundamental de la atención básica a la persona, y los conocimientos que ésta recibe tienen un valor importante en la educación para la salud. Este binomio donde interviene el profesional de Enfermería en un rol docente y la persona como un receptor de la información fortalece y permite la enseñanza. De esta manera, el aprendizaje es incluido y categorizado como la última necesidad esencial que todo ser humano debe satisfacer para alcanzar el bienestar salubre y psicosocial.

Tomamos en cuenta que la acción de aprender es un tanto subjetiva, pues el estudio de un nuevo conocimiento varía de persona a persona. Sin embargo, es importante rescatar que para que se dé el cumplimiento de esta necesidad, es necesario tener en cuenta diversos factores que pudiesen afectar al individuo o al medio de aprendizaje. Estas circunstancias pueden ser: los conocimientos previos, la capacidad personal para aprender, alguna limitación cognitiva o física, la disposición para mejorar los conocimientos, entre otros.³³⁷

La adaptación y aplicación de esta necesidad en los astronautas debe estar enfocada en dos ámbitos esenciales: el aprendizaje para la prevención, atención y cuidados a la salud (con la participación activa del cuidador) y el aprendizaje técnico-especializado en aspectos propios de la misión espacial. Ambos puntos giran en torno a un eje en común: la investigación y el estudio de la supervivencia humana en microgravedad para la obtención de conocimientos.

Previo al vuelo espacial

En capítulos anteriores hemos visto que el proceso de selección de astronautas permite distinguir a aquellos candidatos que sean aptos y capaces de adentrarse en las ciencias espaciales, lo cual les posibilita acceder a un espacio que le acerca al conocimiento colectivo a través de la experimentación, es decir, a realizar misiones espaciales cuyo objetivo primordial sea el estudio de la supervivencia del ser humano en un entorno de microgravedad y las repercusiones anatomofisiológicas que esto representa. Pero antes de hablar del conocimiento generado durante la misión espacial, retomaremos la importancia del aprendizaje previo que requieren los tripulantes durante el entrenamiento e instrucción como viajeros espaciales.

Previo al viaje espacial, cada uno de los astronautas debe poner en marcha diversas habilidades y aptitudes físicas y mentales, las cuales son adquiridas durante el entrenamiento que antecede a la expedición espacial. Esta preparación está basada en la enseñanza de técnicas que garanticen la permanencia y vida del tripulante a bordo de la nave espacial y, por lo tanto, en el aprendizaje de las mismas.³³⁸ Para obtener estos conocimientos, es necesario que los astronautas vuelvan al salón de clases para recibir este saber. Independientemente del rol que desempeñarán durante la misión y la preparación profesional previa, todos los candidatos adquieren un aprendizaje similar.

Inicialmente, los astronautas reciben instrucción militar (aquellos postulantes que aún no tengan dicha preparación), misma que deben aprender y completar durante un entrenamiento que complementa sus conocimientos sobre la supervivencia en entornos no habituales como la microgravedad. La simulación de estos ambientes se realiza con pruebas acuáticas y terrestres y el objetivo es reafirmar la actuación de los tripulantes ante diversas emergencias, como qué hacer ante aterrizajes no planeados o un aborto de la misión durante los primeros minutos de despegue. Aunado a esto se requiere realizar ensayos en agua que simulan la actividad extravehicular (EVA), y así prevenir riesgos durante las caminatas espaciales, como el percance que el astronauta Luca Parmitano tuvo en 2013 cuando su casco se comenzó a llenar de agua y tuvo que volver de emergencia a la capsula de la EEI.³³⁹ En este sentido, las pruebas consisten en buceo que se aprende en un ambiente acuático controlado y tienen lugar en una piscina que reconstruye algunos escenarios que pudieran suceder durante la EVA (Figura 18.1). Esto es evaluado y calificado en distintos exámenes de natación. Con esto, se obtiene la calificación de buceo (*scuba diving*).

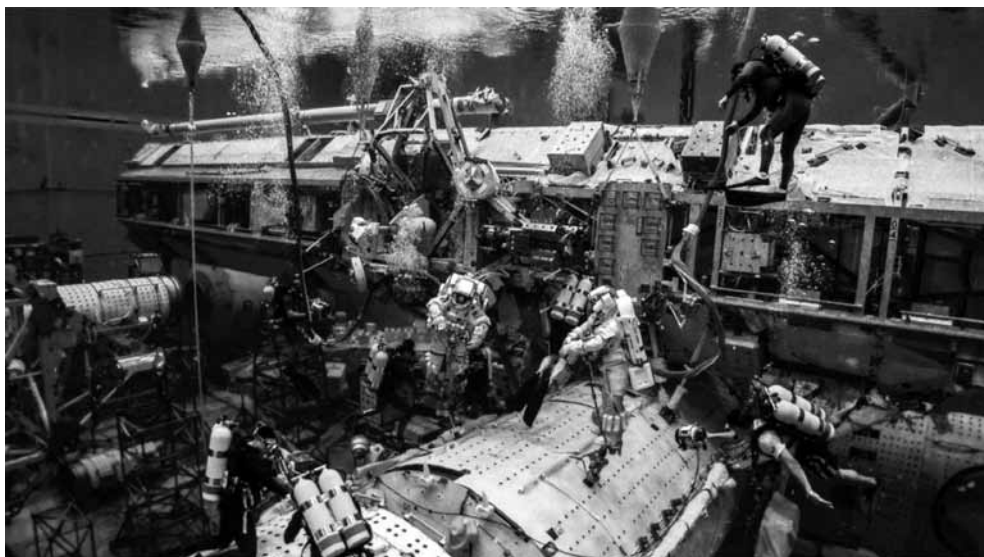


FIGURA 18.1.

Pruebas acuáticas realizadas por astronautas para practicar la Actividad Extravehicular (EVA).

En cuanto al aprendizaje teórico, es necesario que los solicitantes vuelvan a la “escuela de vuelo”³⁴⁰ pues ahí, en mayor parte, aprenderán métodos de sobrevivencia relacionados con el vuelo espacial, desde cómo hablar por radio hasta cómo asegurar que un avión está listo para volar. El tiempo de aprendizaje es corto y los contenidos son muchos por lo que los astronautas pasan largo tiempo en los salones de clase y simuladores de vuelo³⁴¹ que les servirán para prepararse previo al viaje espacial.

La importancia del trabajo en equipo se reflejará en el cumplimiento o fracaso de la misión. Por eso los tripulantes de la misión espacial deben recibir educación especializada en idiomas pues actualmente, durante las misiones hacia la Estación Espacial Internacional se debe tomar un “taxi”, mejor conocido como cápsula “Soyuz”, lo que implica un dominio del idioma ruso y, por lo tanto, la capacidad de entender la navegación y los componentes de dicha capsula. Para esto, los astronautas pasan varias semanas en el Centro Gagarin, ubicado en Moscú para aprender estos dos aspectos tan esenciales, el idioma y el correcto uso de esta nave espacial.

Finalmente, la última característica que se requiere durante la preparación formativa, y tal vez la más importante, está encaminada a la enseñanza de medios que procuren la salud en un ambiente con gravedad disminuida. Es aquí donde se propone la participación activa del personal de Enfermería, quienes retomarían el rol de enseñanza para instruir sobre dichas acciones, mismas que ratifican la vida humana

durante la misión espacial. Y en la otra parte están los astronautas como aprendices, quienes estudian, profundizan y practican los métodos y técnicas de educación para la salud. Por esto la intervención de Enfermería resulta importante para la preparación educativa de las técnicas a realizar a bordo de la nave espacial, mismas que consigan la permanencia de los tripulantes y disminuyan los riesgos durante el viaje espacial.

A bordo de la nave espacial

Casi tan pronto como fueron lanzados los primeros viajes tripulados, el ser humano comenzó a utilizarlos para realizar investigaciones y estudios sobre cómo la micro-gravedad y otros efectos adyacentes ocurridos en el espacio exterior, afectaban la vida de los tripulantes. Los astronautas que viajan al espacio tienen objetivos precisos para llevar a cabo diversos experimentos científicos en una variedad de áreas tan grandes como el espacio. Estas áreas de estudio incluyen las ciencias humanas, biológicas y biotecnológicas, anatómicas y fisiológicas, psicológicas, físicas, ciencias de la Tierra y el espacio, salud ambiental, salud pública, ingeniería, entre otras. Para que el lector tenga una idea del impacto experimental realizado en el espacio, tan sólo entre los años 2000 y 2011 se han publicado más de 1 600 investigaciones³⁴² cuyo principal fin es apoyar el aprendizaje científico.

En la actualidad el laboratorio más grande y fiable para la investigación espacial no está en la Tierra, sino orbitándola. Nos referimos a la Estación Espacial Internacional (Figura 18.2), cuya construcción se inició en 1998, es un laboratorio espacial cuya proeza es ser un espacio que alberga instalaciones científicas que favorecen un entorno idóneo para la investigación de la respuesta humana ante un ambiente de microgravedad. Este entorno permite a los investigadores observar respuestas fisiológicas únicas que no son enmascaradas por la gravedad terrestre, un ejemplo de esto es el flujo y fluido termocapilar y la estructura de las células vivas.

Otra de las peculiaridades de la estación espacial es posibilitar las demostraciones tecnológicas más allá de la órbita terrestre baja, por lo que los experimentos no sólo favorecen al aprendizaje espacial, sino que la mayoría de ellos apoya el progreso científico a cuestiones terrestres. Los más claros ejemplos son el ultrasonido a distancia^{343,344} o la aplicación de la Telemedicina que inicialmente fueron desarrollados para permitir la atención asistida desde la Tierra a las naves espaciales, sin embargo, hoy en día son prácticas comunes que se utilizan en regiones con escasos recursos y un alcance limitado a la salud. En México, la aplicación de esta “Medicina a distancia” ha tomado gran auge en la atención sanitaria en estados de la República con carencia de recursos y con difícil acceso a estas regiones.³⁴⁵

Hasta la fecha, se han realizado 50 expediciones tripuladas a la EEI, mismas que han sido aprovechadas para realizar distintas experimentaciones y por lo tanto generar nuevos conocimientos y aprendizaje que puede ser utilizado en diversas áreas. Todo este aprendizaje científico-tecnológico-sanitario, es esencial para el

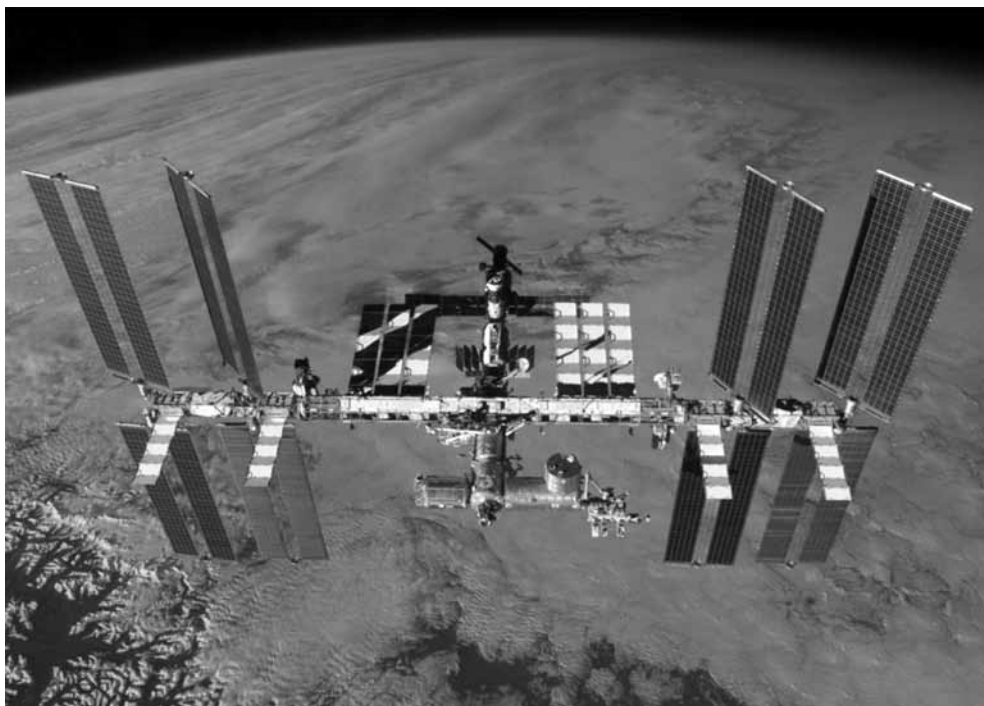


FIGURA 18.2.

El mayor laboratorio científico espacial: la Estación Espacial Internacional (EEI) o International Space Station (ISS).

cumplimiento de los objetivos de investigación que cada astronauta realizará durante la misión espacial. Con respecto al aprendizaje colaborativo abordado desde la perspectiva de enfermería, aunque actualmente no hay participación presencial a bordo de las naves espaciales o de la Estación Espacial Internacional, se propone que, ante la posible colonización en Marte, el personal capacitado de Enfermería estuviera presente, manteniendo un rol asistencial y de enseñanza, a bordo de las naves espaciales de traslado y en las villas de salud marcianas.

Para concluir, podemos constatar que la necesidad de aprendizaje ha sido cumplida si el astronauta se siente satisfecho con la labor experimental que realiza durante las misiones, misma que genera un aprendizaje benéfico para el conocimiento de la Medicina espacial y de otras áreas especializadas en los vuelos.

Conclusiones

Las conclusiones generales de este libro descritas a continuación son expuestas en dos vertientes principales: la trascendencia de aplicación teórica del constructo argumentativo del trabajo y las particularidades técnicas propias de la investigación documental, los retos y el enlace práctico entre los diferentes tópicos abordados.

Iniciando por la segunda vertiente se debe concluir que la atención clínica de enfermería en el espacio para astronautas y futuros viajeros espaciales se debe atender basada en la evidencia más reciente, no sólo del campo clínico y médico, sino también será preciso atender a las investigaciones en materia de física, ingeniería, biología, antropología, ética, astronomía y química con el fin de otorgar una óptica general y especializada en el campo de la microgravedad. Pues las futuras generaciones que aborden la investigación de los cuidados espaciales aquí estructurados en su origen, tendrán como indispensable contemplar la multidisciplinariedad y la apropiación teórica de conceptos fundamentales para atender a un ser humano en el entorno espacial que se conjugan en este libro.

La trascendencia de esta argumentación teórica se encuentra en la adaptación y agrupación de un modelo de atención de Enfermería al cuidado del astronauta que sufre una disrupción holística dada por el afrontamiento a una misión espacial, y todas las alteraciones anatomofisiológicas y biopsicosociales que conlleva. Es así como se construye un nuevo razonamiento teórico del cuidado y de esta manera se demuestra la posibilidad de renovar las prácticas habituales y atender nuevos paradigmas que expandan el campo de actuación de la Enfermería.

