

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CARRERA DE NUTRICIÓN

Tesis para optar por el grado académico de
Licenciatura en Nutrición

ALTERACIONES METABÓLICAS Y
NUTRICIONALES DURANTE LOS VIAJES
ESPACIALES EN POBLACIÓN
ASTRONAUTA Y SU EFECTO EN EL
ESTADO NUTRICIONAL (REVISIÓN
SISTEMÁTICA)

CARMEN CASTILLO SERRATO

Agosto, 2022

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	2
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
DEDICATORIA	8
AGRADECIMIENTO	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1.1 ANTECEDENTES DE PROBLEMA	15
1.1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.1.3 JUSTIFICACIÓN	20
1.2 REDACCIÓN DEL PROBLEMA CENTRAL: PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN....	22
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	22
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	24
1.4.1 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	24
1.4.2 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	24
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	25
2.1 CONTEXTO TEÓRICO-CONCEPTUAL	26
2.1.1 CONTEXTO HISTÓRICO	26
2.1.2 CONTEXTO TEÓRICO	28

CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO	46
3.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	47
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	47
3.3 UNIDADES DE ANÁLISIS U OBJETOS DE ESTUDIO	47
3.3.1 POBLACIÓN.....	48
3.3.2 MUESTRA	48
3.3.3 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN	48
3.4 INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	49
3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	50
3.6 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	51
3.8 PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	53
3.9 ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS.....	56
3.10 ANÁLISIS DE DATOS	57
CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	58
4.1 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	59
4.1.1 GENERALIDADES SOBRE ESTUDIOS DE LA INVESTIGACIÓN	
.....	59
4.1.2 ESTUDIOS INCLUIDOS EN INVESTIGACIÓN	
.....	60

CAPITULO V. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	80
5.1. ALTERACIONES METABÓLICAS Y NUTRICIONALES EN VIAJES ESPACIALES Y ESTUDIOS DE SIMULACIONES.	81
5.2 EFECTOS EN EL ESTADO NUTRICIONAL	92
5.3 MEDIDAS NUTRICIONALES.....	96
CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
6.1 CONCLUSIONES.....	105
6.2 RECOMENDACIONES.....	106
BIBLIOGRAFÍA	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
ANEXOS	117
Anexo 1. Carta del tutor.....	118
Anexo 2. Carta del lector.....	119
Anexo 3. Declaración jurada.....	120
Anexo 4. Carta de autorización.	121
Anexo 5. Tabla de excel inicial para estudios relacionados al tema como primer filtro de la revisión sistemática.	123
Anexo 6. Tabla de excel como base de datos para estudios tras el segundo filtro para la elegibilidad.....	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Incidencia de heridas durante vuelos espaciales por cada programa espacial y total de horas de vuelos.</i>	32
Tabla 2.	<i>Requerimientos nutricionales para astronautas de la ees y misiones de exploraciones.</i>	37
Tabla 3.	<i>Requerimientos estimados de energía para hombres y mujeres de 30 años.</i>	39
Tabla 4.	<i>Alteraciones en macronutrientes en población astronauta, sus riesgos y brechas de conocimiento.</i>	42
Tabla 5.	<i>Alteraciones en los principales micronutrientes en población astronauta, sus riesgos y brechas de conocimiento.</i>	43
Tabla 6.	<i>Criterios de inclusión y exclusión.</i>	48
Tabla 7.	<i>Operacionalización de las variables.</i>	51
Tabla 8.	<i>Características sobre la población astronauta y los viajes espaciales acorde a los criterios de inclusión y exclusión en los estudios de viajes espaciales.</i>	61
Tabla 9.	<i>Características sobre la población astronauta y los viajes espaciales acorde a los criterios de inclusión y exclusión en los estudios de simulaciones de viajes espaciales.</i>	63
Tabla 10.	<i>Alteraciones metabólicas y nutricionales en astronautas durante viajes espaciales, acorde a los criterios de inclusión y exclusión.</i>	65
Tabla 11.	<i>Alteraciones metabólicas y nutricionales en astronautas durante simulaciones de viajes espaciales, acorde a los criterios de inclusión y exclusión.</i>	68

Tabla 12.	<i>Cambios en el estado nutricional de los astronautas durante viajes espaciales.</i>	69
Tabla 13.	<i>Cambios en el estado nutricional de los sujetos durante simulaciones de viajes espaciales.</i>	71
Tabla 14.	<i>Efectos de las alteraciones metabólicas y nutricionales en el estado nutricional de los astronautas en viajes espaciales.</i>	73
Tabla 15.	<i>Efectos de las alteraciones metabólicas y nutricionales en el estado nutricional de los sujetos en simulaciones de viajes espaciales.</i>	75
Tabla 16.	<i>Comparación de las alteraciones metabólicas, nutricionales y efectos en el estado nutricional detectadas en los estudios durante viajes espaciales y simulaciones de viajes espaciales.</i>	77
Tabla 17.	<i>Asociación entre los cambios en concentraciones de citoquinas y la abundancia relativa de la microbiota gastrointestinal durante una misión en la iss y posterior al regreso a la tierra.</i>	84
Tabla 18.	<i>Biomarcadores metabólicos y sanguíneos antes del viaje espacial y durante la estadía en la estación espacial internacional.</i>	95
Tabla 19.	<i>Datos de alimentación y ejercicios físicos en astronautas durante expediciones espaciales en la iss entre el 2006 – 2009.</i>	96
Tabla 20.	<i>Datos antropométricos, calorías y consumo de nutrientes de sujetos voluntarios en estudio durante su estadío en el lunar palace 1 en china.</i>	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Dinámicas de microbiota intestinal de los seis voluntarios (5001-5006) en el proyecto de simulación espacial, mars500.....</i>	35
Figura 2. <i>Ingesta dietética de miembros de las misiones de apollo, skylab, shuttle, mir, iss e1-18, iss e19-36.....</i>	40
Figura 3 . <i>Flujograma de metodología prisma sobre búsqueda y selección bibliográfica... ..</i>	55
Figura 4 . <i>Total de estudios registrados según buscador y número de estudios elegidos tras revisión final.....</i>	57
Figura 5 . <i>Abundancias relativas de kegg, eggnog y cazy nivel 1 en las misiones uno y dos.....</i>	83
Figura 6 . <i>Cambios en peso corporal antes, durante y después de cada intervención.....</i>	90
Figura 7. <i>Cambios en peso corporal del gemelo en la tierra (hr) y del gemelo astronauta (tw) durante el vuelo, su regreso a la tierra y posterior al vuelo.....</i>	93
Figura 8 . <i>Análisis estadístico en la composición del microbioma.</i>	100
Figura 9. <i>Resultados de pls-da basados en poblaciones microbianas a nivel de género.....</i>	101

DEDICATORIA

Con el amor más grande, dedico el siguiente trabajo y agradezco plenamente a **Vernon Arturo**, por siempre estar ahí y ser mi fan número 1 desde el inicio de esta aventura.

AGRADECIMIENTO

Gracias infinitas a:

Dios sobre todas las cosas y su santísima madre la Virgen María.

Mis padres, por su guía y apoyo incondicional.

Mis hermanos, mi novio, mis perritos y amistades, por su amor, paciencia y compañía.

Mi tutora, por su guía y consejos durante todo el proceso.

Todos los docentes de la carrera de Nutrición, por mostrar con amor y entusiasmo la vital importancia de esta profesión a través de mis años de estudio.

Este trabajo es fruto de un gran amor y pasión por las ciencias, la investigación y los libros, que desde pequeña fueron mis grandes compañeros en un camino que apenas empieza.

RESUMEN

Introducción: La medicina aeroespacial es un campo nuevo y complejo, el cual se encuentra en etapas tempranas, sin embargo, es un hecho que cada día toma mayor relevancia e importancia en el área de la salud. El campo de la nutrición espacial es muy extenso, ya que se dedica a estudiar los cambios relacionados a la nutrición y sus consecuencias en la salud y estado nutricional de los astronautas. **Objetivo General:** Analizar los efectos de las alteraciones metabólicas y nutricionales en el estado nutricional de la población astronauta durante viajes espaciales y/o simulaciones. **Metodología:** Se realiza un trabajo investigativo con enfoque cualitativo usando la metodología para revisión sistemática de PRISMA. Posee un carácter correlacional o analítico, finalidad teórica, marco de magnitud mega y dimensión longitudinal. Se hace uso de buscadores en línea como PubMed, Research Gate, Google Scholar, Science Direct, Frontiers, con el fin de encontrar estudios relacionados al tema que cumplieran con los criterios de inclusión y exclusión. **Resultados:** Se obtiene un total de 200 estudios identificados como primer filtro, sin embargo, solamente 17 estudios fueron elegibles posterior al segundo filtro. Las alteraciones metabólicas y nutricionales identificadas en población astronauta fueron aquellas que afectan el microbioma, la microbiota intestinal, el sistema musculoesquelético, así como cambios a nivel del metabolismo de la insulina y la glucosa, en el peso corporal, la alimentación y valores bioquímicos, los cuales se relacionan y afectan de manera directa el estado nutricional. **Discusión:** Los factores atmosféricos a los que se exponen los astronautas, conlleva a cambios fisiológicos que afectan la salud en general del astronauta. En cuanto al estado nutricional, se establece que los requerimientos calóricos y nutricionales son diferentes en el espacio, y al no cumplir correctamente estos, resulta en alteraciones a nivel nutricional y metabólico. La pérdida de peso, uno de los resultados mas comunes, puede deberse a la