El abordaje de las necesidades aquí expuestas denota la importancia de la participación del profesional de Enfermería durante cada uno de los tiempos por los que el astronauta cursa; previo al viaje espacial, a bordo de la nave y al regreso a la Tierra, para brindar cuidados a las necesidades básicas de los astronautas.

Al empatar modelos teóricos universales de Enfermería, como son los propuestos por Virginia Henderson o Florence Nightingale, entre otros, junto con la asistencia sanitaria a los astronautas amplía el campo científico permitiendo la multidisciplinariedad, logrando así favorecer la expectativa y perspectiva de las nuevas generaciones de aprendices.

Así pues, la principal aportación de este trabajo radica en la implementación y diseño de un prototipo de cuidados de Enfermería, abriendo paso a un nuevo campo de estudio de los paradigmas de cuidado que servirá como guía referencial para futuras líneas de investigación, al mismo tiempo que complementará la atención brindada actualmente a los astronautas.

La implementación de los cuidados espaciales descritos en este libro y segmentados por su estudio en necesidades básicas tienen una forma conclusiva particular:

Es propuesto conceptualizar estas necesidades desde un enfoque segmentario, para poder entenderlas en su compleja dimensión espacial. Las necesidades biológicas serán pensadas como “funciones orgánicas elementales” y remitirán por su sentido clínico estricto al órgano que las rige. Mientras, las psicosociales serán entendidas como “Procesos biopsicosociales” y guardarán intrínseca relación con las esferas culturales, lingüísticas, socioeconómicas, políticas y filosóficas. Se abordará por separado el término “Entorno Espacial” como un comprimido de las condiciones adversas en el espacio profundo que lo constituyen, es decir, microgravedad, radiación, temperatura, micrometeoritos, sistemas tecnológicos, aislamiento, etc.

Siendo agrupadas en:

- Entorno espacial
- Hematosis y procesos de compensación aeróbica
- Protección dérmica y sistemas sanitarios espaciales
- Nutrición orgánica y celular
- Dinámicas cinemáticas osteomioarticulares
- Neuro fisiología del sueño
- Termorregulación en el espacio exterior
- Procesos de excreción orgánica
- Trajes espaciales
- Cosmovisión y experiencia espacial
- Comunicación interplanetaria
- Recreación en astronautas
- Misión espacial: ocupación estelar y ciencia

◦ **Entorno espacial**

Florence Nightingale fue la primera en contemplar la relevancia de los cuidados a través de la estadística, la concepción matemática y la implicación del entorno en el cuidado del sujeto. Pero quizá nunca consideró que estos mismos principios son aplicables a los cuidados en el entorno espacial de microgravedad, la concepción es-

estadística de la evidencia que sustenta los cuidados extraorbitales y la compatibilidad de la física o las matemáticas con la atención clínica y de cuidados. Además, esta necesidad incluye el elemento más relevante en el hostil entorno espacial, la necesidad de evitar riesgos, esto coloca a las otras necesidades en dirección a los cuidados y el entorno, logrando reconceptualizar la Enfermería desde el entorno terrestre hacia el espacio, además de sumar variables como microgravedad, radiación, diferencias térmicas, micrometeoritos, diferencias en presiones y aislamiento.

- **Hematosis y procesos de compensación aeróbica**

Las consideraciones centrales de esta necesidad referentes a los sistemas de soportes vitales en el espacio exterior están enlazadas a las tecnologías de ingeniería accesorias y de complejo modo de uso, tal es el caso de los dispositivos de “electrólisis” en las cabinas al interior de la Estación Espacial Internacional. Esto coloca al enfermero espacial bajo la necesidad de comprender los múltiples dispositivos empleados en la astronáutica para así poder brindar cuidados especializados, más allá de la experticia clínica estándar requerida en el proceso de actuación propia de la enfermería en la oxigenación.

- **Protección dérmica y sistemas sanitarios espaciales**

Por otro lado, en la necesidad de brindar cuidados dérmicos y lograr una limpieza eficaz e integridad, la actuación de Enfermería reside en que de manera conveniente anteponen la proliferación bacteriológica y disminuyen el riesgo de infecciones a bordo de la nave, esto a través de valoraciones que atienden las incapacidades para la autonomía de llevar a cabo las acciones de higiene corporal y cuidar la integridad cutánea. Se concluye que las intervenciones, complementadas con los sistemas de saneamiento integrados en la nave, erradicarían cualquier incidencia dermatológica.

- **Nutrición orgánica y celular**

La intervención de Enfermería durante los tres estadios coadyuvaría a la atención oportuna y personalizada, basada en valoraciones semiológicas óptimas que garanticen el cumplimiento de la misión. Previo al viaje se consideraría esencial la realización de un examen completo que determine las necesidades nutricionales y prevea, en conjunto con otras disciplinas, las posibles anomalías y mal aprovechamiento nutricional. A bordo de la nave espacial se propone la asistencia presencial para complementar la evaluación comparativa nutrimental, que resultará importante para consolidar el plan de rehabilitación nutritiva posterior al vuelo.

- **Dinámicas cinemáticas osteomioarticulares**

Esta necesidad es el pilar de los cuidados y en la que más se puede incidir de manera práctica, pues conlleva amplios planes de cuidados físicos preparativos, como entrenamientos y vigilancia de condiciones vitales, musculares y óseas. Además de las

prescripciones de actividad física durante el viaje espacial y sin soslayar la relevancia en cuidados al regreso a la Tierra con planes de fisioterapia y rehabilitación. Esta será una de las primeras actividades en que la *Enfermería espacial* incursionará.

◦ **Neurofisiología del sueño**

En cuanto a la necesidad de descanso y sueño, se concluye que la pertinencia del profesional de Enfermería se orientaría a identificar, tratar y contrarrestar las modificaciones en el patrón de descanso, a partir de intervenciones que mejoren el sueño y permitan llevar a cabo ciclos regulares de reposo/vigilia, cursando por los tres estadios. Previo a la misión, diagnosticar las alteraciones más comunes para prever las incapacitaciones. La programación de actividades, en conjunto con las labores básicas de los tripulantes, para favorecer los ciclos sueño/vigilia. A partir de este registro se realizaría monitoreo continuo en la Tierra para conocer el restablecimiento del ciclo circadiano.

◦ **Termorregulación en el espacio exterior**

La Enfermería siempre ha contemplado el cuidado térmico del sujeto, pero en este campo es vital que los profesionales de cuidados direccionen su interés en la termodinámica física y los sistemas mecánicos de difusión y propagación del calor, así como hacer una revisión de los elementos fisicoquímicos y su interacción con el cuerpo humano, a fin de vislumbrar una nueva generación de producciones científicas enfocadas en la relación de termodinámica, entropía calórica y cuidados al organismo desde la Enfermería. Cabe concluir que las agencias espaciales internacionales han destinado cierta inversión en el mejoramiento de tecnología relacionada con el control térmico vital dentro de las naves y cabinas espaciales, pero poco se ha explorado en los cuidados y contramedidas médicas a cuadros clínicos vinculados con la modificación de esta constante vital.

◦ **Procesos de excreción orgánica**

En tanto, en la necesidad de eliminación, se determina que la contribución científica de la Enfermería radicaría en la atención holística encaminada a la evaluación del funcionamiento de las vías de eliminación del individuo, determinando así una planificación de cuidados que prevean, cuiden y mantengan el bienestar del astronauta. La participación previa permitiría la determinación de alteraciones incapacitantes, a través de valoraciones clínicas. A bordo de la nave, además de constatar el funcionamiento de las vías de desecho, se conjugaría la actuación presencial para la interpretación metabólica de eliminaciones anómalas de macro- y micronutrientes esenciales, como ejemplo: la proteinuria o la natriuresis, asimismo, la comprensión y enseñanza de los dispositivos en la nave que condicionan el cumplimiento de esta necesidad. A partir del establecimiento diagnóstico de los medios de eliminación, se determinaría la función orgánica, lo que conlleva la atención en la rehabilitación al regreso a la Tierra.

◦ **Trajes espaciales**

Los trajes espaciales son el medio de cuidado central del cual la *Enfermería espacial* debe valerse con prioridad, pues confieren al sujeto en el espacio cuidados relacionados con las múltiples necesidades desde protección del entorno radioactivo, cuidados de conservación térmica en el espacio y capacidades físicas de movimiento añadidas, hasta proveer al astronauta de hidratantes y contar con prendas especiales para la absorción de las excretas. Es entonces imprescindible para la Enfermería moderna comprender la trascendencia de la necesidad de vestido y vislumbrar los horizontes de cuidado en futuros viajes interplanetarios.

◦ **Cosmovisión y experiencia espacial**

Los valores esenciales derivados de la NASA y las diferentes agencias espaciales internacionales proyectados en los sujetos colaboradores de las misiones espaciales y los astronautas son una construcción eficaz para asegurar el éxito de las misiones, esto coloca al cuidador vinculado con el tema espacial en la necesidad de identificar, incorporar, introyectar y comprender la fenomenología de valores y creencias de las instancias espaciales, los sujetos y los propios. Este es el crucial punto para aplicar un cuidado de calidad y éxito en la misión, además es muy relevante comprender la cosmovisión histórica de los pueblos, ser conscientes de la transformación ética y aventurarse a la prospectiva espacial en el siglo xxi.

◦ **Comunicación interestelar e interplanetaria**

La investigación científica implementada al campo de la comunicación se puede subdividir a su vez en tres aspectos esenciales: las dinámicas sociales y lingüísticas internas de las estaciones espaciales, las variaciones idiomáticas derivadas de las diferentes culturas en convivencia en todas las misiones espaciales y futuros viajes interplanetarios, y la intención de establecer comunicación y contacto con una probable especie fuera de la Tierra. Las primeras dos requieren un nivel de comprensión antropológica, ética y lingüística por parte de los cuidadores relacionados, además de resaltar el requerimiento estándar para los futuros enfermeros espaciales de conocer un variado sistema de lenguajes con el fin de establecer lazos de cuidado particulares. La tercera tiene una función prospectiva pero no menos importante que deberá ser considerada en un futuro no muy distante y que probablemente sea entre la humanidad misma, pero en diferente planeta o estancia espacial, y por tanto concerniente a la Enfermería.

◦ **Recreación y estancia espacial**

Un elemento importante al ojo clínico del profesional de los cuidados es la necesidad de recreación durante la estancia espacial que conlleva una revisión multidisciplinar pues requiere la aplicación de campos clínicos como psicología o psiquiatría, ya que las psicopatologías más comunes por las que se prescriben ciertos tratamientos de

contramedida y cuidados van desde ansiedad, depresión y neurosis, hasta profundos sentimientos de soledad y hostilidad. Los profesionales de Enfermería deberán involucrarse en esta necesidad conociendo el tratamiento actual, tiempos de recreación, actividades realizadas en las cabinas de la Estación Espacial Internacional y aplicándolas de manera práctica y personalizada a cada uno de los astronautas y viajeros espaciales, en espacial en los largos viajes interplanetarios que se esperan en el siglo **xxi**. Además de ser una de las necesidades de las que se tiene mayor conocimiento público derivado de la exposición a los medios difusivos en la Tierra.

◦ **Misión espacial: ocupación estelar y ciencia**

Sin dejar pasar las necesidades psicosociales, es como se aborda la actuación de Enfermería en la necesidad de ocupación y aprendizaje, de las cuales se concluye la importancia en la autopercepción del astronauta para sentirse parte de un rol ocupacional que conlleve a la autorrealización. En cuanto a la participación de Enfermería en el aprendizaje, se adoptaría un rol de enseñanza de las técnicas que aseguren las prácticas salubres durante las misiones espaciales. Un enfoque cercano a las dinámicas en misiones espaciales, la integración de la ciencia de los cuidados y la conjugación de los aprendizajes propios de todo el evento espacial de viaje.

Por último, se puede concluir en este mismo sentido, pero referente a la vertiente conclusiva que habla sobre la trascendencia de aplicación teórica del constructo argumentativo del trabajo que se encuentra en un punto dialéctico de consideración y exposición a las diversas revisiones científicas de los campos afines a la Medicina espacial internacional, para en una segunda fase lograr concretar el acercamiento aplicado en materia de *Enfermería espacial*, esta transición que pretende modernizar los paradigmas de implicación y aplicación de la Enfermería clásica será dinamizada a medida que más profesionales clínicos incursionen y se interesen en el marco general de este constructo teórico sobre cuidados en el espacio.

La trascendencia de este trabajo recae en el abordaje metodológico y viabilidad de implementación, aunque existen retos en materia de *Enfermería espacial* por su estatus de tema emergente, la sólida argumentación de las ciencias afines de las que se vale abre la posibilidad de originar una Enfermería centrada en el entorno y el humano, pero en condiciones espaciales, es decir, la *Enfermería espacial*.

Probablemente una de las conclusiones más categóricas del trabajo sea indicar la viabilidad y pertinencia de la correlación teórica entre Enfermería, astronomía y física. Pues incluso en el título se conjuntan conceptos paradigmáticos como lo es "Enfermería" y "Espacio", entendiendo la Enfermería como la ciencia encargada de estudiar y brindar cuidados a la salud de los individuos, en este caso los astronautas. De la misma forma podemos comprender el concepto espacial como un fenómeno físico descrito en mayor profundidad por la teoría de la relatividad general, este fenómeno es parte complementaria del tiempo y las fuerzas gravitacionales que afectan toda la materia, incluyendo a la estructura orgánica de estudio de la Enfermería, el ser humano.

Es por ello central entender el argumento que concatena los modelos de atención de Enfermería en torno a los mecanismos fisiológicos de gravedad adaptativa o microgravedad, sensibles a ser analizados desde el modelo de la atención de Callista Roy, el modelo de necesidades humanas básicas de Virginia Henderson, pero sobre todo la teoría del entorno de Florence Nightingale, aunque en sentido modificado para las condiciones del entorno espacial, permitiendo así el nacimiento teórico de los cuidados espaciales.

Durante el análisis de las investigaciones espaciales internacionales sobre desarrollos tecnológicos, biomédicos e informáticos se pudo contrastar con el curso histórico y así lograr vislumbrar el acelerado desarrollo tecnológico, proyectado en un proceso científico de crecimiento exponencial, pues todas las ciencias enlazadas a las ciencias informáticas y tecnológicas como es el caso de Enfermería y medicina se ven arrastradas a este ritmo de crecimiento. A su vez los viajes interplanetarios y el camino del hombre a través del cosmos ponen a todas las ciencias bajo un reto aún mayor.

Esto señala cierta prospectiva para las ciencias y la raza humana aunado a un periodo de transición teórico de los paradigmas convencionales que conforman la Enfermería, poniendo los límites de existencia y acción de una ciencia en márgenes más reducidos, ejemplo de esto es la medicina del futuro, y que según ellos mismos postulan estará encargada de la prevención y cuidados. Otro ejemplo es el nombre que se le ha dado a las contramedidas espaciales para reducir las afecciones orgánicas de los astronautas "Cuidados médicos espaciales".