disminución de la ingesta calórica, pero también a la disminución del contenido mineral óseo y pérdida muscular debido al cambio en la gravedad. Los cambios metabólicos como en aquellos de la insulina y glucosa pueden aumentar el riesgo de resistencia insulínica en esta población. En algunos casos esto se debe a que los alimentos utilizados en el espacio poseen un contenido elevado de carbohidratos simples como método de aumento energético en estos productos. Los cambios en el microbioma y microbiota intestinal pueden generar cambios en procesos metabólicos de los alimentos, afectar el sistema inmunológico por la reactivación de ciertos virus presentes y, por lo tanto, afectar el estado nutricional del astronauta. En estudios de simulaciones se han encontrado opciones de dietas espaciales y sesiones de ejercicios que pueden contrarrestar algunos de estos efectos negativos hacia el estado nutricional, sin embargo, aun existen problemáticas sin resolver. **Conclusiones:** Las alteraciones metabólicas y nutricionales encontradas sugieren una afectación amplia a diferentes sistemas del organismo, principalmente en el metabolismo óseo, metabolismo de la glucosa, microbioma y microbiota intestinal, sistema inmunológico, al igual que cambios en la ingesta dietética.

Palabras Claves: nutrición espacial, astronauta, metabolismo, microgravedad, medicina aeroespacial.

ABSTRACT

Introduction: Aerospace medicine is a new and complex field, which is in its early stages, however, it is a fact that every day it becomes more relevant and important in the area of health. The field of space nutrition is very extensive, since it is dedicated to studying changes related to nutrition and their consequences on the health and nutritional status of astronauts. **General Objective:** To analyze the effects of metabolic and nutritional alterations on the nutritional status of the astronaut population during space travel and/or simulations. **Methodology:** A research work with a qualitative approach is carried out using the methodology for systematic review of PRISMA. It has a correlational or analytical character, theoretical purpose, mega magnitude framework and longitudinal dimension. Online search tools such as PubMed, Research Gate, Google Scholar, Science Direct, Frontiers were used in order to find studies related to the topic that meet the inclusion and exclusion criterias. **Results:** A total of 200 studies identified as the first filter is obtained, however, only 17 studies were eligible after the second filter. The metabolic and nutritional alterations identified in the astronaut population were those that affect the microbiome, the intestinal microbiota, the musculoskeletal system, as well as changes at the level of insulin and glucose metabolism, body weight, diet and biochemical values, which are directly related to and affect nutritional status. **Discussion:** The atmospheric factors to which astronauts are exposed lead to physiological changes that affect the general health of the astronaut. Regarding the nutritional status, it is established that the caloric and nutritional requirements are different in space, and by not fulfilling these correctly, it results in alterations at the nutritional and metabolic level. Weight loss, one of the most common results, can be due to a decreased caloric intake, but also decreased bone mineral content and muscle loss due to the change in gravity. Metabolic changes such as those in insulin and glucose may

increase the risk of insulin resistance in this population. In some cases, this is due to the fact that the foods used in space have a high content of simple carbohydrates as a method of increasing energy in these products. Changes in the intestinal microbiome and microbiota can generate changes in metabolic processes of food, affect the immune system due to the reactivation of certain viruses present and, therefore, affect the nutritional status of the astronaut. In simulation studies, special diet options and exercise sessions have been found that can counteract some of these negative effects on the nutritional status, however, there are still unresolved problems. **Conclusions:** The metabolic and nutritional alterations found suggest a broad affectation to different systems of the organism, mainly in bone metabolism, glucose metabolism, microbiome and intestinal microbiota, immune system, as well as changes in dietary intake.

Key Words: space nutrition, astronaut, metabolism, microgravity, aerospace medicine.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1 Antecedentes de problema

La siguiente sección expone un número de referencias con las que se otorga fundamento teórico y analítico relevante a la revisión. Está conformada por antecedentes internacionales, regionales y nacionales.

La investigación busca destacar la relación entre las causas que conllevan a las alteraciones nutricionales y metabólicas en la población astronauta y su repercusión en el estado nutricional de los mismos durante viajes espaciales realizados a través de la historia o durante simulaciones de estos. Por lo tanto, los siguientes antecedentes son una importante base investigativa, ya que son ejemplos basados en evidencias que visibilizan la problemática actual.

Cuando los seres humanos se dirigen fuera de la atmósfera terrestre durante los viajes espaciales tripulados, se ven afectados por múltiples cambios atmosféricos que generan respuestas adaptativas fisiológicas. Algunos ejemplos de condiciones fuera de lo normal a los que se exponen son la microgravedad, radiación espacial, el confinamiento, la aceleración, cambios en la temperatura, entre otros (Iwase, Nishimura, Tanaka, & Mano, 2020). Según Costa, Saverio, Beccari, Cataldi, Curcio, et al. (2021), estos factores afectan el organismo y sus diferentes sistemas del cuerpo. Eso incluye alteraciones en el balance energético como en requerimientos nutricionales del astronauta debido a cambios en el sistema gastrointestinal (Costa, et al., 2021). Estas alteraciones pueden generar cambios a nivel molecular que pueden producir deficiencias y un estado nutricional gravemente afectado. Otra consecuencia detectada tras múltiples viajes espaciales es la pérdida de peso o masa corporal resultados del cambio atmosférico y la microgravedad, especialmente la pérdida muscular y ósea (Costa, et al., 2021).

Los cambios fisiológicos se detectan por diferentes mecanismos de control, como el registro de la ingesta diaria de alimentos, control de signos vitales durante los viajes y durante el ejercicio físico diario, entre otros métodos. Sin embargo, en un reporte de la NASA donde se realizó un análisis de las notas de los astronautas a bordo de la *Estación Espacial Internacional (ISS)* durante 20 viajes realizados, se detectaron inconformidades en la elección y tipo de alimentos disponibles para consumir durante los viajes. Esto derivó en un desorden en la ingesta alimentaria, saltarse tiempo de comida o sensación de estar insatisfechos con dichos alimentos (Struster, 2010).

Por otro lado, se ha evidenciado a través de muchos estudios, como los sentidos tienen un gran impacto en la ingesta alimentaria diaria. En el caso de los astronautas, los cambios en el sentido del olor y el olfato su estadía en la ISS, según una revisión exhaustiva de Taylor, Beauchamp, Briand, Herr, Hummel, Margot, et al. (2020), ha demostrado una disminución en la ingesta alimentaria. Esta disminución de la ingesta se da por la alteración en la percepción de alimentos, la preparación de las comidas y poca variedad de alimentos disponibles, así como el ambiente en el que se encuentran (Taylor, et al., 2020). Esta inconformidad y baja ingesta calórica puede tener una influencia muy predominante en la pérdida de peso y en el deterioro del estado nutricional.

Cabe destacar que, en diversos estudios terrestres sobre el microbioma humano, ha sido posible asociar padecimientos de astronautas durante viajes espaciales y la posible disfunción del microbioma mientras se exponen a factores como la microgravedad. Según Saavedra, Pinzón, Zuñiga, Ruiz, Leal, Muñoz (2019), se han registrado cambios en la microbiota humana tras regresar a la Tierra, que son ocasionados por una mayor transferencia de patógenos durante estos viajes, debido a cambios del sistema digestivo. Patógenos como la Salmonella pueden ser

más fuertes y más fácil de transmitir en un ambiente de microgravedad, lo que genera, de manera directa, una afectación al sistema inmunitario del astronauta. Debido a esta problemática, se ha investigado el uso de probióticos para mejorar la salud gastrointestinal, el funcionamiento inmune de la microbiota intestinal y como los alimentos enriquecidos con estas bacterias beneficiosas pueden ser esencial para la salud y bienestar en misiones espaciales prolongadas (Saavedra, et al., 2019).

La *NASA* y *Ottawa Health Sciences Research Ethics Board* analizaron exámenes bioquímicos para medir las concentraciones de hemoglobina en astronautas de Canadá y de Estados Unidos entre 1968 al 2015, como otra problemática detectada en esta población durante sus viajes. Como resultados, se detectó que un 92% alcanzaron niveles bajos de hemoglobina con criterios de anemia las cuales asociaron a diferentes hipótesis planteadas por expertos. Muchos concordaron que la anemia resultó de cambios estructurales en la médula ósea, al igual que cambios en la producción de eritrocitos, disminución de hierro sérico, entre otros factores fisiológicos (Trudel, Shafer, Laneuville, & Ramsay, 2019).

Otro sistema gravemente afectado es el musculoesquelético. En el estudio por Juhl, Buettmann, Friedmana, DeNapoli, Hoppock y Donahue (2021) se destacan los efectos en el sistema musculoesquelético debido a los cambios en el ambiente atmosférico de los viajes espaciales en la EEI. De acuerdo con esto, células de la médula ósea como las estromales y hematopoyéticas, sufren alteraciones significativas que afectan la salud de los huesos y el tejido muscular debido a la exposición a la microgravedad (Juhl, et al., 2021). Algunos efectos son: la disminución en respuestas mecánicas, en la regeneración y diferenciación celular, pérdida en la formación ósea y proliferación celular, menor número de glóbulos rojos y pérdida de tejido muscular. Como mecanismo para contrarrestar este desbalance, se menciona que la

farmacología, nutrición y ejercicio físico son la opción estratégica mas óptima. En el estudio por Demontis, Germani, Caiani, Passino, Angeloni (2017) se indica que la suplementación con calcio, vitamina D, vitamina K y fármacos como los bifosfonatos son una alternativa. Esta suplementación, junto con ejercicios adaptados durante circunstancias de poca gravedad, se realizaron con el objetivo de reducir la desmineralización de los huesos y las afectaciones al sistema musculoesqueléticos (Demontis, et al., 2017). Sin embargo, a pesar de mejorar las estrategias nutricionales a través de los años mediante dietas balanceadas y uso de suplementación, se continua sin generar una respuesta completa a esta problemática en los astronautas. Esto demuestra una deficiencia en el conocimiento para poder controlar estos efectos negativos al sistema musculoesquelético durante los viajes (Juhl, et al., 2021) . Con ello se abren puertas a la investigación de este efecto en la ciencia de la nutrición y metabolismo.

Debido a los tantos factores que influyen en la fisiología humana durante viajes espaciales, ha sido de gran importancia realizar cambios en los requerimientos nutricionales y energéticos de los astronautas, al igual que generar mejoras en la preservación de los alimentos. Según un artículo publicado en México por Carrillo y Zepeda (2017), se debe incluir un factor de corrección para la estimación de requerimientos energéticos basales de 1.25 siguiendo las pautas del *Instituto de Referencia e Informes de Ingesta Dietética*. Se menciona que se debe tomar en cuenta de igual forma, los cambios en los porcentajes de macronutrientes y líquidos debido a que las necesidades nutricionales son afectadas. Los autores hacen un llamado a la importancia de los alimentos en estas misiones espaciales, ya que, en el futuro cercano, las misiones durarán más tiempo. Por ello, la importancia de que los astronautas tengan una buena alimentación compuesta de alimentos nutritivos, con buen sabor y almacenada de la mejor manera es vital. Esto con el fin de reducir efectos secundarios de la microgravedad, uno de los

factores atmosféricos más complejos, y también evitar a toda costa la pérdida de peso, o incluso, un estado grave de desnutrición (Carrillo & Zepeda, 2017).

En Costa Rica, cada vez el interés por las ciencias aeroespaciales va en aumento, con la creación de la Agencia Espacial Costarricense (AEC) en el año 2021, empresas aeroespaciales como *Ad Astra Rocket Company* y otros laboratorios y universidades donde diario se realizan experimentos relacionados. Se menciona en un artículo publicado por el estudiante costarricense de ingeniería en computación, Alex Saenz (2019), la importancia del país como pionero de la exploración aeroespacial en Centro América, debido a que cuenta con múltiples avances tecnológicos que han logrado posicionar al país en alto. En su conclusión, se detalla como Costa Rica puede ser una herramienta en la producción de tecnología espacial de mayor proporción, promocionando la exploración de los cuerpos celestes en el país y favoreciendo también el bienestar de los humanos durante viajes espaciales. A pesar de la escasa participación del país en la formulación de productos alimenticios o suplementos para la población espacial, existe una ventana para incorporarse como país en esta área, de la mano con los avances tecnológicos ya presentes, y así, ser un ejemplo para el resto de la región (Saénz, 2019).

1.1.2 Delimitación del problema

La problemática actual incluye meramente estudios y/o ensayos clínicos realizados con población astronauta que evalúan las alteraciones metabólicas y nutricionales durante vuelos espaciales o simulaciones de entrenamiento espacial, en países de América, Europa y Asia. Se basa en los resultados de estudios que incluyen viajes tripulados a cargo de agencias espaciales tales como: Administración Nacional del Espacio y la Aeronáutica (NASA), Agencia Espacial Europea (ESA), Agencia Espacial Italiana (ASI), Agencia Espacial Federal Rusa (FKA, Roscosmos), Administración Espacial Nacional China (CNSA), entre otras. Al ser una revisión sistemática, las características de las personas que participaron en estos estudios no contienen características específicas sobre su género, edad, procedencias, entre otros. En cuanto a la delimitación temporal se procede a establecer un período de tiempo sobre estudios realizados entre el año 2011 al 2021.

1.1.3 Justificación

El siguiente tema cuenta con áreas de estudio que abren puertas a la investigación, con el propósito de mejorar o solucionar problemas de salud que ocurren en la población astronauta. A medida que la tecnología avanza, el interés por los viajes espaciales, o bien, el deseo de ampliar las fronteras del conocimiento científico fuera del planeta, continúan en aumento y cuentan cada vez más con la participación de países de la región latinoamericana. No solamente los ingenieros, físicos y químicos están involucrados en los proyectos espaciales, sino que otras ramas se involucran en el avance de la humanidad hacia las estrellas, incluyendo las ciencias médicas y biológicas que se centran en el bienestar de los seres humanos. Muchas agencias

espaciales cuentan con un personal ampliamente variado, incluyendo personal de salud como médicos, nutricionistas, psicólogos y más, los cuales son indispensables para el desarrollo de sus proyectos.

En el presente estudio se enfoca en destacar las problemáticas fisiológicas de los astronautas y cómo la alimentación y nutrición constituyen una oportunidad de contrarrestar dichos cambios. Identificando las diversas causas que afectan el estado nutricional del astronauta, los nutricionistas y nutriólogos pueden ser parte de la solución en aspectos como el de brindar mejoras en la formulación de dietas, introducir nuevos y mejores productos alimenticios y/o suplementos que minimicen efectos secundarios de las alteraciones metabólicas y nutricionales que pueden presentarse. Esta área investigativa da lugar para la inclusión de un sinnúmero de profesionales interesados en colaborar como expertos en el área de la salud y de la nutrición de seres humanos en ambientes poco conocidos.

La motivación principal para el estudio de este tema deriva de aspiraciones y deseos de conectar dos mundos, la nutrición y el espacio, generando más oportunidades de interés en el desarrollo para estudios, no solo en países avanzados, sino, en nuestra región. Radica en la importancia de motivar a la juventud y nutricionistas en formación, de aventurarse en áreas de la nutrición poco exploradas por latinoamericanos, de esta manera permitir la expansión de conocimientos y desarrollo de nuevas metas y proyectos.

1.2 REDACCIÓN DEL PROBLEMA CENTRAL: PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Como se menciona en los antecedentes del actual estudio, existen múltiples evidencias que destacan la importancia de la salud del astronauta debido a la exposición a cambios atmosféricos en el espacio. Debido a las observaciones en los cambios fisiológicos durante los viajes espaciales en población astronauta, se procede a detallar la siguiente pregunta de investigación, la cual se enfoca principalmente en el aspecto metabólico y nutricional del astronauta: **¿Cómo las alteraciones metabólicas y nutricionales afectan el estado nutricional de los astronautas durante viajes espaciales y/o simulaciones?**

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Analizar los efectos de las alteraciones metabólicas y nutricionales en el estado nutricional de la población astronauta durante viajes espaciales y/o simulaciones.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Describir las características de la población astronauta y los viajes espaciales a través de la historia.
2. Identificar las alteraciones metabólicas y nutricionales en astronautas durante viajes espaciales y/o simulaciones.
3. Analizar los cambios en el estado nutricional de los astronautas durante viajes espaciales y/o simulaciones.

4. Comparar las alteraciones metabólicas, nutricionales y efectos en el estado nutricional detectadas en los estudios durante viajes espaciales y simulaciones de viajes espaciales.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 Alcances de la investigación

La siguiente investigación incorpora la revisión de estudios, ensayos clínicos, artículos científicos e investigaciones relacionados a las alteraciones metabólicas y nutricionales en astronautas y simulaciones de viajes espaciales, realizados por profesionales en el campo en países de América, Europa y Asia entre 2011 – 2022. Se busca beneficiar a profesionales interesados en el área de salud y nutrición que buscan ampliar sus conocimientos ante los cambios y efectos fisiológicos a causa de los cambios atmosféricos, exposición a la microgravedad y radiación en dichas situaciones, que puedan afectar el estado nutricional del astronauta.