Está por demás señalar la pertinencia de actuación y producción en estos campos de investigación desde una ciencia realmente encargada de estudiar los cuidados, como lo es Enfermería. Afrontar los cambios internos subsecuentes que se ocasionan en cualquier revolución teórica y adaptarse a los cambios de paradigma general e internacional. Además de abrir la puerta al futuro de las próximas generaciones, inspirándolas a actuar, investigar, pero sobre todo a soñar.

Referencias

- Cernuschi, E. (2005) Cuatro siglos en cuatro ruedas. Editorial Spanish Art Library. Montevideo. 1a ed. (Obtenido el 12, 2017), https://www.somosamigosdelatierra.org/17_cuentos/4ruedas/4s4r.pdf. pág. 14.
- Millan, G. (2002) La conquista del espacio. Editorial Espasa. Madrid. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.rac.es/ficheros/doc/00335.pdf>, pág. 215.
- Ibid.*, pp. 214-215.
- Pérez, J. (1993) Medicina Aeronáutica: Conceptos generales. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.semae.es/wp-content/uploads/2011/11/14.-Medicina-especial.pdf>.
- Carrillo, R. (2015) Medicina espacial: Los inicios y el estado actual en México. Editorial Elsevier. Revista Cirugía y Cirujanos. Vol. 83 (3). México. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.elsevier.es/es-revista-cirugia-cirujanos-139-articulo-medicina-espacial-los-inicios-el-S0009741115001668>, pp. 181-182.
- Herrera, M. (2016) La exploración del espacio. Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM. Revista ¿Cómo ves? N° 83. México. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/38/exploracion-espacial.pdf>, pp. 2-5.
- Tomasini, M. (2012) Las máquinas de Leonardo Da Vinci. Revista Ciencia y Tecnología. N° 12. Argentina. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://www.palermo.edu/ingenieria/pdf2013/12/12CyT_02lasmaquinasdeleonardo.pdf, pág. 28.
- Tomasini, M., *op. cit.*, pág. 30.
- Gavilán, F. & Esteban, S. (2010) Aeronaves y vehículos espaciales. Departamento de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos. Sevilla. (Obtenido el 1, 2017), <http://aero.us.es/AVE/archivos/Y0910/Tema2.pdf>, pp.6, 11-16.
- Tomasini, M., *op. cit.*, pág. 30.
- Fortier, R. (2004) The balloon era. Canada Aviation Museum. Ottawa. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), http://casmuseum.techno-science.ca/doc/research/casm/e_Ballons.pdf, pp. 3-6.
- Warleta, J. (2002) Aeroplano. Instituto de Historia y Cultura Aeronáutica. Revista de Historia Aeronáutica. N° 21 Madrid. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <http://www.ejercitodelaire.mde.es/stweb/ea/ficheros/pdf/9F769B64D5D25C55C125770B002794E5.pdf>, pág. 6.
- Chávez, J. (2004) Desarrollo tecnológico en la Primera Revolución Industrial. Revista de historia, Norba. N°17 España. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1158936>, pp.96, 109.
- Warleta, J., *op. cit.*, pág. 6.
- Donovan, B. (2005) Otto Lilienthal. Aviation pioneer Editorial Harcourt School Publishers. Mishawaka. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <https://mrsuzun.wikispaces.com/file/view/Otto+Lilienthal++Aviation+Pioneer.pdf>, pp.6-8.
- Warleta, J., *op. cit.*, pág. 4.
- Casado, J. (2011) Rumbo al cosmos. Los secretos de la aeronáutica. España. 1a ed., pág. 23.
- Herrera, F. (2000) Viajes espaciales. Sociedad Canaria Isaac Newton de Profesores de Matemáticas. Revista Didáctica de las Matemáticas, Números N° 43-44. Canarias. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.sinewton.org/numeros/numeros/43-44/Articulo69.pdf>, pág. 344.
- Herrera, M. (2002) La exploración del espacio. Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM. Revista ¿Cómo ves? N° 38. México. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/38/exploracion-espacial.pdf>, pág. 12.
- Ibid.*, pág. 12.
- Casado, J., *op. cit.*, pág. 31.
- Grant, R. (2002) Flight. Dorling Kindersley Publishers. Londres. 1a ed., pág. 340.
- Herrera, M., *op. cit.*, pág. 12.
- Herrera, F., *op. cit.*, pág. 345.
- León, J. (2014) Pasaje a la Ciencia. Revista Pasaje a la Ciencia, N° 15. Andalucía. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/23700542/helvia/aula/archivos/repositorio/0/162/PASAJE_15.pdf, pág. 15.
- Burgess, C.; Dubbs, C. (2007) Animals in space. Editorial Springer. Nueva York. 1a ed. (Obtenido el 2, 2017), http://epizodsspace.airbase.ru/bibl/inostr-yazyki/Burgess_Animals_in_Space.pdf, pp. 130-140.
- Grant, R., *op. cit.*, pp. 342-343.
- Herrera, F., *op. cit.*, pág. 345.
- Grant, R., *op. cit.*, pp. 341-344.
- Grant, R., *op. cit.*, pág. 344.
- Grant, R., *op. cit.*, pág. 345.
- Velazquez, A. (2013) Valentina Tereshkova: 50 años de una hazaña pionera. Revista Acción Telefónica, N° 1. (Obtenido el 1, 2017), <http://studylib.es/doc/7155627/valentina-tereshkova-50-a%C3%B1os-de-unahaza%C3%B1a-pionera>, pp. 16-20.
- Casado, J. (2011), *op. cit.*, pág. 419.
- Portree, D.; Treviño, R. (1997) Walking to Olympus: An EVA chronology. NASA, Gov. Washington D.C. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <http://history.nasa.gov/monograph7.pdf>, pp. 1-2.
- Grant, R., *op. cit.*, pp. 352-355.
- Segura, A. (2009) La luna que pisamos. Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM. Revista ¿Cómo ves?, N° 128. México. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/128/la-luna-que-pisamos.pdf>, pp. 11-12.

37. Iglesias, R. (2012) *Cardiología aeroespacial*. Editorial Limusa. D.F. 1a ed., pág. 137.
38. Grant, R., *op. cit.*, p. 360.
39. Barahona, A. (2001) Origen y evolución del ser humano. Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM. Revista ¿Cómo ves?, N° 32. México. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/32/origen-y-evolucion-del-ser-humano.pdf>, pp. 11-13.
40. Ortega, I. (2009) Espectroscopia FTIR de absorción solar y lunar para la determinación en columna de CO en la capa de mezcla de la Ciudad de México. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México.
41. NASA. (2013) Earth's Atmospheric Layers. Nasa.gov. (Obtenido el 1, 2017), https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/science/atmosphere-layers2.html
42. Martínez, I. (2010) Termodinámica de la atmósfera. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <https://web-server.dmt.upm.es/~isidoro/Env/Atmospheric%20thermodynamics.pdf>, pp. 2-9.
43. Iglesias, R., *op. cit.*, pp. 15-17.
44. Ortega, I., *op. cit.*, pág. 3.
45. Herrera, F., *op. cit.*, pág. 345.
46. Ortega, I., *op. cit.*, pp. 2-3.
47. University Corporation of Atmospheric Research. The Sun-Earth system. UCAR. Boulder. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <https://www.ucar.edu/communications/gcip/m7ssystem/m7pdfc3.pdf>, pág. 12.
48. Ortega, I., *op. cit.*, pág. 3.
49. Inzunza, J. Meteorología descriptiva. Universidad de Concepción. Concepción. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), http://old.dgeo.udec.cl/~juaninzunza/docencia/metodologia_descriptiva_cap1.pdf, pág. 31.
50. Peña, M. (2007) Temperatura. Universidad de El Salvador. San Salvador. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), https://academica.ues.edu.sv/uiu/elementos_estudio/ciencias_naturales/fisica/termodinamica/termodinamica.pdf, pp. 1-2.
51. Echarri, L. (2007) El planeta Tierra. Universidad de Navarra. Navarra. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <http://www.unav.es/ocw/ecologiaing0708/Tema%201%20El%20planeta%20Tierra07.pdf>, pp. 10-13.
52. Nols, V. (2014) Cálculo y análisis de la inversión térmica y el espesor de la capa de aire comprendida entre 500 y 1000 hPa. Universidad de la Laguna. Tenerife. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <http://riull.ulles.xmlui/bitstream/handle/915/429/Calculo%20y%20análisis%20de%20la%20inversión%20térmica%20y%20el%20espesor%20de%20la%20capa%20de%20aire%20comprendida%20entre%20500%20y%201000%20hPa%20en%20Canarias%20para%20los%20últimos%2030%20años..pdf?sequence=1>, pp. 9-10.
53. Metas y metrólogos asociados. (2017). Presión atmosférica, presión barométrica y altitud Conceptos y aplicaciones. Revista La Guía Metas. (N° 2). Ciudad Guzmán (Obtenido el 1, 2017), <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-05-02-presion-atmosferica.pdf>, pp. 1-2.
54. Pérez, J. (1993) Medicina Aero-náutica: Conceptos generales. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.semae.es/wp-content/uploads/2011/11/14-Medicina-especial.pdf>, pp. 4-11.
55. Bert, P. (1943) Barometric pressure: researches in experimental physiology. Editorial College Book Company. Columbus. (Obtenido el 12, 2017), <https://archive.org/details/barometricpressu00bert>.
56. Armstrong, H.G.; Haber, H.; Strughold, H. (1949) Aeromedical problems of space travel. Editorial Journal of Aviation Medicine. (Obtenido el 1, 2017), http://spacemedicineassociation.org/download/space_medicine_classics/Armstrong.pdf, pp. 383-417.
57. Carrillo, R. (2015) Medicina espacial: Los inicios y el estado actual en México. Revista Cirugía y Cirujanos. Vol. 83 (3). Editorial Elsevier. México. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.elsevier.es/es-revista-cirugia-cirujanos-139-articulo-medicina-especial-los-inicios-el-S0009741115001668>, pp. 181-182.
58. Strughold, H.; Haber, H.; Buettner, K., et al. (1951) Where does space begin? Functional concept of the boundaries between the atmosphere and space. Editorial Journal of Aviation Medicine. (Obtenido el 1, 2017), http://spacemedicineassociation.org/download/history/history_files_1951/22050342-1.pdf, pp. 342-349.
59. Carrillo, R., *op. cit.*, pp. 181-182.
60. Carrillo, R.; Díaz, J.; Peña, C., et al. (2015) Efectos fisiológicos en un ambiente de microgravedad. Medigraphic. Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM. Vol. 58, N° 3. México. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2015/un153c.pdf>, pág. 16.
61. *Ibid.*, pág. 18.
62. Pérez, J. (1993) Medicina Aero-náutica: Conceptos generales. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.semae.es/wp-content/uploads/2011/11/14-Medicina-especial.pdf>, pág. 7.
63. Gilles, C. (2011) Fundamentals of Space Medicine. Editorial Springer. Francia. 2a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://aero.ajams.ac.ir/_d-havafaza/Documents/2011-Fundamentals%20of%20Space%20Medicine_20131128_113738.pdf, pp. 99-118.
64. *Ibid.*, pp. 99-118.
65. *Ibid.*, pág. 153.
66. Carrillo, R.; Díaz, J., et al. (2016) Medicina Espacial. Interistemas Editores. Ciudad de México. 1a ed., p. 140.
67. Carrillo, R.; Díaz, J., *op. cit.*, pág. 19.
68. Gilles, C., *op. cit.*, pág. 155.
69. Iglesias, R. (2012) *Cardiología aeroespacial*. Editorial Limusa. D.F. 1a ed., p. 159.
70. Graybiel, A.; Earl, F.; Jerry, L. (2013) Biomedical results of skylab. Nasa.gov. Houston. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), https://lscd.jsc.nasa.gov/books/skylab/biomedical_result_of_skylab.pdf, pp. 53-63.
71. Pérez, J., *op. cit.*, pág. 9.
72. Nicogossian, A.; Parker, J. (1982) Space Physiology and Medicine. U.S. Government Printing Office. Washington D.C. 2a ed.
73. Carrillo, R.; Díaz, J.; Peña, C., et al. (2015) Efectos fisiológicos en un ambiente de microgravedad. Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM. Vol. 58, N° 3. México. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2015/un153c.pdf>, pág. 19.
74. *Ibid.*, pág. 19.
75. Salcedo, C. (2016) Medicina espacial. Las fronteras del cuerpo humano. Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM. Revista ¿Cómo ves?, N° 31. México. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/31/medicina-especial.pdf>, pág. 13.
76. Stepaniak, P. Astronaut Health and Performance. Nasa.gov. Houston. (Obtenido el 12, 2016), http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/584739main_Wings-ch5dpgs370-407.pdf.
77. NASA. (2016) Human Research Program. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.nasa.gov/hrp>.
78. Stepaniak, P., *op. cit.*, pág. 401.
79. Cavanaugh, P.; Rice, A. (2007) Bone Loss During Space Flight: Etiology, Countermeasures, and Implications for Bone Health on Earth. Editorial