1.4.2 Limitaciones de la investigación.

Una limitación es el acceso a un mayor número de estudios actualizados y escasa participación de estudios en Latinoamérica debido a la complejidad del tema. Algunos estudios no contienen la información necesaria sobre el abordaje nutricional empleado en dicha investigación, en otros casos se omite cierta información del estado nutricional como el peso, talla o índice de masa corporal de los astronautas o sujetos voluntarios, por otro lado, también se destaca una limitación en cuanto a datos y características de los astronautas o sujetos como la edad, sexo y nacionalidad. Un estudio realizado solamente con un astronauta no detalla información personal por temas de privacidad, al ser solamente un sujeto en estudio.

CAPITULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 CONTEXTO TEÓRICO-CONCEPTUAL

2.1.1 Contexto Histórico

A. Datos históricos sobre viajes espaciales

La carrera espacial empieza en el siglo XX en los años 50's, cuando la Unión Soviética (URSS) en aquel entonces, se propone EN enviar satélites al espacio, logrando lanzar el 4 de octubre de 1957 el satélite Sputnik 1 (Rodríguez, 2019). Ese mismo año también deciden mandar el primer ser vivo al espacio, la perra Laika, y en 1961 toman nuevamente la iniciativa de mandar al primer ser humano en orbita, llamado Yuri Alekséyevich Gagarin, quien logra su retorno a la Tierra de manera segura (Rojas, 2019). Es cerca de esta época cuando Estados Unidos (EE.UU) realiza planes para entrar en la carrera espacial, logrando exitosamente mandar al primer hombre a la luna en la misión de Apolo 11, con los astronautas Neil Armstrong, Edwin (Buzz) Aldrin y Michael Collins el 20 de julio de 1969 (Rodríguez, 2019). En 1975, las naves Soyuz y Apolo 18 realizan un acoplamiento, hecho que demuestra la participación de ambos países, EE.UU y Rusia, en una misma misión, determinante que influyó en dar un fin a la Guerra Fría (Rodríguez, 2019). Desde entonces, las misiones espaciales por países como EE.UU, Rusia y China, han aumentado drásticamente.

El inicio de la carrera espacial motivo a muchos otros países alrededor del mundo de participar en la exploración espacial. Empezaron a surgir mas agencias espaciales de países como Italia (Agencia Espacial Italiana), Francia (Centro Nacional de Estudios del Espacio), España (Agencia Espacial Europea) y países de Latinoamérica como Argentina, México, Chile, Brasil, Perú, entre otros. Recientemente en julio del 2021, la Agencia Latinoamericana y Caribeña del Espacio (ALCE) es confirmada e integrada en la constitución oficial. El impulso

inicial para la creación de dicha agencia empezó con la participación de Argentina y México, sin embargo, otros países como El Salvador, Bolivia, Ecuador, Paraguay y Costa Rica se han incorporado a la formación de esta (Riaño, 2021). El convenio constitutivo fue firmado por “Antigua y Barbuda, Argentina, Bolivia, Costa Rica, Cuba, Dominica, Ecuador, Guatemala, Haití, Honduras, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, San Vicente y las Granadinas, Santa Lucía y Venezuela” en septiembre del 2021 (Lutzky, 2022). Esto demuestra la participación de más latinoamericanos en la exploración espacial en un futuro muy cercano.

B. Ciencias de la salud en la exploración espacial

Las ciencias se encuentran en una constante evolución y desarrollo de nuevos métodos, conocimientos y proyectos para desafiar las incógnitas que nos rodean. En el caso de las ciencias de la salud, grandes descubrimientos de la fisiología humano han ayudado a comprender las enfermedades e incluso curar muchas de estas. La medicina aeroespacial es un campo nuevo y complejo, el cual se encuentra en etapas infantiles, sin embargo, es un hecho que cada día toma mayor relevancia e importancia en la salud (Barratt, Baker, & Pool, 2019). Junto con la tecnología y la ingeniería, los profesionales en salud deben trabajar en conjunto para lograr el bienestar de los seres humanos en el espacio. Uno de los objetivos de esta nueva área es el de conocer y entender los efectos de este ambiente sobre el cuerpo de los seres humanos, para así, poder evitar enfermedades o consecuencias negativas que limiten su función normal allá arriba (Barratt, Baker, & Pool, 2019).

Una de las principales agencias espaciales con un gran número de investigaciones y proyectos para la exploración espacial es Administración Nacional del Espacio y la Aeronáutica (NASA). Esta empresa posee avances en la ingeniería y medicina aeroespacial, la cual ha facilitado el avance del desarrollo de sus misiones y viajes espaciales. Sin embargo, existen

muchos retos pendientes en superar, que involucran la salud y seguridad del astronauta, por lo que uno de sus objetivos es ampliar el conocimiento en el área biomédica para así superar los cambios fisiopatológicos que pueden ocurrir (Saavedra, et al., 2019).

El campo de la nutrición espacial es muy extenso, ya que se dedica a estudiar los cambios relacionados a la nutrición y sus consecuencias en la salud y estado nutricional. Según Smith, Zwart, Douglas, Heer (2014), existen cambios fisiológicos que se relacionan con la nutrición y pueden generar importantes cambios que pueden poner en riesgo la vida de la persona y la misión. Algunos de estos cambios son “la pérdida de masa muscular y ósea, degradación del sistema cardiovascular, desbalance del sistema inmune y cambios neurovestibulares (Smith, et al., 2014)”. Es por estas y muchas razones mas, que la involucración del soporte nutricional adecuado dentro del campo de la salud y la medicina aeroespacial es de vital importancia.

2.1.2 Contexto Teórico

A. Alteraciones Fisiológicas en Viajes Espaciales

Factores atmosféricos

Dirigirse fuera de la atmósfera terrestre conlleva a cambios en los humanos que repercuten en alteración fisiológicas por factores externos que influyen durante el viaje. En esta sección, se mencionan los principales factores atmosféricos, su definición y riesgos a la salud de manera general.

1. Microgravedad

La microgravedad se define como la “manifestación prácticamente nula de la pesantez de los cuerpos por ausencia de la gravedad (RAE, 2014)”. Cuando los humanos presencian el estado de microgravedad, ocurre una redistribución de los fluidos corporales, cambiando su

proporción desde las extremidades hacia arriba en cabeza, cuello y tórax, por el cual los astronautas pueden percibir su cara inflamada o sensación de llenura. Este cambio puede afectar el porcentaje de agua corporal al igual que una reducción del volumen sanguíneo durante varios días o semanas. Uno de los riesgos más importantes ante esta reducción son los cambios en requerimientos de hierro y reservas de este (Smith, et al., 2014).

El sistema musculoesquelético y sistema cardiovascular perciben cambios a causa de la microgravedad. En el caso de los huesos, el calcio almacenado en ellos empieza a disminuir y excretarse por medio de la orina, hasta en un 70 %, lo que afecta gravemente la densidad mineral ósea, especialmente en zonas como el cuello, la pelvis y la espina dorsal (Tanaka, Nishimura, & Kawai, 2016). El corazón, por otro lado, ocurre una hipotensión ortostática, que puede vincularse con la atrofia muscular del corazón tras 10 días de exposición a microgravedad, disminución del volumen sanguíneo y la reducción en la contractibilidad vascular (Tanaka, et al., 2016).

2. Radiación

Se define a la radiación como la “energía ondulatoria o partículas materiales que se propagan a través del espacio (RAE, 2014)”. El tipo de radiación al que se exponen los astronautas durante estos viajes, se les llama “*high-LET* (por sus siglas en inglés: high-linear energy transfer) rayos cósmicos galácticos” (Smith, et al., 2014). Existe también una exposición de los rayos solares, especialmente en ocasiones que hay mayor actividad solar. Es una de las causas principales por las cuales se limita la prolongación de misiones espaciales, ya que continúa siendo una exposición que puede generar problemas de salud con el tiempo (Montesinos, et al., 2021). Una preocupación grave ante este factor será en el futuro próximo de la exploración espacial, cuando los humanos empiecen los viajes a Marte, el planeta más

cercano habitable de la Tierra, en el cual la exposición a radiación será aún mayor, se deberá mejorar aún más las técnicas de protección (Smith, et al. 2014).

3. Ambiente

El ambiente posee diversos componentes que se alejan a lo conocido en la Tierra y estos pueden afectar la salud del astronauta. Por ejemplo, los cambios en la presión atmosférica, fluctuación de temperatura y cambios en la humedad de la cabina generan inconformidades. La presión atmosférica difiere en la proporción de concentraciones de CO₂ y O₂ en comparación a la superficie terrestre, ya que la concentración de CO₂ es mayor, hasta 10 veces más, afectando diferentes aspectos del día a día (Smith, et al., 2014). El metabolismo se ve afectado, ocurre una disminución en la densidad ósea y sus minerales, el comportamiento fluctúa e incluso a nivel visual pueden presentarse patologías (Smith, et al., 2014).