- Cleveland Clinic Press. Cleveland. 1a ed.
80. Reyes, R.; Rozas, P.; Muñoz, M. (2016) Regulación del proceso de remodelado óseo. Editorial Elsevier. Revista española de enfermedades metabólicas óseas, Vol. 17, N°1. Granadas. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.elsevier.es/es-revista-reemo-70-articulo-regulacin-del-proceso-de-remodelado-13114862>.
 81. Carrillo, R.; Díaz, J.; Peña, C., et al. (2015) Efectos fisiológicos en un ambiente de microgravedad. Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM. Vol. 58, N° 3. México. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2015/un153c.pdf>, pág. 20.
 82. Baldwin, K.; White, T.; Arnaud, S., et al. (1996) Musculoskeletal adaptations to weightlessness and development of effective countermeasures. Editorial Medicine and Science in Sports in exercise. Indianapolis. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8897381>.
 83. Gilles, C. (2011) Fundamentals of Space Medicine. Editorial Springer. Francia. 2a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://aero.ajaums.ac.ir/_d-havafaza/Documents/2011-Fundamentals%20of%20Space%20Medicine_20131128_113738.pdf, pág. 182.
 84. Nicogossian, A.; Parker, J. (1982) Space Physiology and Medicine. U.S. Government Printing Office. Washington D.C. 2a ed.
 85. Gilles, C., *op. cit.*, pág. 181.
 86. Gallagher, P.; Trappe, S.; Costill, D., et al. (2004) Human muscle volume and performance: The effect of 6-months of microgravity. Revista Journal of applied physiology. Vol. 106, N° 4. Maryland. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19150852>.
 87. Gilles, C. (2011) Fundamentals of Space Medicine. Editorial Springer. Francia. 2a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://aero.ajaums.ac.ir/_d-havafaza/Documents/2011-Fundamentals%20of%20Space%20Medicine_20131128_113738.pdf, pág. 192.
 88. *Ibid.*, pp. 181.
 89. Gallagher, P.; Trappe, S.; Costill, D., et al. (2004) Human muscle volume and performance: The effect of 6-months of microgravity. Revista Journal of applied physiology. Vol. 106, N° 4. Maryland. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19150852>.
 90. Gilles, C. (2011) Fundamentals of Space Medicine. Editorial Springer. Francia. 2a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://aero.ajaums.ac.ir/_d-havafaza/Documents/2011-Fundamentals%20of%20Space%20Medicine_20131128_113738.pdf, pág. 191.
 91. Stepaniak, P. Astronaut Health and Performance. Nasa.gov. Houston. (Obtenido el 12, 2016), http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/584739main_Wings-ch5dpgs370-407.pdf, pág. 380.
 92. Graybiel, A.; Earl, F.; Jerry, L. (2013) Biomedical results of skylab. Nasa.gov. Houston. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), https://lsda.jsc.nasa.gov/books/skylab/biomedical_result_of_skylab.pdf.
 93. Salcedo, C. (2016) Medicina espacial. Las fronteras del cuerpo humano. Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM. Revista ¿Cómo ves?, N° 31. México. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/31/medicina-espacial.pdf>, pág. 13.
 94. Martínez, E. (2010) Medicina Astronáutica. Cap. 10º, Subcap. 23. (Obtenido el 12, 2016), http://www.cosmonautica.es/23.html#_mve
 95. Seedhouse, E. Microgravity and vision impairments in astronauts. International Space University. Editorial Springer. Francia. 1a ed.
 96. Carrillo, R.; Díaz, J.; Padron, L., et al. (2016) Medicina Espacial. Intersistemas Ed. México. 1a ed., pp. 221-233.
 97. Ogle, J.; Heather R. (2000) Aerospace medicine. Estados Unidos. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <http://www.dlielc.edu/olc/set/ANC/avdocs/index.php?dir=3+Aerospace+Medicine%2F&download=Aerospace+Medicine.pdf>, pp. 5-6.
 98. Gilles, C. (2011) Fundamentals of Space Medicine. Editorial Springer. Francia. 2a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://aero.ajaums.ac.ir/_d-havafaza/Documents/2011-Fundamentals%20of%20Space%20Medicine_20131128_113738.pdf, pp. 82-84.
 99. Carrillo, R.; Díaz, J.; Padron, L., et al. (2016) Medicina Espacial. Intersistemas Ed. México. 1a ed., pp. 265-271.
 100. Bishop, S. (1997) Psycho-Sociological Issues of Spaceflight. Advanced Lecture at the International Space University, Summer Session in Houston, Texas.
 101. Gilles, C., *op. cit.*, pág. 217.
 102. Gilles, C., *op. cit.*, pág. 217.
 103. Harrison, A.; Clearwater, Y.; McKay, C. (1991) From Antarctica to Outer Space: Life in Isolation and Confinement. Editorial Springer. Nueva York. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://www.anta.canterbury.ac.nz/documents/PCAS_13/PCAS_13_Wilson_D_Literature_The_Third_Quarter_Phe_nomenon.pdf, pp. 261-266.
 104. Harrison, A.; Clearwater, Y.; McKay, C. (1991) From Antarctica to Outer Space: Life in Isolation and Confinement. Editorial Springer. Nueva York. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4612-3012-0>.
 105. Gilles, C., *op. cit.*, pág. 220.
 106. Gilles, C., *op. cit.*, pág. 231.
 107. NASA. (2016) Human Research Program. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.nasa.gov/hrp>.
 108. NASA. (2008) Evidence Book: Risk of renal stone formation. Nasa.gov. Johnson Space Center. Houston. (Obtenido el 12, 2016), <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/evidence/reports/renal%20stone.pdf>, pág. 3.
 109. Palomino, F.; Bautista, L.; García, M. (2016) Neocytolysis. Revista de la Facultad de Medicina. Vol. 17, N° 1. Bogotá. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.scielo.org.co/pdf/med/v17n1/v17n1a17.pdf>.
 110. Palomino, F.; Bautista, L.; García, M. (2016) Neocytolysis. Revista de la Facultad de Medicina. Vol. 17, N° 1. Bogotá. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.scielo.org.co/pdf/med/v17n1/v17n1a17.pdf>.
 111. Nicogossian, A.; Parker, J. (1982) Space Physiology and Medicine. U.S. Government Printing Office. Washington D.C. 2a ed.
 112. Ogle, J.; Heather R. (2000) Aerospace medicine. Estados Unidos. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <http://www.dlielc.edu/olc/set/ANC/avdocs/index.php?dir=3+Aerospace+Medicine%2F&download=Aerospace+Medicine.pdf>, pp. 7-8.
 113. Molina, L. (2009) Conceptos básicos de fisiología de la aviación. Centro de Medicina Aeroespacial de la Fuerza Aérea de Chile. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <http://200.10.19.208/PARA-PENTE/DOCS/fisiologia.pdf>, pp. 1-4.
 114. Carrillo, R.; Díaz, J., *op. cit.*, pp. 221-233.
 115. Czerwinski, B.; Plush, L.; Bailes, B. (2000) Nurses Contributions to the US Space Program. Revista AORN Journal. Vol. 7, N° 5, pp. 1-7.
 116. Milan, D. and Bellido, J. (2010) Proceso Enfermero desde el modelo de cuidados de Virginia Henderson y los Lenguajes NNN. Ilustre Colegio Oficial de Enfermería de Jaén. España. 1a ed. (Obtenido el 1, 2016), <http://www.index-f.com/lascasas/documentos/lc0714.pdf>.
 117. Houtchens, B. (1993) Medical-Care Systems for Long-Duration Space Missions. Revista Clinical Chemis-

- try. Vol. 39, N° 1. Washington D.C. (Obtenido el 12, 2016), <http://clinchem.aaccjnls.org/content/clinchem/39/1/13.full.pdf>, pp. 13-21.
118. Gilles, C. (2011) Fundamentals of Space Medicine. Editorial Springer. Francia. 2a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://aero.ajajms.ac.ir/_d-havafaza/Documents/2011-Fundamentals%20of%20Space%20Medicine_20131128_113738.pdf, pp. 146-256.
119. NASA. (2011) White Sands Test Facility Occupational Health Clinic. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.nasa.gov/centers/wstf/hse/health/index.html>.
120. Czerwinski, B.; Plush, L.; Bailes, B. (2000) Nurses Contribution to the US Space Program. Revista AORN Journal. Vol. 71, N° 5., pp. 2-3.
121. Czerwinski, B.; Plush, L.; Bailes, B. (2000) Nurses Contribution to the US Space Program. Revista AORN Journal. Vol. 71, N° 5., pág. 2.
122. *Ibid.*, pág. 3.
123. Rebecca Wright. (2002) Interview to the space nurse Dolores B. "Dee" O'Hara by Rebecca Wright. Nasa.gov. California. (Obtenido el 3, 2017), https://www.jsc.nasa.gov/history/oral_histories/OHaraDB/OHaraDB_4-23-02.htm.
124. Loftyambitionsblog. (2011) Dee O'Hara: First Nurse to the Astronauts. (Video obtenido el 3, 2017), <https://youtu.be/DJBA3sBjvgs>.
125. Carmeloturdo. (2011) Rose Church, Flight Nurse to the Astronauts, Speaks About Her Contributions. (Video obtenido el 3, 2017), <https://youtu.be/a4U7y3aVHds>.
126. Gilles, C. (2011) Fundamentals of Space Medicine. Editorial Springer. Francia. 2a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://aero.ajajms.ac.ir/_d-havafaza/Documents/2011-Fundamentals%20of%20Space%20Medicine_20131128_113738.pdf, pág. 307.
127. Carrasquillo, R.; Bagdikian, R.; Ewerd M. (2007) Life Support Technology Challenges for NASA's Constellation Program. JSC.Nasa.gov. Houston. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/pdf/203075main_ECLSS%20Technology%20Exchange%20Conference%20briefing.pdf.
128. Barry, P. (2000) Breathing Easy on the Space Station. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), <http://spaceflight.nasa.gov/living/factsheets/breathing.html>.
129. Ladd, I. (2014) The air we breathe. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/pdf/62452main_The_Air_We_Breathe.pdf.
130. NASA. (2015) Human Research Program. Integrated research plan. Nasa.gov. Houston. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/human_research_program_integrated_research_plan.pdf.
131. Ladd, I. (2014) The air we breathe. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/pdf/62452main_The_Air_We_Breathe.pdf.
132. Carrillo, E.; Díaz, M.; Ayala, I., et al. (2016) Medicina Espacial. Intersistemas Ed. CdMx. 1a ed., pp. 165-174.
133. Iglesias, R. (2012) Cardiología aerospacial. Editorial Limusa. D.F. 1a ed., pág. 159.
134. *Ibid.*, pág. 131.
135. *Ibid.*, pág. 30.
136. Hamilton, D.; Murray, D.; Ball, C. (2006) Cardiac Health for astronauts: coronary calcium scores and RCP criteria for selection and retention. Editorial Aviation Space Environmental Medicine. (Obtenido el 1, 2017), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16676648>, pp. 377-387.
137. Llanio, R. (2005) Propedéutica clínica y semiología médica. Ed. Ciencias Médicas. La Habana. 1a ed., pág. 93.
138. Iglesias, R., op. cit., pág. 145.
139. NANDA. (2016) Diagnósticos enfermeros: Definiciones y clasificación 2015-2017. Editorial Elsevier. 1ª ed.
140. Carrillo, E.; Díaz, M.; Ayala, I., et al. (2016) Medicina Espacial. Intersistemas Ed. CdMx. 1a ed., pág. 168.
141. Levine, B.; Bungo, M.; Benjamin, D., et al. (2010) Cardiac atrophy and diastolic dysfunction during and after long duration space flight: Functional consequences for orthostatic intolerance, exercise capability and risk for cardiac arrhythmias. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016) http://www.nasa.gov/mission_pages/station/science/experiments/IntegratedCardiovascular.html.
142. Gilles, C. (2011) Fundamentals of Space Medicine. Editorial Springer. Francia. 2a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://aero.ajajms.ac.ir/_d-havafaza/Documents/2011-Fundamentals%20of%20Space%20Medicine_20131128_113738.pdf, pp. 305-338.
143. Prisk, G. (2014) Microgravity and the respiratory system. Revista European Respiratory Society. Vol. 43, N° 5. Lausana. (Obtenido el 1, 2017), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24603820>, pág. 43.
144. West, J. (2015) Respiratory physiology-the essentials. Editorial Wolters Kluwer. 10th ed.
145. Gilles, C., op. cit., pp. 171-175.
146. Iglesias, R. (2012) Cardiología aerospacial. Editorial Limusa. D.F. 1a ed., pág. 182.
147. Palomino, F.; Bautista, L.; García, M. (2016) Neocytolisis. Revista de la Facultad de Medicina. Vol. 17, N° 1. Bogotá. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.scielo.org.co/pdf/med/v17n1/v17n1a17.pdf>.
148. Iglesias, R., op. cit., pág. 186.
149. Levine, B.; Bungo, M.; Benjamin, D., et al. (2016) Cardiac atrophy and diastolic dysfunction during and after long duration space flight: Functional consequences for orthostatic intolerance, exercise capability and risk for cardiac arrhythmias. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), http://www.nasa.gov/mission_pages/station/science/experiments/IntegratedCardiovascular.htm.
150. Bellido, V.J. and Lendínez, J. (2010) Proceso enfermero desde el modelo de cuidados de Virginia Henderson y los lenguajes NNN. Colegio Oficial de Enfermería de Jaén. 1a ed., pág. 41.
151. Molina, L. (2009) Conceptos básicos de fisiología de la aviación. Centro de Medicina Aeroespacial de la Fuerza Aérea de Chile. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <http://cmae.fach.cl/wp-content/uploads/2014/11/17.pdf>, pp. 1-4.
152. Scott, S. and Zwart, S. (2015) Evidence report: Risk factor of inadequate nutrition. Nasa.gov. Houston. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <http://humanresearchroadmap.nasa.gov/evidence/reports/nutrition.pdf>, pp. 12-102.
153. NASA. (1999) Space food and nutrition. Nasa.gov. Houston. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), https://www.nasa.gov/pdf/143163main_Space_Food.and.Nutrition.pdf, pág. 9.
154. Scott, S. and Zwart, S., op. cit., pp. 177-182.
155. NASA., op. cit., pág. 2.
156. Mayer, L.; Bertoluzzo, S.; Bertoluzzo, G. (2006) Conservación de alimentos, diseño y construcción de un liofilizador. Universidad del Centro Educativo. Revista Invenio. Vol. 9, N° 17. Argentina. (Obtenido el 1, 2017), <http://www.redalyc.org/pdf/877/87791711.pdf>, pp. 149-151.
157. NASA., op. cit., pág. 41.
158. *Ibid.*, pág. 4.
159. NASA., op. cit., pág. 7.
160. *Ibid.*, pág. 42.
161. *Ibid.*, pág. 8.
162. NASA., op. cit., pág. 8.
163. *Ibid.*, pág. 10.
164. NASA., op. cit., pág. 44.
165. NASA. Energy. A balancing act. Nasa.gov. Vol. 4, N° 2. Houston. (Obtenido el 1, 2017), https://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/511989main_vol4iss2.pdf, pág. 2.

166. Smith, S.; Zwart, S.; Heer, M. (2015) Evidence report: Risk Factor of Inadequate Nutrition. JSC.Nasa.gov. Houston. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/evidence/reports/Nutrition-20150105.pdf>, pp. 12-101.
167. Smith, S.; Neasbitt, L.; Zwart, S., et al. (2012) Space nutrition. Nasa.gov. Estados Unidos. 1a ed. pp. 46-60.
168. Smith, S. Zwart, S. Heer, M. (2014) Human adaptation to Spaceflight: the role of nutrition. Nasa.gov. Estados Unidos. pp. 7-14.
169. *Ibid*, pp 14-5
170. Llanio, R. (2005) Propedéutica clínica y semiología médica. Editorial Ciencias Médicas. La Habana. 1a ed.
171. Scott, S. and Zwart, S.; Heer, M. (2014) Human adaptation to spaceflight: The role of nutrition. Nasa.gov. Houston. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.nasa.gov/sites/default/files/human-adaptation-to-spaceflight-the-role-of-nutrition.pdf>, pp. 17-83.
172. De Parlois, M.; Crippa, G.; Chégancas, J. (2006) MELFI ready for science. ESA Bulletin, N° 128. (Obtenido el 1, 2017), http://www.esa.int/esapub/bulletin/bulletin128/bul128d_deparolis.pdf, pp. 27-31.
173. Lambert, D. Measuring the mass of an astronaut in zero gravity. Estados Unidos. (Obtenido el 1, 2017), http://www.spaceteacher.org/ISS/iss_B1_files/astronaut%20mass.pdf, pp. 1-15.
174. Flowers, J. (2016) Physiological Factors Contributing to Postflight Changes in Functional Performance. Nasa.gov. (Obtenido el 2, 2017), https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/126.html#description.
175. Smith, S.; Zwart, S.; Heer, M., *op. cit.*, pp. 134-162.
176. Bellido, V.J. and Lendínez, J. (2010) Proceso enfermero desde el modelo de cuidados de Virginia Henderson y los lenguajes NNN. Colegio Oficial de Enfermería de Jaén. 1a ed., pág. 57.
177. Broyan, J. (2007) Waste Collector System Technology Comparisons for Constellation Applications. JSC. Nasa.gov. Houston. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20070016696.pdf>, pp. 1-4.
178. Dismukes, K. (2002) Waste Collection System. Nasa.gov. (Obtenido el 1, 2017), <https://spaceflight.nasa.gov/shuttle/reference/shutref/orbiter/ecssc/wcs.html>.
179. Sauer, R.; Jorgensen, G. Waste management system: Apollo. History. Nasa.gov. (Obtenido el 1, 2017), <https://history.nasa.gov/SP-368/s6ch2.htm>.
180. Brovan, J., *op. cit.*, pág. 2.
181. Sauer, R. and Jorgensen G., *op. cit.*, pág. 2.
182. Brovan, J., *op. cit.*, pág. 2.
183. Sauer, R. and Jorgensen, G., *op. cit.*, pág. 4.
184. Brovan, J., *op. cit.*, pp. 3-4.
185. *Ibid*, pp. 4-6.
186. Holder, D. and Hutchens, C. (2003) Development Status of the International Space Station Urine Processor Assembly. Marshall Space Flight Center. Alhabama. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20030066933.pdf>, pp. 1-4.
187. Organización de Aviación Civil Internacional. (2012) Manual de medicina aeronáutica civil. OACI. Canadá. 3a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://www.icao.int/publications/Documents/8984_cons_es.pdf, pág. 267.
188. Lyudmila, P. (2013) Detection of Renal and Urinary Tract Proteins Before and After Spaceflight. Revista Avia-tion, Space, and Environmental Medicine. Vol. 84, No 8., pp. 859-863.
189. Organización de Aviación Civil Internacional, *op. cit.*, pp. 268-271.
190. Harm, D.; Jennings, R.; Meck, J. (2001) Genome and Hormones: Gender Differences in Physiology Invited Review: Gender issues related to spaceflight: a NASA perspective. Revista Applied Physiology. Vol. 91, No 5. (Obtenido el 12, 2016), https://www.researchgate.net/publication/298386188_Genome_and_Hormones_Gender_Differences_in_Physiol_ogy_Invited_Review_Gender_issues_related_to_spaceflight_a_NASA_perspective, pp. 2377-2378.
191. *Ibid*, pp. 271-272.
192. Organización de Aviación Civil Internacional, *op. cit.*, pp. 274-275.
193. *Ibid*, pág. 275.
194. Llanio, R. (2005) Propedéutica clínica y semiología médica. Editorial Ciencias Médicas. La Habana. 1a ed.
195. Organización de Aviación Civil Internacional. (2012) Manual de medicina aeronáutica civil. OACI. Canadá. 3a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://www.icao.int/publications/Documents/8984_cons_es.pdf, pág. 291.
196. Grases, F.; Conte, A.; Costa, A. (1997) Análisis y estudio de los cálculos renales. Universidad de les Illes Balears. Revista Urol. Integr. Invest. Vol. 2, (Obtenido el 2, 2017), <http://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/laboratoriLitiiasRenal/archives/D101.dir/101.pdf>, pp. 477-478.
197. Iglesias, R. (2012) Cardiología aerospacial. Editorial Limusa. D.F. 1a ed., pp. 157-163.
198. Pastushkova, L.; Kireev, K.; Kononikhin, A., et al. (2013) Detection of Renal Tissue and Urinary Tract Proteins in the Human Urine after Space Flight. Revista Plos one. Vol. 8, No 8. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0071652>, pp. 2-4.
199. Straume, T.; Blattinig, S.; Zeitlin, C. (2010) Radiation Hazards and the Colonization of Mars: Brain, Body, Pregnancy, In-Utero Development, Cardio, Cancer, Degeneration. Revista Cosmology. Vol. 12. (Obtenido el 1, 2017), <http://journalofcosmology.com/Mars124.html>.
200. Ronca, A.; Baker, E.; Bavendam, T.; Beck, K., et al. (2014) Effects of Sex and Gender on Adaptations to Space: Reproductive Health. Journal of Women's Health. Vol. 23, No 11. (Obtenido el 1, 2017), <http://online.liebertpub.com/doi/pdf/10.1089/jwh.2014.4915>, pp. 967-974.
201. Gilles, C. (2011) Fundamentals of Space Medicine. Editorial Springer. Francia. 2a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://aero.ajajums.ac.ir/_d-havafaza/Documents/2011- Fundamentals%20of%20Space%20Medicine_20131128_113738.pdf, pág. 181.
202. Young, L.R. (1993) Space and the vestibular system: What has been learned? Editorial Guest. Revista Vestibular Research. USA. Vol. 3. (Obtenido el 12, 2016), http://www.jvr-web.org/Download/Volume_03/Number_3/v03_n3_1.pdf, pp. 203-206.
203. Gilles, C., *op. cit.*, pág. 96.
204. Chappel, P.S.; Norcross, R.J.; Abercromby, F.J., et al. (2017) Risk of injury and compromised performance due to Eva operations. Nasa. Johnson Space Center. Houston. (Obtenido el 12, 2016), <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/evidence/reports/EVA.pdf?rnd=0.908105611292695>, pág. 38-43.
205. Carrillo, R.; Díaz, J.; Peña, C., et al. (2015) Efectos fisiológicos en un ambiente de microgravedad. Medigraphic. Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM. Vol. 58, N° 3. México. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2015/un153c.pdf>, pág. 18.
206. NASA. (2004) Why Do Workouts Work? Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2004/10dec_muscles/.

207. NASA. (2008) Risk of Accelerated Osteoporosis. Johnson Space Center. Human Research Program. Houston. (Obtenido el 12, 2016), <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/evidence/reports/Osteo.pdf?rnd=0.818777716634226>, pp. 2-22.
208. Llanio, R. (2005) Propedéutica clínica y semiología médica. Editorial Ciencias Médicas. La Habana. 1a ed., pág. 62.
209. NASA. (2016) Exercise Countermeasures. (Video, 1:00-44:00. Obtenido el 12, 2016), <https://www.youtube.com/watch?v=WL-ArtIrlJLw>.
210. NANDA. (2016) Diagnósticos enfermeros: Definiciones y clasificación 2015-2017. Editorial Elsevier. 1ª ed.
211. ESA. (2010) Exercise Countermeasures and Related Diagnostics, Devices and technologies. NASA, Human Spaceflight. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/505726main_ESA_Exercise_Countermeasures_And_Related%20Diagnostics_Devices_Technologies.pdf.
212. Chappel P.S.; Norcross, R.J.; Abercromby, F.J., et al. (2017) Risk of injury and compromised performance due to Eva operations. NASA, Johnson Space Center. Houston. (Obtenido el 12, 2016), <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/evidence/reports/EVA.pdf?rnd=0.908105611292695>, pág. 39.
213. Gilles, C., *op. cit.*, pág. 181.
214. Cruz, A.J.; Pierre, J.B.; Bauer, J.M., et al. (2010) Sarcopenia: consenso europeo sobre su definición y diagnóstico. Oxford Journals. Revista Oxford University Press. Vol. 39, N° 1. (Obtenido el 12, 2016), http://www.sarcopenia.es/pdf/age_and_ageing.pdf, pp. 412-423.
215. NASA. (2015) Risk of Impaired Performance Due to Reduced Muscle Mass, Strength, and Endurance. Human Research Program. Houston. Johnson Space Center. (Obtenido el 4, 2017), <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/evidence/reports/Muscle.pdf?rnd=0.623030933841612>, pp. 28-32.
216. LeBlanc A.; Matsumoto, T.; Keyak, H., et al. (2010) Bisphosphonates as a Countermeasure to Space Flight Induced Bone Loss. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/239.html.
217. NANDA. (2016) Diagnósticos enfermeros: Definiciones y clasificación 2015-2017. Editorial Elsevier. 1ª ed.
218. Cavanaugh, R.; Rice, J. (2007) Bone Loss During Space Flight: Etiology, Countermeasures, and Implications for Bone Health on Earth. Editorial Cleveland Clinic Press. Cleveland.
219. NASA. (2016) Exercise Physiology. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.nasa.gov/content/exercise-physiology>.
220. LeBlanc A.; Matsumoto, T.; Keyak, H., et al. (2010) Bisphosphonates as a Countermeasure to Space Flight Induced Bone Loss. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/239.html.
221. NASA. (2016) Exercise Countermeasures. (Video, 1:00-44:00. Obtenido el 12, 2016), <https://www.youtube.com/watch?v=WL-ArtIrlJLw>.
222. ESA. (2010) Exercise Countermeasures and Related Diagnostics, Devices and technologies. NASA, Human Spaceflight. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/505726main_ESA_Exercise_Countermeasures_And_Related%20Diagnostics_Devices_Technologies.pdf.
223. NASA. (2016) Exercise Countermeasures. (Video, 1:00-44:00. Obtenido el 12, 2016), <https://www.youtube.com/watch?v=WL-ArtIrlJLw>.
224. Llanio, R., *op. cit.*, pág. 62.
225. NANDA. (2016) Diagnósticos enfermeros: Definiciones y clasificación 2015-2017. Editorial Elsevier. 1ª ed.
226. Stenger B.; Platts, H.; Lee, M.C., et al. (2015) Risk of Orthostatic Intolerance During Re-exposure to Gravity. Reporte NASA, Johnson Space Center. Houston. (Obtenido el 12, 2016), <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/evidence/reports/ORTHO.pdf>, pp. 2-22.
227. Arnaud, S.B.; Harper, J.S.; Navidi, M. (1995) Mineral distribution in rat skeletons after exposure to a microgravity model. Revista Gravitational Physiology. Vol. 2, No 1.
228. Karmali F.; Shelhamer, M. (2010) Neurovestibular considerations for sub-orbital space flight: A framework for future investigation. National Institute of Health. Revista Investigación Vestibular Research. Vol. 20, No 1. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3634569/pdf/nihms448973.pdf>, pp. 31-43.
229. Bellido, V.J. and Lendínez, J. (2010) Proceso enfermero desde el modelo de cuidados de Virginia Henderson y los lenguajes NNN. Colegio Oficial de Enfermería de Jaén. 1a ed., pág. 87.
230. Castellanos, M.; Rodríguez, K.; Salgado, R., et al. (2007) Cronobiología médica. Fisiología y fisiopatología de los ritmos biológicos. Revista de la Facultad de Medicina-UNAM. Medigraphic. Vol. 50, No 6. (Obtenido el 2, 2017), <http://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2007/un076e.pdf>, pág. 239.
231. Castellanos, M.; Escobar, C. (2016) Medicina traslacional: De la cronobiología a la cronomedicina. Revista de la Facultad de Medicina- UNAM. Medigraphic. Vol. 59, No 2. (Obtenido el 1, 2017), <http://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2016/un162c.pdf>, pág. 18.
232. Mc Statts, J. Life in space. Reading A-Z. (Obtenido el 1, 2016), http://mls-egypt.org/mls-american/media-library/Level%205/raz_ls37_li-feinspace_clr.pdf, pág. 9.
233. Castellanos, M.; Escobar, C., *op. cit.*, pp. 17-18.
234. Czeisler, A.; Dijk, D.; Neri, D., et al. (2016) Sleep, Circadian Rhythms, and performance during space shuttle missions. NASA, Ames Research Center. Boston. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20030068197.pdf>, pp. 211-218.
235. Mc Statts, J., *op. cit.*, pág. 9.
236. Organización de Aviación Civil Internacional. (2012) Manual de medicina aeronáutica civil. OACI. Canadá 3a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://www.icao.int/publications/Documents/8984_cons_es.pdf, pág. 311.
237. Martínez, J.; Iranzo, Á.; Santamaría, J. (2002) Narcolepsia. Editorial Elsevier. Revista Medicina Clínica. Vol. 119, No 19. (Obtenido el 12, 2016), [http://dx.doi.org/10.1016/s0025-7753\(02\)73563-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0025-7753(02)73563-x).
238. Jurado, B.; Serrano, J.; Jurado, J., et al. (2010) Manual de diagnóstico y terapéutica en neumología. Editorial Ergon. Madrid. 2a ed. (Obtenido el 1, 2017), http://ergon.es/wp-content/uploads/2015/08/150_ManDiagTerapneumologia_2e.pdf, pág. 307.
239. Keener, J.; Paul, T.; Eckhardt, B., et al. Analysis and design of crew sleep station for ISS. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20150020425.pdf>, pp. 2-3.
240. Dismukes, Kim. (2002) Sleeping Provisions. Spaceflight.nasa.gov. (Obtenido el 1, 2017), <https://spaceflight.nasa.gov/shuttle/reference/shutref/crew/sleep.html>.
241. Fries, C. (2015) Chronology of wakeup calls. NASA. History Division. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.history.nasa.gov/wakeup%20calls.pdf>, pp. 4-88.