4. Tiempo

A medida que la misión espacial se prolonga, los humanos dentro de las estaciones espaciales se exponen a cambios fisiológicos continuamente. Si la duración es de aproximadamente 2 a 6 meses, se puede evidenciar pérdida de masa corporal, incluyendo la muscular y ósea, además de la exposición prolongada a mayor radiación, ya que incluso esta exposición puede llegar a ser la totalidad recomendada para toda la vida (Smith, et al., 2014).

5. Confinamiento

El confinamiento se define como “aislamiento temporal y generalmente impuesto de una población, una persona o un grupo por razones de salud o de seguridad (RAE, 2014)”. En este caso, el confinamiento que se experimenta durante los viajes espaciales puede afectar a nivel cognitivo, emocional y mental. Según un estudio sobre confinamiento y aislamiento realizado en estaciones de Antártica y el Polo Sur con dos grupos de voluntarios que permanecieron 1

año en cada estación, se detectó como el confinamiento puede aumentar el riesgo de padecer depresión u otros trastornos psicológicos (Palinkas, Johnson, & Boster, 2004). En el caso de los astronautas, la relevancia ante la aparición de estos trastornos puede derivar en problemas nutricionales en los cuales su ingesta alimentaria puede reducir o aumentar durante el viaje, generando cambios en su estado nutricional (Zwart, Mulavara, Williams, George, & Smith, 2021). Recordando que, los alimentos en la estación espacial y durante misiones está limitada y proporcionada (Smith, et al.,2014), por lo cual el exceso de alimentación puede poner en riesgo la ingesta de alimentos del resto de los miembros abordo.

A pesar de los factores principales mencionados y su efecto en diferentes sistemas del organismo, la alimentación y nutrición pueden jugar un rol crucial. Según Smith, et al. (2014), se menciona que:

Aunque la nutrición no será una panacea y de ninguna manera se recomienda como el fin de las enfermedades de los vuelos espaciales, la comida y la nutrición pueden mejorar u optimizar salud y mitigar la enfermedad, o pueden empeorar la salud y exacerbar la enfermedad, como lo hace en la Tierra (p.4).

Alteraciones fisiológicas

Como se menciona brevemente, los sistemas del organismo sufren alteraciones al entrar en contacto con la microgravedad y cambios atmosféricos en el espacio. En este apartado, se pretende detallar aquellas alteraciones fisiológicas que se relacionen con la salud del astronauta y los cambios observados en los principales sistemas.

Debido al efecto de la microgravedad en el sistema musculoesquelético, se presenta una atrofia muscular y pérdida ósea progresiva que genera incluso un aumento en el riesgo de aparición de osteoporosis en el astronauta. Una de las alteraciones que se relacionan con esto es

debido a la reducción en la síntesis proteica, específicamente las proteínas musculares (Saavedra, et al., 2019). Otra alteración, es el aumento de volumen de agua, que puede afectar el disco intervertebral ocasionando dolores lumbares debido a la presión ejercida en el hueso (Saavedra, et al., 2019). Estas alteraciones han resultado en un aumento en la incidencia de heridas o abrasiones en el cuerpo debido a la debilidad del sistema musculoesquelético (Stein, 2013). La siguiente imagen (tabla 1) muestra la frecuencia de heridas en diferentes viajes espaciales, resultando en un total de 219 heridas (Scheuring, Charles, Jones, & Wear, 2009).

Tabla 1.

Incidencia de heridas durante vuelos espaciales por cada programa espacial y total de horas de vuelos.

Program	Total flight hours	Incidence
Mercury	6	3.005
Gemini	1,940	0.049
Apollo	7,506	0.010
Skylab	12,352	0.002
Shuttle	1299,467	0.033
Apollo/Soyuz	652	0
NASA/MIR	22,693	0.004
ISS	56,581	0.008

Fuente: Musculoskeletal injuries and minor trauma in space: incidence and injury mechanisms in U.S. astronauts (p.122) por Scheuring, et al. (2009).

De acuerdo con Stein (2013), las principales razones de la pérdida muscular son “la remodelación reducida, en segundo lugar, el nivel de estado física previa al vuelo, y, en tercer lugar, la incapacidad de mantener el equilibrio energético durante el vuelo”. Por ello, el aporte

calórico adecuado e incluso, suplementación proteica, han sido considerado en estudios para evaluar su efectividad.

En cuanto al sistema cardiovascular, los numerosos eventos pueden generar cambios a corto y largo plazo, según sea el abordaje, estos pueden ser reversibles o irreversibles. A nivel celular y molecular, ocurre un aumento de procesos inflamatorios, muchas veces debido a la exposición de radiación constante. Los procesos inflamatorios pueden generar complicaciones y aumentar el envejecimiento celular, lo que conlleva a complicaciones de salud. La atrofia muscular del corazón, es decir, una disminución del tamaño y volumen del corazón puede prolongarse a medida que los viajes espaciales se vuelven mas largos. Las proteínas sanguíneas aumentan en concentración, lo que puede indicar mayor inflamación y estrés oxidativo (Saavedra, et al., 2019) (Saavedra, et al., 2019).

La preocupación por la salud cardiovascular de los astronautas ha llevado a la NASA a tomar mayor participación en estudios, a través de su Laboratorio Cardiovascular y de Visión. La toma de muestras sanguíneas y muestra urinarias de la tripulación, en colaboración con el Laboratorio de Nutrición Bioquímica, es uno de los métodos en los estudios para identificar la presencia de biomarcadores de inflamación y su relación con riesgos cardiovasculares (Dunn, 2016). Esto con el fin de generar estrategias que disminuyan los estados proinflamatorios.

Otro sistema afectado es el sistema inmunitario, como antes se ha mencionado. Los cambios que pueden ocurrir a nivel inmunitario pueden generar alteraciones gastrointestinales y aparición de enfermedades virales a causa de la varicela zoster o el virus de Epstein Barr, por ejemplo (Saavedra, et al., 2019). Los glóbulos blancos (serie blanca) ayudan a combatir las infecciones y forman parte del sistema inmunitario. Se ha identificó un aumento de la serie blanca en la población astronauta, cambios en la maduración de células T y alteraciones en las

concentraciones de interleucinas, en un estudio realizado en 23 astronautas a bordo de la EES, lo que puede indicar que el sistema inmune se encuentra desregulado y propenso a sufrir infecciones (Crucian, et al., 2015).

Con relación a las alteraciones del sistema inmunitario y presencia de mayor número de infecciones y enfermedades, algunos expertos coinciden en que una posible causa de esto sea por otras alteraciones que ocurren en el microbioma (Saavedra, et al., 2019). Un estudio realizado con simulación de microgravedad demostró como la microflora intestinal puede responder y ocasionar cambios generando un estado proinflamatorio en el intestino, lo cual aumenta la susceptibilidad de enfermedades gastrointestinales inflamatorias (Li, et al., 2015).

En otro estudio realizado con simulación espacial en un ambiente de confinamiento durante 520 días, llamado MARS500, uno de los proyectos simulados mas largos realizados, se estudiaron los cambios en la función y composición de la microbiota intestinal. A pesar de ser un estudio realizado bajo confinamiento sin exposición al ambiente externo que lo rodea, los 6 miembros del proyecto tomaban muestras fecales para su análisis, donde se destaca la capacidad dinámica de la microbiota intestinal en cambios en su composición (figura 1), pudiendo afectar la homeostasis metabólica e inmunológica de la persona (Turróni, et al., 2017).

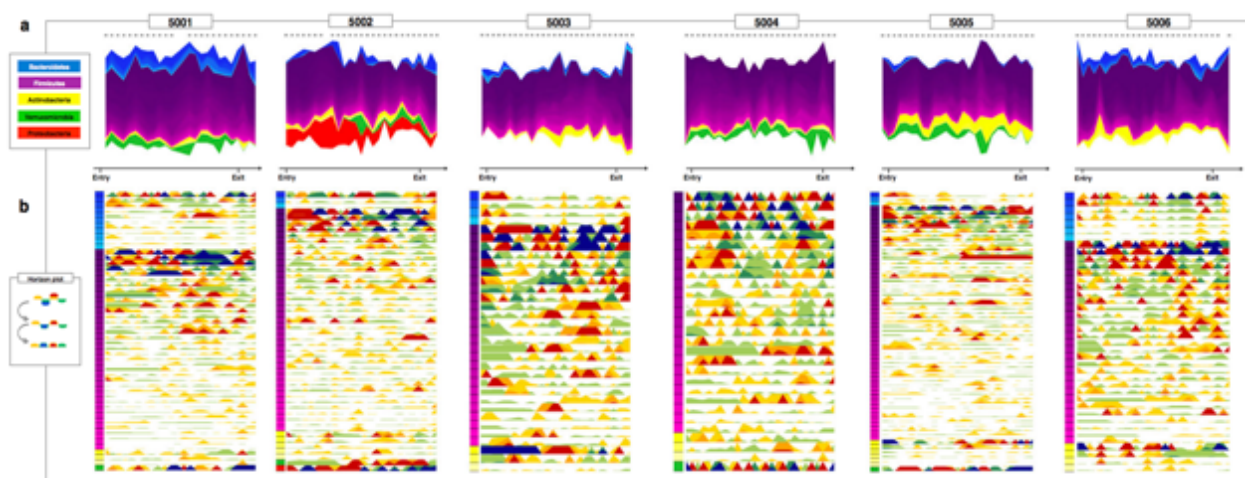


Figura 1 *Dinámicas de microbiota intestinal de los seis voluntarios (5001-5006) en el proyecto de simulación espacial, MARS500.* a Muestra los flujos de OTU (secuencia taxonómica según similitud al gen ARNr 16S) a través del tiempo. b Gráficos que muestran la variación de abundancia relativa OTU a través del tiempo.