242. Di Rienzo, M. (2016) Wearable system for sleep monitoring in microgravity. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/1279.html.
243. McCollum, S. (2016) Actiwatch spectrum system. ISS science for everyone. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/858.html.
244. Dinges, D. Psychomotor vigilance self test on ISS. (Obtenido el 12, 2016), [https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/Experiment_Summary_Reaction_Self_Test\(2\).pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/Experiment_Summary_Reaction_Self_Test(2).pdf).
245. Barger, L.; Flynn-Evans, E.; Kubey, A., et al. (2014) Prevalence of sleep deficiency and use of hypnotic drugs in astronauts before, during, and after spaceflight: an observational study. Editorial Elsevier. Revista Lancet Neurol. Vol. 13, No 9. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4188436/pdf/nihms621934.pdf>.
246. Evans, C.; Robinson, J.; Baumann, D. (2009) International Space Station. Science research accomplishments during the Assembly Years: An Analysis of Results from 2000-2008. Johnson Space Center. Houston. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/pdf/389388main_ISS%20Science%20Report_20090030907.pdf, pp. 151-152.
247. Bellido, V.J. and Lendínez, J. (2010) Proceso enfermero desde el modelo de cuidados de Virginia Henderson y los lenguajes NNN. Colegio Oficial de Enfermería de Jaén. 1a ed., pp. 93-96.
248. *Ibidem*.
249. NASA. (2010) What Is a Spacesuit? Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-a-spacesuit-58.html>.
250. Riopelle, L.; Grondin, L.; Phaneuf, M. (1993) Cuidados de enfermería. Un proceso centrado en las necesidades de la persona. Editorial McGraw Hill Interamericana. Madrid.
251. NASA. (2016) Suit Up-50 Years of Spacewalks. (Obtenido el 12, 2016), <https://youtu.be/Z62z64-AyH0>.
252. Orndoff, E. (2016) Intravehicular Activity Clothing Study. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/1084.html.
253. NPP. Zvezda. (2016) Cosmonaut Rescue Aid (CRA). zvezda-npp.ru. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.zvezda-npp.ru/en/node/723>.
254. ILC. Dover. (1994) Space Suit Evolution. From Custom Tailored to Off-The-Rack. History Nasa. (Obtenido el 12, 2016), <http://history.nasa.gov/spacesuits.pdf>, pág. 4.
255. NASA. (1998) Suited for Spacewalking. NASA, Johnson Space Center. Washington D.C. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/pdf/143159main_Suited_for_Spacewalking.pdf, pp. 17-30.
256. NASA. (2008) Learn About Spacesuits. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/audience/foreducators/spacesuits/home/clickable_suit_nf.html#Layers.
257. *Ibidem*.
258. NASA. (1998) Suited for Spacewalking. NASA, Johnson Space Center. Washington D.C. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/pdf/143159main_Suited_for_Spacewalking.pdf, pp. 17-30.
259. ILC, Dover., *op. cit.*, pág. 13.
260. ILC, Dover., *op. cit.*, pág. 13.
261. Hamilton Standard. Portable Life Support System. Division of United Aircraft. (Obtenido el 12, 2016), https://www.hq.nasa.gov/alsj/LM15_Portable_Life_Support_System_ppP1-5.pdf, pp. 1-2.
262. NASA. (1975) Liquid Cooled Garments. Applications of Aerospace Technology. Midwest Research Institute. Kansas. (Obtenido el 12, 2016), <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19750007244.pdf>, pp. 7-9.
263. ILC, Dover., *op. cit.*, pág. 12.
264. NASA. (2016) Space Were. Spaceflight.nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), <http://spaceflight.nasa.gov/living/spacewear/>.
265. NASA. (1975) Liquid Cooled Garments. Applications of Aerospace Technology. Midwest Research Institute. Kansas. (Obtenido el 12, 2016), <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19750007244.pdf>.
266. Llanio, R. (2005) Propedéutica clínica y semiología médica. Editorial Ciencias Médicas. La Habana, 1a ed., pp. 7-11.
267. Finckenor, M. (1999) NASA, Multilayer insulation material. Marshall Space Flight Center. Alabama. (Obtenido el 12, 2016), <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19990047691.pdf>, pp. 24-44.
268. Boeing. Active Thermal Control System (ATCS) Overview. NASA. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/pdf/473486main_iss_atcs_overview.pdf.
269. NASA. (1975) Liquid Cooled Garments. Applications of Aerospace Technology. Midwest Research Institute. Kansas. (Obtenido el 12, 2016), <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19750007244.pdf>, pp. 31-39.
270. Vazquez, L., (2008) La gran aventura de la exploración de Marte. Revista Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid. Vol. 102, N° 1. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.rac.es/ficheros/doc/00689.pdf>, pp. 273-283.
271. NASA. (1975) Liquid Cooled Garments. Applications of Aerospace Technology. Midwest Research Institute. Kansas. (Obtenido el 12, 2016), <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19750007244.pdf>, pp. 11-28.
272. NANDA. (2016) Diagnósticos enfermeros: Definiciones y clasificación 2015-2017. Editorial Elsevier. 1ª ed.
273. Sainz, B. (2005) Balance hidromineral BHM. Scielo, Revista Cubana Cir. Vol. 44, No 44. (Obtenido el 12, 2016), <http://scielo.sld.cu/pdf/cir/v44n4/cir12405.pdf>, pp. 1-12.
274. Iglesias, R. (2012) Cardiología aeroespacial. Editorial Limusa. D.F. 1a ed., pp. 31-39.
275. Bellido, V.J.; Lendínez, J. (2010) Proceso enfermero desde el modelo de cuidados de Virginia Henderson y los lenguajes NNN. Colegio Oficial de Enfermería de Jaén. 1a ed., pág. 41.
276. NASA. (2003) Astronauts' Dirty Laundry. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/vision/space/livinginspace/Astronaut_Laundry.html.
277. *Ibid*, pág. 3.
278. Chuan, L. (2014) A mechanistic investigation of space radiation-induced carcinogenesis. NASA Human Research. Durham. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <https://taskbook.nasaprs.com/publication/tbpdf.cfm?id=9478>, pp. 1-2.
279. Heinrich, U. (2016) Skin-B. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/1166.html.
280. Gilles, C. (2011) Fundamentals of Space Medicine. Editorial Springer. Francia. 2a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://aero.ajau.ac.ir/_d_havafaza/Documents/2011-5Fundamentals%20of%20Space%20Medicine_20131128_113738.pdf, pp. 318-328.
281. Massow, M. (2016) SkinCare, ISS Science for everyone. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/11.html.
282. NASA. (2015) Outpost. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/11.html.

- nasa.gov/audience/forstudents/k-4/dictionary/Outpost.html.
283. Campo, M.; Fernández, C. (2000) Proceso de Enfermería, diagnóstico, planificación, evaluación. Fundación Jordi Golí Gurina. Barcelona.
 284. NASA. (1979) Space resources and space settlements. NASA, Billingham, J. & Gilbreath, W. Washington D.C. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19790024054.pdf>, pág. 13.
 285. Hoffman, S. and Kaplan, D. (1997) Human exploration of Mars: The reference mission of the NASA Mars exploration study team. Johnson Space Center. Houston. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://spacecraft.ssl.umd.edu/design_lib/NASA-SP6107.Mars_DRM.pdf, pp. 1-37.
 286. NASA. (2015) Journey to Mars. Pioneering Next Steps in Space Exploration. NASA. Washington D.C. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/journey-to-mars-next-steps-20151008_508.pdf, pág. 31.
 287. Ferrer, A. (2005) El mundo subnuclear en los años 50-60. Universidad de Valencia. Madrid. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <http://ific.uv.es/~ferrer/talks-50th/AFerrer-madrid-170205.pdf>, pág. 9.
 288. Konstantinova, I.; Rykova, P.; Lesnyak, T., et al. (1993) Immune changes during long-duration missions. Instituto de Problemas Biomédicos. Moscú. Revista Leukocyte biology. Vol. 54 (Obtenido el 12, 2016), <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.535.1711&rep=rep1&type=pdf>, pp. 189-201.
 289. Nickerson, C.A.; Ott, C.M.; Wilson, J.W., et al. (2004) Microbial response to microgravity and other low-shear environments. Revista Microbiology and Molecular Biology. Vol. 68, No 2. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC419922/pdf/0013-04.pdf>, pp. 345-361.
 290. Lapchine, L.; Moatti N.; Gasset, G., et al. (1986) Antibiotic activity in space. Revista Drugs Exp Clin. Vol.12, No 12. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=3569006>.
 291. Nickerson, C.A.; Ott, C.M.; Wilson, J.W., et al. (2004) Microbial response to microgravity and other low-shear environments. Revista Microbiology and Molecular Biology. Vol. 68, No 2. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC419922/pdf/0013-04.pdf>, pp. 345-361.
 292. Sánchez, M.; Sánchez, H. (2016) Medicina Espacial. Adaptación del sistema inmune en el espacio. Editorial Intersistemas. México. 1a ed., pp. 218-219.
 293. NASA. (2015) Reference guide to the international space station. Nasa.gov. Houston. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/np-2015-05-022-jsc-iss-guide-2015-update-111015-508c.pdf>, pág. 44.
 294. *Ibid.*, pág. 45.
 295. Kozier, B.; Erb, G.; Olivieri, R. (1993) Medidas de seguridad. Enfermería Fundamental. Conceptos, procesos y práctica. Editorial Mc Graw-Hill-Interamericana. Madrid. 4a ed., pp. 747-771.
 296. SpaceX. (2015) CRS-6 Mission Press Kit, NASA. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), http://www.spacex.com/sites/spacex/files/spacex_nasa_crs-6_presskit.pdf, pág. 20.
 297. Jackman, C. (2016) Direct EPP effects on the middle atmosphere. Goddard Space Flight Center. Washington D.C. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20110013259.pdf>, pp. 1-5.
 298. FUAM. Manual de comunicación para investigadores. (Obtenido el 12, 2016), <http://fuam.es/wp-content/uploads/2012/10/INTRODUCCION-La-Comunicacion-Principios-y-procesos.pdf>, pp. 4-7.
 299. NASA. What is the Golden Record? Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), <http://voyager.jpl.nasa.gov/spacecraft/goldenrec.html>.
 300. Logsdon, J. (2008) Ten presidents and NASA. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/50th/50th_magazine/10presidents.html.
 301. NASA. (2008) Voyager Facts. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2003/1105voyager_facts.html.
 302. Goldenrecord.org. Voyager Golden Record. (Obtenido el 12, 2016), <http://goldenrecord.org/>.
 303. NASA. Communications System, International Space Station (ISS) Interactive reference guide. Nasa.gov. Houston. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.nasa.gov/externalflash/ISSRG/pdfs/communications.pdf>, pp 1-5.
 304. Iglesias, R. (2012) Cardiología aeroespacial. Editorial Limusa. D.F. 1a ed.
 305. Gilles, C. (2011) Fundamentals of Space Medicine. Editorial Springer. Francia. 2a ed. (Obtenido el 12, 2016), http://aero.ajajums.ac.ir/_d_havafaza/Documents/2011-Fundamentals%20of%20Space%20Medicine_20131128_113738.pdf, pp. 294-301.
 306. Milan, D. and Bellido, J. (2010) Proceso enfermero desde el modelo de cuidados de Virginia Henderson y los Lenguajes NNN. Ilustre Colegio Oficial de Enfermería de Jaén. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.index-f.com/lascasas/documentos/lc0714.pdf>.
 307. SpaceX. (2016) Dragon. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.spacex.com/dragon>.
 308. NASA. (2015) Journey to Mars. Pioneering Next Steps in Space Exploration. NASA. Washington D.C. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/journey-to-mars-next-steps-20151008_508.pdf.
 309. NASA. ¿Qué tan lejos están los planetas? (Obtenido el 12, 2016), http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/downloads/sse_timeline_spanish_back.pdf.
 310. Steven, J.D. (1993) The Search for Extraterrestrial Intelligence and the NASA High-Resolution Microwave Survey (HRMS): Historical Perspectives. Editorial Springer. Revista Space Science Reviews. Bélgica. (Obtenido el 12, 2016), <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00819659>, pp. 93-139.
 311. Billingham, J. (2014) Archaeology, Anthropology and interstellar communication. NASA. Vakooh A. Washington D.C. 1a ed. (Ebook, Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/sites/default/files/Archaeology_Anthropology_and_Interstellar_Communication_TAGG%20ED.pdf, pp. 1-10.
 312. DeGrasse, Tyson N. (2003) The Search for Life in the Universe. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/vision/universe/starsgalaxies/search_life_1.html.
 313. Leddy, S.; Pepper, J. (1989) Bases Conceptuales de la Enfermería Profesional. Organización Panamericana de la salud. Nueva York. 1a ed.
 314. Asimov, I.; Bergman, J. and Burke, J. (1985) The impact of science on society. Langley Research Center. Washington D.C. (Obtenido el 12, 2016), <http://history.nasa.gov/sp482.pdf>.
 315. Torres, A. (1999) La observación astronómica mesoamericana. Escuela Nacional de Antropología e Historia, ENAH. Revista Ciencias 54. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/54/CNS05403.pdf>.
 316. Broda, J.; Stanislaw, I., et al. (1991) Arqueoastronomía y Etnoastronomía en Mesoamérica. Ed. Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM, México.

317. López, A. (2012) Cosmovisión y pensamiento indígena. Editorial Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM. (Obtenido el 12, 2016), http://conceptos.sociales.unam.mx/conceptos_final/495trabajo.pdf?PHPSESSID=ffc42510e755335c76404a255913b8ab.
318. NASA. (2016) NASA. Vision and Mission. Naefrontiers.org. (Obtenido el 12, 2016), <https://www.naefrontiers.org/File.aspx?id=22013>.
319. NASA. (2016) IV&V Vision, Mission, and Values. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/centers/ivv/about/vision_mission_values.html.
320. Documentary Tube. (2015) Tour of the International Space Station. (Video obtenido el 12, 2016), <https://youtu.be/bhGydrdbEA>.
321. Carpenito, L.J. (1994) Planes de cuidado y documentación en enfermería. Editorial McGraw-Hill- Interamericana. Madrid. 1a ed.
322. García, M. (2016) Christmas. Space Station. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), <https://blogs.nasa.gov/spacestation/tag/christmas/>.
323. Asimov, I.; Bergman, J. and Burke, J. (1985) The impact of science on society. Langley Research Center. Washington D.C. (Obtenido el 12, 2016), <http://history.nasa.gov/sp482.pdf>.
324. Bellido, V.J. and Lendínez, J. (2010) Proceso enfermero desde el modelo de cuidados de Virginia Henderson y los lenguajes NNN. Colegio Oficial de Enfermería de Jaén. 1a ed., pág. 163.
325. NASA. (2011) Astronaut selection and training. Johnson Space Center. Houston, Texas. 1a ed. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/606877mainFS-2011-11-057-JSC-astro_trng.pdf, pp.1-4.
326. ESA. (2012) Astronauts human space flight and exploration. Esa.int. (Obtenido el 12, 2016), http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Astronauts/How_to_become_an_astronaut.
327. NASA. (2004) Astronaut requirements. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/audience/forstudents/postsecondary/features/F_Astronaut_Requirements.html.
328. NASA. (2010) Astronaut Bio: Barbara R. Morgan (7/2010). Jsc.nasa.gov. Houston. (Obtenido el 12, 2016), <http://www.jsc.nasa.gov/Bios/htmlbios/morgan.html>.
329. Nicogossian, A.E. (1994) Space physiology and medicine. Editorial Lea & Febiger. Filadelfia. 3a ed.
330. NASA. (2015) Free Time in Space. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/audience/foreducators/stem-on-station/ditl_free_time.
331. Davis, J.R., et al. (2008) Fundamentals of aerospace medicine. Editorial Wolters Kluwer Lippincott W.W. Florida, USA. 4a ed., pág. 221.
332. NASA. (2015) Journey to Mars. Pioneering Next Steps in Space Exploration. NASA. Washington D.C. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/journey-to-mars-next-steps-20151008_508.pdf.
333. NASA. (2015) Free Time in Space. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/audience/foreducators/stem-on-station/ditl_free_time.
334. NASA. (2013) Just Like Home. Nasa.gov. (Obtenido el 12, 2016), https://www.nasa.gov/audience/foreducators/k-4/features/F_Just_Like_Home.html.
335. CBC Music. (2013) Chris Hadfield and Barenaked Ladies I.S.S. (Video obtenido el 12, 2016), <https://www.youtube.com/watch?v=AvAnfi8WpVE>.
336. SpaceX. (2016) Making humans a multiplanetary species. (Video obtenido el 12, 2016), https://m.youtube.com/watch?v=H7Uyfqj_TE8.
337. Bellido, V.J. and Lendínez, J. (2010) Proceso enfermero desde el modelo de cuidados de Virginia Henderson y los lenguajes NNN. Colegio Oficial de Enfermería de Jaén. 1a ed., pág. 179.
338. ESA. (2008) Space for health. European Space Agency. (Obtenido el 1, 2017), http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Space_for_health/Space_for_Health2.
339. NASA. (2013) International Space Station, (ISS). EVA Suit Water Intrusion. 1a ed. Houston. (Obtenido el 1, 2017), https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/Suit_Water_Intrusion_Mishap_Investigation_Report.pdf, pp.23-31.
340. NASA. (2009) Astronaut training timeline. Nasa.gov. (Obtenido el 1, 2017), https://www.nasa.gov/audience/foreducators/k-4/features/F_Astronaut_Training_Timeline.html.
341. NASA. (2006) Training for space: astronaut training and mission preparation. Johnson Space Center. Houston. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), https://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/160410main_space_training_fact_sheet.pdf, pp. 1-2.
342. NASA, JAXA, ESA, CSA, & Roscosmos. (2011) ISS: Research Results Accomplishments. 1a ed. (Obtenido el 1, 2017), https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/iss_technical_publication_030116.pdf.
343. NASA. (2011) La ciencia en la Estación Espacial Internacional. Nasa.gov. (Obtenido el 1, 2017), https://www.nasa.gov/audience/forstudents/nasaandyou/home/science-iss_bkgd_sp.html.
344. Boen, B. (2011) ISS: Ultrasound for a distance. Nasa.gov. (Obtenido el 1, 2017), https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/adum.html.
345. Cenetec-Salud. (2013) 4 experiencias de telemedicina en México. México. 3a ed. (Obtenido el 1, 2017), <http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/telemedicina/publicaciones/C4Experiencias.pdf>, pp. 4-21.