Fuente: Temporal dynamics of the gut microbiota in people sharing a confined environment, a 520-day ground-based space simulation, MARS500 (p.3) por Turróni, et al. (2017).

B. Estado Nutricional del Astronauta

Requerimientos energéticos y nutricionales

El primer registro de los requerimientos energéticos y nutricionales para astronautas empezó a inicios de la década de los noventa, a cargo de los programas conjuntos entre “U.S-Russian Shuttle-Mir y NASA-Mir” (Smith, et al. 2014). En la siguiente tabla se resumen estos requerimientos y su evolución hasta los mas recientes documentados del 2020, con algunos cambios (tabla 2). Cabe destacar que estos requerimientos provienen de una base de los requerimientos nutricionales ya conocidos en población terrestre, pero esta vez enfocado en población astronauta de la EES o próximas misiones para la Luna o Marte.

Tabla 2.

Requerimientos nutricionales para astronautas de la EES y misiones de exploraciones.

Nutrient	ISS Requirements (1996)	Exploration Requirements (2005)	Exploration Requirements (2020)
Energy	Based on World Health Organization equations (40)	Based on Dietary Reference Intake (DRI) equations (41)	Based on DRI equations (41)
Protein	12% – 15% of total daily energy intake, and the ratio of animal:vegetable protein no higher than 60:40	0.8 g/kg body weight, < 35% of total daily energy intake, and the ratio of animal:vegetable protein is about (2/3):(1/3)	1.2 – 1.8 g/kg body weight, and the ratio of animal:vegetable protein no higher than 60:40
Carbohydrate	50% – 55% of the total daily energy intake < 10% of energy from added sugars	50% – 55% of the total daily energy intake	45% – 65% of the total daily energy intake <10% of energy from added sugars
Fat	30%– 35% of the total daily energy intake	25% – 35% of the total daily energy intake	20% – 35% of the total daily energy intake
Omega-6 Fatty Acids	N/A	14 g	Women: 12 g Men: 17g
Omega-3 Fatty Acids	N/A	1.1 – 1.6 g	Women: 1.1 g Men: 1.6g
Saturated Fat	Polyunsaturated: mono-unsaturated: saturated = 1:1.5 – 2:1	as low as possible	ALARA, <10% of total calories
Trans Fatty Acids	N/A	as low as possible	ALARA, < 1% of total calories
Cholesterol	N/A	as low as possible	< 300 mg
Fiber	N/A	10 – 14 g/1000 kcal	Women: 25 g Men: 38 g
Fluid	1 – 1.5 ml/kcal	1 – 1.5 ml/kcal	32 mL/kg body weight
	>2000 ml	> 2000 ml	Women: > 2100 ml Men: > 2500 ml
Vitamin A	1000 µg RE	700 – 900 µg RE	Women: 700 µg RE Men: 900 µg RE
Vitamin D	10 µg	25 µg	1000 IU (25 µg)
Vitamin K	80 µg	Women: 90 µg Men: 120 µg	Women: 90 µg Men: 120 µg

Saturated Fat	Polyunsaturated: mono-unsaturated: saturated = 1:1.5 – 2:1	as low as possible	ALARA, <10% of total calories
Trans Fatty Acids	N/A	as low as possible	ALARA, < 1% of total calories
Cholesterol	N/A	as low as possible	< 300 mg
Fiber	N/A	10 – 14 g/1000 kcal	Women: 25 g Men: 38 g
Fluid	1 – 1.5 ml/kcal	1 – 1.5 ml/kcal	32 mL/kg body weight
	>2000 ml	> 2000 ml	Women: > 2100 ml Men: > 2500 ml
Vitamin A	1000 µg RE	700 – 900 µg RE	Women: 700 µg RE Men: 900 µg RE
Vitamin D	10 µg	25 µg	1000 IU (25 µg)
Vitamin K	80 µg	Women: 90 µg Men: 120 µg	Women: 90 µg Men: 120 µg
Vitamin E	20 mg Tocopherol Equivalents	15 mg Tocopherol Equivalents	15 mg Tocopherol Equivalents
Vitamin C	100 mg	90 mg	Women: 110 mg Men: 125 mg
Vitamin B ₁₂	2.0 µg	2.4 µg	2.4 µg
Vitamin B ₆	2.0 mg	1.7 mg	1.3 mg
Thiamin	1.5 mg	Women: 1.1 mg Men: 1.2 mg	Women: 1.1 mg Men: 1.2 mg
Riboflavin	2.0 mg	1.3 mg	Women: 1.1 mg Men: 1.3 mg
Folate	400 µg	400 µg	400 µg
Niacin	20 mg NE	16 mg NE	Women: 14 mg NE Men: 16 mg NE
Biotin	100 µg	30 µg	30 µg
Pantothenic Acid	5 mg	30 mg	5 mg
Manganese	2 – 5 mg	Women: 1.8 mg Men: 2.3 mg	Women: 1.8 mg Men: 2.3 mg
Fluoride	4.0 mg	Women: 3 mg Men: 4 mg	Women: 3 mg Men: 4 mg
Zinc	15 mg	11 mg	Women: 8 mg Men: 11 mg
Selenium	70 µg	55 – 400 µg	55 µg
Iodine	150 µg	150 µg	150 µg
Chromium	100 – 200 µg	35 µg	Women: 25 µg Men: 35 µg
Chloride	N/A	N/A	2300 mg
Molybdenum	N/A	N/A	45 µg

Fuente: Human Adaptation to Spaceflight: The Role of Food and Nutrition (p.8) por Smith et al. (2014).

El objetivo de establecer estos requerimientos es el de suplir las necesidades calóricas de los astronautas, evitando las deficiencias nutricionales, especialmente cuando se toma en cuenta que las misiones duran un tiempo mas prolongado. Por ello, la *Junta de Alimentos* y

Nutrición (FNB) de las *Academias Unidas de Ciencias, Ingeniería y Medicina* decide establecer estos requerimientos, no con el fin de ser una herramienta mágica para evitar enfermedades crónicas, pero sí a mantener el estado nutricional sano, el cual si puede relacionarse con la disminución del riesgo de padecer estas enfermedades (Smith, et al., 2014).

La energía recomendada en la tabla 2, toma en cuenta las recomendaciones dietéticas de referencia del Instituto de Medicina o el DRI, las cuales se resumen en la tabla 3, para adultos de 30 años, según el sexo, altura y actividad física (PAL) (Trumbo, Schlicker, Yates, & Poos, 2002). Las guías de referencias son extensas, por lo que solo se ilustra el ejemplo para este grupo de edad en cuanto a su requerimiento energético.

Tabla 3.

Requerimientos estimados de energía para hombres y mujeres de 30 años.

Estimated Energy Requirements (EER) for Men and Women 30 Years of Age^a

Height (m [in])	PAL ^b	Weight for BMI of 18.5 kg/m ² (kg [lb])	Weight for BMI of 24.99 kg/m ² (kg [lb])	EER, Men ^c (kcal/day)		EER, Women ^c (kcal/day)	
				BMI of 18.5 kg/m ²	BMI of 24.99 kg/m ²	BMI of 18.5 kg/m ²	BMI of 24.99 kg/m ²
1.50 (59)	Sedentary	41.6 (92)	56.2 (124)	1,848	2,080	1,625	1,762
	Low active			2,009	2,267	1,803	1,956
	Active			2,215	2,506	2,025	2,198
	Very active			2,554	2,898	2,291	2,489
1.65 (65)	Sedentary	50.4 (111)	68.0 (150)	2,068	2,349	1,816	1,982
	Low active			2,254	2,566	2,016	2,202
	Active			2,490	2,842	2,267	2,477
	Very active			2,880	3,296	2,567	2,807
1.80 (71)	Sedentary	59.9 (132)	81.0 (178)	2,301	2,635	2,015	2,211
	Low active			2,513	2,884	2,239	2,459
	Active			2,782	3,200	2,519	2,769
	Very active			3,225	3,720	2,855	3,141

^aFor each year below 30, add 7 kcal/day for women and 10 kcal/day for men. For each year above 30, subtract 7 kcal/day for women and 10 kcal/day for men.

^bPAL=Physical activity level.

^cDerived from the following regression equations based on doubly labeled water data:

Adult man: $EER = 661.8 - 9.53 \times \text{Age (y)} \times PA \times (15.91 \times \text{Wt [kg]} + 539.6 \times \text{Ht [m]})$

Adult woman: $EER = 354.1 - 6.91 \times \text{Age (y)} \times PA \times (9.36 \times \text{Wt [kg]} + 726 \times \text{Ht [m]})$

Where PA refers to coefficient for Physical Activity Levels (PAL).

PAL=total energy expenditure+basal energy expenditure.

PA=1.0 if PAL \geq 1.0<1.4 (sedentary).

PA=1.12 if PAL \geq 1.4<1.6 (low active).

PA=1.27 if PAL \geq 1.6<1.9 (active).

PA=1.45 if PAL \geq 1.9<2.5 (very active).

SOURCE: Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (2002). This report may be accessed via www.nap.edu.

Copyright 2002 by the National Academy of Sciences. All rights reserved.

Fuente: Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids (p.1629) por Trumbo, et al. (2002) y National Academy of Sciences.

Alteraciones del aporte energético

Según Smith et. al (2014), los astronautas disminuyen su ingesta dietética mientras están en los viajes, el cual puede ser hasta un 30% de aporte energético menor al que se suele consumir en la Tierra. A través de diferentes misiones, se han registrado cambios en la ingesta calórica, variando sus porcentajes de consumo total de energía (figura 2).

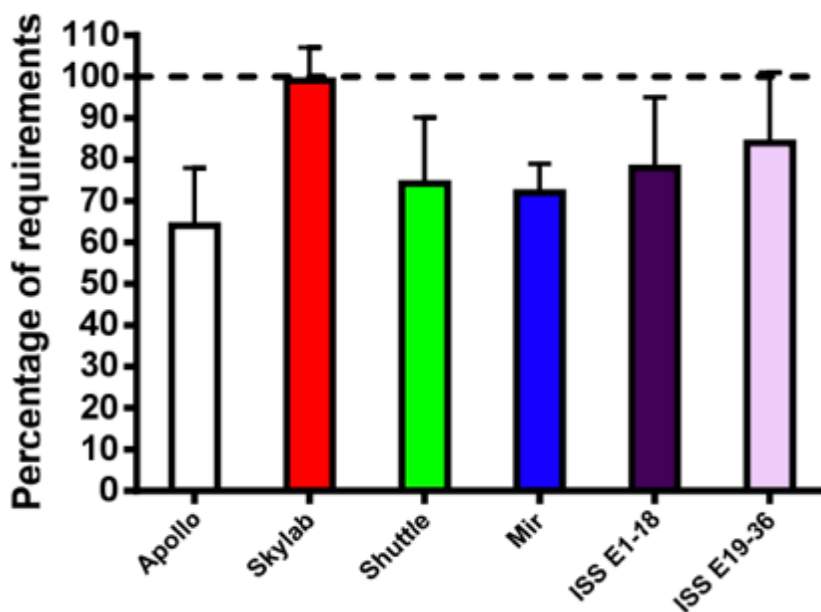


Figura 2 *Ingesta dietética de miembros de las misiones de Apollo, Skylab, Shuttle, Mir, ISS E1-18, ISS E19-36. (Apollo N=33, Skylab N=9, Shuttle N=31, Mir N=7, ISS E1-18 N=26, E19-36 N=31)*

Fuente: Evidence Report: Risk Factor of Inadequate Nutrition (p.14) por Smith, Zwart, Heer (2015).

Algunas razones por las que esta disminución puede ocurrir son, por ejemplo, que ocurra un cambio en la percepción de los alimentos, es decir una variación en los estímulos de sabor y olor, lo que afecta el apetito e ingesta de alimentos. Algunos astronautas relatan que los

alimentos cambian de sabor y olor durante los primeros días de sus viajes. Una posible explicación puede ser a causa de la microgravedad, como se menciona antes, y su cambio en los fluidos corporales y congestión que pueden presentar (Smith, Zwart, & Heer, 2015).

Otra razón destacada son los problemas gastrointestinales, ya que el cambio de los fluidos corporales durante los viajes puede afectar la motilidad gastrointestinal, generando inconformidades. De igual forma, al ser un viaje mucho movimiento a través del espacio, los astronautas pueden experimentar mareos o cinetosis (Smith, Zwart, & Heer, 2015).

Entre otras razones que pueden influir en la disminución de ingesta calórica, como las previamente mencionadas, están los efectos de algunos contaminantes atmosféricos, el confinamiento y factores psicológicos que pueden influir como el estrés, ansiedad, depresión, entre otros.

Alteraciones nutricionales y metabólicas

La ingesta inadecuada de alimentos, junto con la pérdida de masa corporal, son dos grandes problemas que pueden ocurrir durante un viaje espacial. Por ello, las alteraciones nutricionales que pueden presentarse han sido analizadas y estudiadas a través de los años para encontrar mejores estrategias de corrección.

Durante las misiones espaciales, cada uno de los nutrientes puede sufrir alteraciones y fluctuaciones, los cuales dependen de cada individuo y la duración del viaje. En el reporte de factores de riesgos nutricionales elaborado por Smith, et al. (2015), se evidencian los cambios observados a través de diferentes estudios y “gaps” (brechas) de conocimientos sobre las soluciones a dicho problema. En la tabla 1 y 2 se resumen por tipo de macro y micronutriente, los cambios observados, riesgos y brechas por resolver.

Tabla 4.

Alteraciones en macronutrientes en población astronauta, sus riesgos y brechas de conocimiento.

Macronutrientes	Cambios y Evidencias	Riesgos	Brechas
Proteína	Misiones largas europeas: ingesta recomendada de proteína. Misiones cortas: la ingesta de proteína no es óptima. Albumina sérica suele disminuir. Balance de K/N negativo (Skylab). Balance de Nitrógeno negativo (Shuttle).	Riesgos por deficiencia y exceso de masa muscular y debilidad Exceso: hipercalciuria y riesgo de cálculos en el riñón.	Mejorar suplementos de aminoácidos para reducir la pérdida muscular. Diferencias entre proteína animal y vegetal y sus beneficios en misiones.
Carbohidratos	Aumento de niveles de insulina y glucosa en plasma (Apolo y Skylab) Disminución en glucosa en ayuna después de 66-88 días (Salyut-Soyuz) Resistencia insulínica (simulaciones de microgravedad)	Ingesta inadecuada de carbohidratos puede alterar la productividad durante las misiones. Cetosis en casos de deficiencias de carbohidratos.	Se necesitan mas estudios del metabolismo de carbohidratos en el espacio, ya que un cambio mínimo puede tener consecuencias críticas.
Grasas	En viajes prolongados, los valores de LDL tienden a aumentar en aquellos que pierden peso durante la misión. En estudios con modelos animales, el omega-3 demuestra beneficios en disminuir el cáncer por radiación. El omega-3 puede proteger contra la atrofia muscular y salud ósea (en estudios terrestres).	Deficiencias: problemas de salud graves Excesos: altos niveles de colesterol y relación con enfermedades cardiovasculares	Evidencia de aceite de pescado como protector en la preservación muscular, ósea y contra radiación. Se necesita mas investigación en esta área en estudios control en viajes espaciales.
Fibra	Existe un transito intestinal mas lento en el espacio, por lo que el rol de la fibra es necesario para evitar	Estreñimiento cuando los niveles no son óptimos o no se acompaña de adecuada ingesta de líquidos.	Existe relación entre fibra dietéticas y ácidos grasos que reducen el cáncer

estreñimiento y otras alteraciones gastrointestinales. inducido por radiación.

Fuente: Información recolectada de *Evidence Report: Risk Factor of Inadequate Nutrition* (p.22-32) por Smith, et. al. (2015) (<https://ntrs.nasa.gov/citations/20150000512>)

Tabla 5.

Alteraciones en los principales micronutrientes en población astronauta, sus riesgos y brechas de conocimiento.