Vinculación entre Enfermería espacial y Medicina espacial

Dr. Raúl Carrillo Esper*

Somos polvo de estrellas.

CARL SAGAN

Desde los inicios de la humanidad el hombre se ha sentido atraído por las estrellas, hecho que quedó plasmado en diferentes corrientes teológicas, en la literatura y en un gran número de manifestaciones derivadas del intelecto humano. Las primeras teorías astronómicas consideraban al hombre y a la Tierra como el centro del universo, pero posteriormente, a la luz de la ciencia, esto se modificó radicalmente al demostrarse que la Tierra, junto con los planetas del sistema, giran alrededor del sol, que este cuerpo celeste es sólo una pequeña estrella de las millones que existen en nuestra galaxia y en el universo, originadas todas en una gran explosión conocida como el “*big-bang*”, evento que se desarrolló a partir de una singularidad espacio-temporal hace aproximadamente catorce mil millones de años. Dicha explosión dio origen a un gran número de partículas elementales que a altas temperatura se unieron para dar origen a los elementos primigenios y conforme éstos colisionaron entre sí durante la expansión inicial del universo, dieron como resultado elementos más complejos como el carbono, el oxígeno y todos aquellos que integran la tabla periódica de los elementos.

Los viajes espaciales son resultado de la conjunción de la ciencia con la tecnología, su objetivo: vencer la gravedad terrestre, salir de la atmósfera, orbitar la Tierra, viajar en el espacio, llegar a otros planetas y poder llevar al ser humano fuera de la Tierra, pero en especial hacerlo regresar sano y salvo. Las ciencias de la salud son y han sido parte esencial de los proyectos espaciales. En este caso, la Medicina espacial se define como la ciencia médica que estudia los efectos biológicos, fisiológicos y psicológicos de la persona en microgravedad y durante los vuelos espaciales. El ser humano es resultado de miles de años de evolución adaptada a la gravedad terrestre. Los viajes espaciales imponen en la homeostasis una readaptación de la Gravedad 1 (G1) a la microgravedad imperante en las naves espaciales y en los mundos más cercanos a la Tierra en los que se harán los primeros intentos de colonización, en este caso la Luna y Marte. Además, se deberá de prever la disponibilidad de agua, alimentos, manejo de residuos, protección contra radiación solar, urgencias médicas y deterioro orgánico y cognitivo, entre otros.¹

* Academia Nacional de Medicina. Academia Mexicana de Cirugía. Jefe de División de Áreas Críticas del Instituto Nacional de Rehabilitación. Asesor de Investigación del Hospital General Naval de Alta Especialidad. Profesor de la Escuela Médico Naval.

La Medicina espacial, con base en un bien planeado y financiado programa de investigación y desarrollo, ha alcanzado grandes logros en el conocimiento de la fisiopatología y enfermedades que condiciona la microgravedad, los mecanismos adaptativos y los riesgos que corren los astronautas no sólo durante los viajes orbitales, sino también en viajes de gran distancia en el espacio.²

La información derivada de los programas de investigación es enorme. Aquí puntualizamos algunos:

1. **Nivel muscular y óseo**, se presenta una acentuada atonía y atrofia muscular y disminución en la síntesis de proteínas constitutivas del músculo. Se ensancha el disco intervertebral por ganancia de agua lo que condiciona un incremento de la estatura de 5 a 7 cm, lo que genera dolor bajo de espalda. Se presenta una rápida descalcificación, de aproximadamente 1% por mes, en fémur, pelvis y columna vertebral, lo que incrementa el riesgo de fracturas y desarrollo de cálculos renales
2. A **nivel cardiovascular** se presenta una importante redistribución de líquidos al compartimento torácico y a sistema nervioso central que da el aspecto a los astronautas de una “pierna de pollo”, se desarrolla un estado de disautonomía, atrofia cardíaca, alteraciones en los sistemas iónicos de células cardíacas y la conducción que predispone al fenómeno de T alternante e incrementa el riesgo de arritmias malignas y disminución en la densidad capilar en especial en los músculos de las extremidades inferiores
3. A **nivel endocrino** se presentan alteraciones del sistema renina-angiotensina-aldosterona, disminuye la síntesis de eritropoyetina y se incrementan los niveles de norepinefrina y hormona antidiurética
4. La **respuesta inmune** se ve afectada por la radiación espacial que no puede ser contenida del todo por la estructura de la nave, el estrés, la respuesta neuroendocrina, alteraciones del patrón de sueño y la exposición a los contaminantes propios del interior de la nave
5. El ambiente de microgravedad impone a receptores de piel, músculo, articulaciones y sistema vestibular cambios que condicionan el *Síndrome de adaptación al espacio*
6. **Estrés y disfunción cognitiva** secundarios a vivir en un ambiente cerrado y estrecho, con ruido y vibración constante, luz artificial, privación de sueño y el sentimiento de soledad y aislamiento³⁻⁷

Los astronautas son personas jóvenes, sanas y sometidas a un entrenamiento estricto, a pesar de lo cual pueden enfermar, sufrir accidentes o presentar colapso emocional durante estancias prolongadas en el espacio. Algunos de los problemas médicos más comunes que ocurren durante las misiones espaciales son trauma menor, quemaduras, enfermedades respiratorias, gingivitis, cefalea, dolor bajo de espalda y mareos, resultado del estrés, fatiga, depresión inmunológica, exposición a

radiación, actividades espaciales extravehiculares, temperatura y humedad dentro de la cabina y procesos adaptativos a la microgravedad.⁸

Para disminuir riesgos secundarios a las alteraciones condicionadas por microgravedad se han desarrollado trajes y sistemas de ejercicio encaminados a mantener la eficiencia cardiovascular y osteomuscular, dietas especiales hipercalóricas que aseguren una adecuada carga proteica, procesos dirigidos a mantener la estabilidad psicológica y monitoreo con base de programas de telemedicina espacial, entre otros. En los viajes espaciales prolongados no es remoto que los astronautas se enfrenten a situaciones de paro cardíaco y arritmias letales, infecciones graves, disbarismo, trauma mayor, hemorragia y necesidad de procedimientos quirúrgicos. Para enfrentar estas situaciones se han desarrollado técnicas especiales de reanimación cardiopulmonar, manejo de la vía aérea y procedimientos quirúrgico-anestésicos en microgravedad, además de contar con un botiquín básico que contiene antibióticos, analgésicos, epinefrina, dexametasona, nitroglicerina, lidocaína, morfina, atropina, soluciones y hemoglobina artificial, entre otros, con el objetivo de manejar las situaciones de urgencia más frecuentes en ambiente de microgravedad.⁹⁻¹¹

Inicios

En el año 2010 se expide la Ley que crea la Agencia Espacial Mexicana (AEM) iniciando operaciones en el 2011. Su misión es utilizar la ciencia y la tecnología espacial para atender las necesidades de la población mexicana y generar empleos de alto valor agregado impulsando la innovación y el desarrollo del sector espacial para contribuir a la competitividad y al posicionamiento de México en la comunidad internacional, con el uso pacífico, eficaz y responsable del espacio. Su visión es contar con una infraestructura espacial soberana y sustentable de observación de la Tierra, navegación y comunicaciones satelitales de banda ancha, que contribuya a mejorar la calidad de vida de la población y al crecimiento económico de México. Como parte de sus múltiples actividades y encargos contempla el desarrollo de la Medicina espacial. Con motivo del sesquicentenario de la fundación de la Academia Nacional de Medicina de México (ANMM), por iniciativa del Dr. Enrique Ruelas Barajas, presidente en turno de la corporación, y de los doctores Héctor Robledo Galván, Carlos Varela Rueda y Raúl Carrillo Esper, se formalizó una alianza estratégica con la Agencia Espacial Mexicana, liderada por el Dr. Javier Mendieta Jiménez, para unir fuerzas y desarrollar un programa cuyo objetivo es estructurar, fortalecer, difundir la Medicina espacial y estimular la generación de recursos humanos en esta importante e interesante área, dentro del marco normativo de la AEM y de la ANMM, sumando esfuerzos con otras iniciativas ya implementadas.

Logros

Desde que se inició el proyecto conjunto, AEM-ANMM, ha dado sus primeros frutos, destacando la convocatoria a diferentes instituciones, que ha resultado en la

organización de foros de difusión, publicaciones científicas y en la organización del primer Congreso Nacional de Medicina Espacial, bajo el auspicio de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Es importante mencionar que se está estructurando la plataforma científica y tecnológica con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), para contar con la organización, normatividad y recursos para la formación de médicos e investigadores en la disciplina de Medicina espacial.

La convocatoria y la fortaleza del programa siguen dando resultados. El segundo Congreso Mexicano de Medicina Espacial se llevó con gran éxito en el 2016 en las instalaciones de la Universidad Marista de la ciudad de Guadalajara y el Tercero a realizarse en este 2017 es en la ciudad de Puebla, bajo el auspicio de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, magno evento académico en el que participarán distinguidos profesores nacionales, internacionales y astronautas (Figura A.1).

Los simposios denominados “Hacia Nuevos Horizontes de la Medicina” han evolucionado al paso del tiempo, de espacios de divulgación científica se han transformado en foros de discusión en los que se han sentado las bases de la Medicina Espacial Mexicana, como lo fue el cuarto foro, cuya sede fue la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Anáhuac campus norte en el que se dieron cita importantes personalidades de la vida académica y administrativa de la medicina. Las conclusiones a las que se llegaron fueron fundamentales para sentar la plataforma a partir de la cual se iniciará el proceso para continuar con el proyecto, bajo los lineamientos enunciados en el documento de posicionamiento que desarrollaron en común la Academia Nacional de Medicina de México y la Agencia Espacial Mexicana (Figura A.2).

Los documentos escritos dejan constancia del trabajo de la investigación, favorecen la divulgación del conocimiento y reflejan el compromiso de un grupo de trabajo. En este sentido uno de los grandes logros científicos del programa de Me-



FIGURA A.1.
Cartel del Tercer Congreso Mexicano de Medicina Espacial.



FIGURA A.2.
Cartel del cuarto Foro “Hacia Nuevos Horizontes de la Medicina”.



FIGURA A.3.
Libro de Medicina espacial.

dicina Espacial Mexicano fue el haber editado bajo los auspicios de la Academia Nacional de Medicina, la Agencia Espacial Mexicana y el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología un libro dedicado exclusivamente al tema de Medicina espacial. Este texto será referente del proyecto y de seguro a éste se sumarán otros más. Es importante señalar que además de las secciones científicas en las que está dividido, contiene un documento de gran valor y trascendencia, la Declaratoria en materia de Medicina espacial que realiza la Academia Nacional de Medicina en conjunto con la Agencia Espacial Mexicana (Figura A.3).

Vinculación entre Enfermería espacial y Medicina espacial

El 2017 guarda gran trascendencia para el programa Medicina espacial, debido a la vinculación de importantes instituciones, pero en especial y digno de honrosa mención la Escuela Nacional de Enfermería y Obstetricia (ENEO), institución de referente nacional y líder en la formación de profesionales de Enfermería.

La Enfermería mediante el cuidado holístico al ser humano posee una relación interdisciplinar con todas las ciencias de la salud, a través de ejes teóricos, paradigmas y acciones clínicas interdependientes. En el ámbito espacial es claro que no será diferente. La *Enfermería espacial* y sus profesionales deberán ser parte integral del grupo a bordo en las misiones espaciales, así como conservar un rol significativo en las primeras colonias fuera de la Tierra. Esto, no sólo debido a su alto grado de conocimiento técnico y científico, sino también por la característica humanitaria que brindan a la práctica clínica y su exclusiva perspectiva de la atención a la salud del ser humano.

Es así, como este innovador proyecto espacial, conexo a la ENEO, y liderado por dos entusiastas miembros de esta institución, Rodrigo Gómez Ayala y Miguel Marcos Puente Durán, se incluirá en el Proyecto *Medicina Espacial Integral* en una estrecha vinculación y trabajo cooperativo.

Proyecto Medicina espacial integral

El desarrollo de un programa de *Medicina espacial integral* requiere de una infraestructura compleja que incluya una organización administrativa, financiera, científica y tecnológica, cuyos objetivos finales serían el desarrollo de los siguientes departamentos, cada uno de los cuales tendría funciones específicas y que tendrá como eje rector las seis estrategias con sus respectivas líneas de acción plasmadas en el documento de posicionamiento ANMM-AEM y en el que la *Enfermería espacial* será parte sustantiva:¹²

- **Fisiología de vuelo.** Estudiará algunas de las principales alteraciones durante los vuelos espaciales, como desempeño de la tripulación, sueño, efecto de la exposición continua al ruido, baromedicina y lo relacionado a sistemas biomédicos y de salud
- **Clínica de Medicina de vuelo.** Encargada de incluir en sus investigaciones a la medicina espacial, medicina de aviación, oftalmología espacial, terapia ocupacional en vuelos y estancias espaciales prolongadas, programas de vacunación espaciales
- **Fisiología espacial.** Que incluirá el estudio de programas de nutrición, metabolismo óseo, volumen intravascular, hemodinamia, biología molecular y celular, fisiología y adaptación muscular en microgravedad
- **Psicología espacial.** Encargada de estudiar el comportamiento y convivencia del ser humano en confinamiento cerrado y estrecho por tiempo prolongado, la respuesta al estrés y los principales problemas psicológicos durante el viaje espacial. El comportamiento y adaptación al colonizar otros planetas. Y la readaptación a su regreso, en especial durante la reintegración del astronauta a la vida en la Tierra, posterior a una estancia espacial prolongada
- **Biología de la radiación.** Área de gran importancia en especial por la intensa exposición de los astronautas a la radiación más allá de la protección de los anillos de Van-Allen. En ésta se integrarán la astrobiología, biofísica, biodiagnóstico, oncología y microbiología espacial y el desarrollo de sistemas de protección
- **Biología gravitacional.** Se encargará de estudiar la adaptación y respuesta a diferentes sistemas con gravedad diferente a la terrestre
- **Nutrición espacial.** Que incluirá en su programa de desarrollo no solamente la dieta y menú de los astronautas durante vuelos y estancias espaciales prolongadas, sino también su adecuación, aporte equilibrado de nutrientes (calorías, nitrógeno, grasas, oligoelementos y vitaminas), preservación y en especial el desarrollo de un programa de nutrición sustentable durante la colonización de otros planetas.
- **Programa de Enfermería espacial.** En conjunto, la Enfermería y Medicina espaciales brindan sustento y apoyo a la investigación, propuestas y actividades científico-tecnológicas en el ámbito del cuidado a los astronautas

El programa de Medicina espacial mexicano va iniciando, avanza, el camino es largo, pero se están construyendo, consolidando y sentando las bases para su desarrollo integral, de tal manera que nuestro país participe activamente en este importante desarrollo científico y tecnológico. Con el trabajo conjunto y armonioso con un objetivo común entre la ANMM, la AEM y todas las iniciativas, instituciones, agrupaciones, investigadores y científicos que se han sumado al proyecto, el futuro es promisorio.

Referencias

1. Prisk GK. Microgravity. *Compr Physiol.* 2011;1:485-97.
2. Pietsch J, Bauer J, Egli M, Infanger M, Wise P, Ulbrich C, et al. The effects of weightlessness on human organism and mammalian cells. *Curr Mol Med.* 2011;11:350-64.
3. Stewart LH, Trunkey D, Rebagliatti SG. Emergency medicine in space. *J Emerg Med.* 2007;32:45-54.
4. Willey JS, Lloyd SA, Nelson GA, Bateman TA. Space radiation and bone loss. *Gravit Space Biol Bull.* 2011;25:14-21.
5. Liakopoulos U, Leivaditis K, Eleftheriadis T, Dombros N. The kidney in space. *Int Urol Nephrol.* 2012;44:1893-1901.
6. Stein TP. Weight, muscle and bone loss during space flight: another perspective. *Eur J Appl Physiol.* 2013;2171-81.
7. Hughson RL. Recent findings in cardiovascular physiology with space travel. *Resp Physiol Neurobiol.* 2009;169:38-41.
8. Gontcharov IB, Kovachevich IV, Pool SL, Navinkov AL, Barratt MR. Short communication: medical care system for NASA-Mir spaceflights. *Aviat Space Med.* 2002;73:1219-23.
9. Lerner DJ, Parmet AJ. Interventional radiology: the future of surgery in microgravity. *Aviat Space Environ Med.* 2013;84:1304-06.
10. Beck G. Emergency airway management in orbit: an evidence based review of possibilities. *Respir Care Clin N Am.* 2004;10:401-21.
11. Rehnberg L, Ashcroft A, Baers JH, Campos F, Cardoso RB, Velho R, et al. Three methods of manual external chest compressions during microgravity simulation. *Aviat Space Environ Med.* 2014;85:687-93.
12. Carrillo ER, Díaz-Ponce MJ, Padrón LS. *Medicina espacial.* Ciudad de México: Intersistemas Editores; 2016. ISBN 978-607-443-624-2.

Índice

La letra *c* refiere a cuadros; la letra *f*, a figuras.

A

- afecciones y lesiones, clasificación de, para los cuidados durante los viajes espaciales, 49
- alimentación en el espacio, 70
 - alimentos empaquetados, 74*f*
 - fórmula de la "*Space Tortilla*", 76*f*
 - primeros menús espaciales, 72*c*
- aprendizaje; ciencia y viajes espaciales, 185
 - a bordo de la nave espacial, 188
 - actividad extravehicular (EVA), 187
- atmósfera, capas de la, 12
 - estratósfera, 13
 - exósfera, 14
 - ionósfera, 14
 - mesósfera, 14
 - termósfera, 14
 - tropósfera, 12
- atmósfera, composición química de la, 14
- distribución de gases atmosféricos, 15*c*

B

- breve cronología de los viajes aeroespaciales, 7*f*
- breve historia de la Medicina espacial, 17

C

- ciclo circadiano, en microgravedad, modificaciones del, 119
 - un sistema biológico del sueño, 118
- comunicación interestelar, e interplanetaria, 159, 195
 - al regreso a la Tierra, 165
 - comunicaciones y transportes extraterrestres, 165
 - durante el viaje espacial, 163
 - los sonidos de la Tierra, 160
 - previo al viaje espacial, 163
 - proyecto francés de prototipos *wereables* de monitoreo clínico a bordo de la EEI, 164
- contextualización de este libro, 1

- contribuciones de la Enfermería a los programas espaciales de la NASA, 52
- cosmovisión y experiencia espacial, 169, 195
 - necesidad de vivir conforme a valores y creencias, 169
- cuidado de la higiene e integridad cutánea, en viajes espaciales, 141
 - cuidados de enfermería, 146
 - higiene en microgravedad, 142
- cuidados y habilidades clínicas, 49
 - clasificación de afecciones y lesiones, 49

D

- descanso y sueño, cuidados de enfermería en la necesidad de, 120
 - a bordo de la nave espacial, 123
 - al regreso a la Tierra, 127
 - previos al vuelo espacial, 120
- descanso, sueño y microgravedad, 117
 - ciclo circadiano, un sistema biológico del sueño, 118
 - cuidados de enfermería, 120
 - modificaciones del ciclo circadiano, 119
 - neurofisiología del sueño, 117
- dinámicas cinemáticas osteomioarticulares, 105, 193

E

- eliminación en el espacio, el astronauta y la necesidad de, 89, 94
 - a bordo de la nave espacial, 99
 - al regreso a la Tierra, 103
 - cuidados de enfermería, 94
 - evolución de los sistemas, en la astronave, 90
 - previos al viaje espacial, 94
 - proceso de excreción orgánica, 89
- Enfermería espacial*, 47
 - contribuciones a los programas espaciales de la NASA, 52
 - cuidados y habilidades clínicas, 49
 - modelo de Virginia Henderson, pertinencia del, 50
 - proceso y cuidado del astronauta, 47

entorno espacial, 11, 151, 192
 capas de la atmósfera, 12
 composición química de la atmósfera, 14
 fisiopatologías sistémicas inherentes al, 21
 propiedades físicas de la atmósfera, 15
 espacio sin límites, 5
 breve historia de la Medicina espacial, 17
 el entorno espacial, 11, 151, 192
 Estación Espacial Internacional (EEI), 189
 necesidad de aprendizaje, 185
 previo al vuelo espacial, 186
 viajes espaciales: evolución, 6
 estratósfera, 13
 evitar riesgos en la misión espacial, 151
 exósfera, 14

F

fisiopatologías sistémicas inherentes
 al entorno espacial, 21
 alteraciones debido a la exposición
 a la radiación, 36c
 cambios anatomofisiológicos durante
 y posterior al viaje espacial, 22f
 cardiovascular, 24
 célula, 35
 clasificación de tipos de hipoxia
 en el ámbito aeroespacial, 44
 contexto, 21
 digestivo, 33
 efectos psicológicos, 35
 hematopoyético, 41
 inmunológicos, 27
 líquidos y electrolitos, 43
 muscular, 31
 neurológico y vestibular, 23
 oftálmico, 34
 óseo, 29
 renal, 40
 respiratorio, 44

H

hematosis y procesos de compensación
 aeróbica, 57, 193
 higiene corporal e integridad cutánea,
 mantener la, cuidados de
 enfermería en la necesidad
 de, 146
 a bordo de la nave espacial, 148
 previo al vuelo espacial, 146

protección dérmica y sistemas sanitarios
 espaciales, 141
 higiene en microgravedad, 142
 historia de la Medicina espacial, 17

I

ionósfera, 14

M

mesósfera, 14
 misión espacial: de la ocupación estelar
 a la autorrealización, 175
 la ocupación como astronauta. 175
 necesidad de ocuparse en labores que
 lleven a la realización personal, 175
 roles a bordo de la nave espacial, 177
 y ciencia, 196
 modelo de Virginia Henderson, pertinencia
 del, en el proceso de cuidado al
 astronauta, 50
 a bordo de la nave espacial, 51
 previo al viaje espacial, 51
 regreso a la Tierra, 51
 movimiento y postura, cuidados de enfermería
 en la necesidad de, 108
 a bordo de la nave espacial, 110
 al regreso a la Tierra, 114
 dinámicas cinemáticas osteomio-
 articulares, 105
 en entorno de microgravedad, 105
 previos al viaje espacial, 108

N

neurofisiología del sueño, 117, 194
 nutrición orgánica y celular, 69, 193
 nutrición y viajes espaciales, 69
 cuidados de enfermería, 77
 la alimentación en el espacio, 70
 nutrición, cuidados de enfermería
 en la necesidad de, 77
 a bordo de la nave espacial, 80
 al regreso a la Tierra, 86
 MELFI, uso del, 83f
 previos al viaje espacial, 77
 recolección sanguínea
 en microgravedad, 82f
 SLAMMD, dispositivo de medición
 de masa de aceleración lineal
 del espacio, 85f

O

oxigenación, cuidados de enfermería
 en la necesidad de, 63
 a bordo de la nave espacial, 65
 al regreso a la Tierra, 66
 hematosis y procesos de compensación
 aeróbica, 57
 previos al viaje espacial, 64
 sistema de, y astronautas, 57
 ventilación y hematosis, 60

P

proceso enfermero y el cuidado
 del astronauta, 47
procesos de excreción orgánica, 89, 194
propiedades físicas de la atmósfera, 15
 presión atmosférica, 17
 temperatura, 15
protección dérmica y sistemas sanitarios
 espaciales, 141, 193
proyecto francés de prototipos *wereables*
 de monitoreo clínico a bordo
 de la EEI, 164

R

recreación y estancia espacial, 179, 195

S

sistemas de eliminación en la astronave,
 evolución de los, 90

T

termorregulación, en el astronauta, 137
 en el espacio exterior, 137, 194

termósfera, 14

traje de actividad extravehicular, 131
 brazos, 133
 casco espacial, 132
 guantes, 133
 ropa interior, 135
 sistema portable de soporte de vida, 134
 torso inferior, 134
 t. superior rígido, 133
trajes espaciales, 129, 195
 de actividad extravehicular, 131
 de actividad intravehicular, 131
 necesidad de vestirse y desvestirse, 129
tropósfera, 12

V

valoración, diagnósticos e intervenciones
 a bordo de la nave espacial, 65,
 80, 99, 110, 123, 148
valoración, diagnósticos e intervenciones
 al regreso a la Tierra, 66, 86, 103,
 114, 127
valoración, diagnósticos e intervenciones
 previos al viaje espacial, 64, 77,
 94, 108, 120
viajes espaciales: evolución, 6
 breve cronología de los viajes
 aeroespaciales, 7f
vinculación entre *Enfermería espacial*
 y Medicina espacial, 207, 211
 inicios, 209
 logros, 209
 proyecto Medicina espacial integral,
 212

Esta edición consta de 1 000 ejemplares y terminó de imprimirse
en septiembre de 2017 en Surtidora Gráfica, Calle Oriente 233 No. 297,
Col. Agrícola Oriental, Ciudad de México.

Hecho en México.



¿Hay un futuro para la humanidad más allá de la Tierra? ¿Colonizaremos Marte? ¿Podremos cuidar la vida en otros planetas? El viaje interplanetario está cada vez más cerca, y es de interés mundial para todos los científicos que las misiones espaciales logren el traslado y aseguren la permanencia del ser humano en entornos de microgravedad. Sin embargo, las alteraciones humanas, ocasionadas por la exposición a ambientes incompatibles con la vida, ponen en riesgo la intención de colonizar otros planetas. Por esto, es imprescindible la formación de un equipo preparado para la atención de cuidados a los astronautas. Es así como nace la *Enfermería espacial*.

Este interesante libro es un viaje a través de la teorización de cuidado a seres humanos durante estancias espaciales prolongadas. Una novedosa perspectiva de enfermería para abordar los sistemas de actuación clínica antes y durante el viaje espacial, así como el regreso a la Tierra. Sienta las bases metodológicas para la implementación de un modelo de atención a través de la valoración sistematizada, realizada desde el enfoque disciplinar de la enfermería, en astronautas cuyas esferas biopsicosociales se ven alteradas por las súbitas variaciones en condiciones de microgravedad, radiación, vibración, temperatura y presión.

Podría pensarse que la Enfermería espacial es un tema lejano en el horizonte, pero si consideramos la velocidad con que la ciencia ha avanzado en el campo de la aeronáutica, la materia exige una reflexión más profunda. La visión de los autores de este trabajo, Rodrigo Gómez Ayala y Miguel Marcos Puente Durán, abren las posibilidades de su campo de conocimiento hacia la sustentación teórica de las unidades de Enfermería espaciales, viajes interplanetarios y futuras colonias en Marte. Asimismo, este libro contribuye a la divulgación de un tema científico que puede despertar interés y vocaciones en nuevas generaciones de estudiantes. Sumando una modalidad en esta nascente temática de investigación los autores ubican, revolucionan y construyen un paradigma a la vanguardia de los avances mundiales y, a la vez, abonan el campo para futuras contribuciones a la materia, y en general a las ciencias espaciales.

"El futuro de la humanidad está en el espacio".

STEPHEN HAWKING