Micronutrientes	Cambios y Evidencias	Riesgos	Brechas
Sodio y cloro	Consumo entre 7-10 g/d de sodio a pesar de que se mantiene estable en sangre (ISS) Hipercalciuria en sujetos de estudios con una dieta alta en sodio (190mmol/d) Alto consumo de cloruro de sodio puede llevar a pérdida ósea (estudios en humanos y animales)	Existe riesgo de que el consumo elevado de sodio afecta el hueso Mayor riesgo de tener cálculos renales Exceso: hipernatremia, hipertensión Deficiencia: hiponatremia, hipotensión	Mayor investigación del impacto que tiene el sodio dietético en hueso, calcio y pH.
Potasio	Niveles de potasio disminuidos, en orina y sangre (Apolo/Skylab/Shuttle).	Depleción de potasio en individuos que pierden masa no grasa, lo cual puede asociarse con problemas cardíacos.	Mayor investigación en el rol del potasio y su relación con la salud cardiovascular en viajes espaciales
Vitamina D	Deficiencia de 25-hidroxivitamina D post viaje a pesar del uso de suplementos de vitamina D (EES). En viajes de hasta 6 meses la reducción en concentraciones de vitamina D fue de hasta 30% (EES). Reservas de vitamina D disminuyen por la ausencia de exposición a rayos UV. (Skylab)	Consumo de hasta 800 IU de vitamina D/d es necesario durante misiones muy prolongadas ya que la comida disponible en los viajes con fuente de vitamina D es limitada. Astronautas son población en riesgo de padecer deficiencia por la protección solar de la EES.	Mayores estudios en la estabilidad de la vitaminada D en productos alimenticios. Se necesitan mas estudios para analizar la relación entre el sistema inmunitario y la vitamina D.

Vitamina K	<p>Vitamina K₁ disminuida hasta un 42 % post viaje (EES)</p> <p>Después de 12.5 semanas durante el viaje, los marcadores de vitamina K se encontraron disminuidos (EuroMir95)</p> <p>La suplementación ha sido eficaz para disminuir el riesgo de deficiencia.</p>	<p>Deficiencia: puede ocasionar problemas en la salud ósea.</p> <p>Riesgo de fracturas en poblaciones con niveles bajos de la osteocalcina (un biomarcador)</p>	<p>Existe una hipótesis de que al estar alterada la microbiota intestinal, la producción de vitamina K en ella puede estar también alterada. Se necesitan más estudios.</p>
Vitamina C	<p>Existen estudios de reposo en cama que sugieren un aumento en valores de vitamina C.</p> <p>La vitamina C es inestable en muchos productos/alimentos ya que puede ser propenso a cambio por calor, luz, almacenamiento.</p>	<p>Preocupación de la degradación de vitamina C durante vuelos prolongados.</p> <p>La vitamina C, al ser un antioxidante, puede proteger contra el daño celular durante los vuelos, sin embargo, existe mayor radiación en el ambiente que puede afectar su concentración en alimentos.</p>	<p>Determinar la preservación del contenido de vitamina C en productos alimenticios de astronautas y su estabilidad durante viajes.</p>
Hierro	<p>Aumentan las concentraciones de ferritina sérica.</p> <p>Disminución en el número de células rojas y síntesis de eritropoyetina.</p> <p>La normalización de valores de células rojas tras el regreso a la tierra puede durar semanas.</p>	<p>Mayor nivel de ferritina sérica o hierro de reserva puede relacionarse con pérdida ósea y problemas oculares como riesgo de cataratas.</p> <p>Existe relación entre el hierro, grasas y ciertos tipos de cáncer.</p> <p>Alteraciones en el metabolismo del hierro en viajes puede afectar severamente la salud de los astronautas.</p>	<p>Relación entre el exceso de reserva de hierro y su función oxidativa</p> <p>El aumento de niveles de hierro puede aumentar el riesgo de infecciones, además del riesgo de la microgravedad de ocasionar efectos similares en cuanto al sistema inmunológico.</p>
Calcio	<p>Incrementa la excreción urinaria de calcio.</p> <p>Pérdida de densidad mineral ósea es entre 0.5 a 1 % / mes.</p> <p>Pérdida ósea es irregular en el esqueleto humano durante los viajes, siendo más significativa en huesos de mayor soporte (Skylab 3)</p>	<p>Cambios en el metabolismo óseo y regulación endocrina genera la pérdida ósea observada.</p>	<p>La dieta balanceada es un factor importante para contrarrestar los efectos negativos hacia el sistema musculoesquelético.</p> <p>Se necesitan más estrategias dietéticas que permitan menús con un balance de</p>

La resorción ósea, hidroxipolina urinaria y colágeno urinario aumentan. La formación ósea puede disminuir durante misiones (Mir)

precursores ácido-base, ya que estos pueden ser predictores de la pérdida ósea.

Fuente: Información recolectada de *Evidence Report: Risk Factor of Inadequate Nutrition* (p.36-45; 50 – 56; 59 - 60; 67 - 69; 86 - 90; 76 - 80) por Smith, et. al. (2015) (<https://ntrs.nasa.gov/citations/20150000512>)

El daño oxidativo también está presente en la población astronauta, afectando a los tejidos y diferentes órganos. A nivel celular, se puede definir que el daño oxidativo se da por la ausencia de antioxidantes que puedan contrarrestar la producción de radicales libres, es un proceso bioquímico que siempre tiene lugar en el organismo (Graña, Peña, Gómez, Santisteban, & Hernández, 2015). Cuando hay un exceso de radicales libres en el cuerpo, enfermedades pueden surgir a causa del daño celular que estas pueden provocar. En el caso de los viajes espaciales, los astronautas pueden presentar daño oxidativo a nivel del ADN o expresión genética, en tejido oftálmico, proteínas y grasas. La presencia de tanto daño oxidativo en esta población puede explicar alteraciones fisiológicas como los sistemas de defensa del cuerpo o mecanismos de reparación (Smith, et al., 2015).

La presencia de microgravedad y radiación puede aumentar el daño oxidativo (Smith, et al., 2015), es por esto que la importancia de la ingesta de alimentos fuentes de antioxidantes como el selenio, la vitamina E y la Vitamina C, son crucial durante estos viajes, ya que una deficiencia de estos micronutrientes puede aumentar el riesgo de enfermedades.

CAPITULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

El enfoque de esta investigación contiene un enfoque cualitativo, ya que se omiten mediciones numéricas y un análisis estadístico que conlleve a una interpretación de resultados con valores numéricos. El enfoque cualitativo se basa en un análisis de contenido, la relación entre diferentes factores, en donde el resultado se da de manera interpretativa, sin uso de mediciones, ya que la base del estudio en este caso serán otras investigaciones realizadas en el pasado con la población seleccionada (González, 2019).

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación posee los siguientes criterios metodológicos: es de carácter correlacional o analítico, ya que se centra en analizar dos variables y su relación; posee una finalidad teórica, al abarcar solamente estudios existentes y sus interpretaciones; es de un marco de magnitud mega, ya que este abarca diferentes países del mundo.

3.3 UNIDADES DE ANÁLISIS U OBJETOS DE ESTUDIO

En el siguiente apartado se describen las características de la población en estudio, las fuentes de información y los criterios de inclusión y exclusión.

Las fuentes de información se dividen en primarias y secundarias a continuación:

- **Fuentes primarias:** artículos científicos, ensayos clínicos, casos controles.
- **Fuentes secundarias:** artículos de revistas de investigación, sitios web, videos, libros, podcasts (principalmente en antecedentes y marco teórico).

3.3.1 Población

La población se conforma de los 17 artículos científicos y estudios totales en población astronauta.

3.3.2 Muestra

La muestra es de tipo no probabilística ya que se basa en un estudio de tipo cualitativo y analítico, donde se incluyen aquellos estudios que cumplan con los criterios de inclusión y exclusión.

3.3.3 Criterios de inclusión y exclusión

En la siguiente tabla se detallan los criterios de inclusión y criterios de exclusión establecidos para la revisión sistemática (tabla 6). Los siguientes criterios facilitan el proceso de selección final de artículos que tengan mayor relevancia al tema en estudio.

Tabla 6.

Criterios de Inclusión y Exclusión

CRITERIOS DE INCLUSIÓN	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
Estudios en población astronauta (humanos)	Estudios en animales
Artículos científicos, ensayos clínicos, casos controles	Revisión Sistemática / Metaanálisis
Estudios de alteraciones metabólicas/ nutricionales durante viajes espaciales o simulaciones	Alteraciones metabólicas/ nutricionales preexistentes
Cambios en el estado nutricional	Cambios en el estado nutricional por comorbilidad preexistente

Complicaciones a la salud

Pérdida de peso en el espacio por
comorbilidad preexistente

Pérdida de peso en el espacio

Pérdida de apetito

Alteraciones del gusto y olfato

Anemia y anorexia espacial

Publicaciones de estudios desde el 2011

hasta diciembre 2022

Fuente: elaboración propia, 2022.

3.4 INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La siguiente investigación posee diferentes instrumentos para recolectar la información relacionada al tema principal. Al ser esta una revisión sistemática, se utilizan herramientas de búsqueda de estudios e investigaciones en línea. Los principales buscadores en línea utilizados son los siguientes: PubMed, Research Gate, Google Scholar, Science Direct, Frontiers. Sin embargo, se utilizaron los siguientes buscadores y sitios web como complemento: Proquest, Academia, Aerospace Research Center, Physics Today, Oxford Academic.

Se utiliza la plataforma Excel para la elaboración de una base de datos en dos hojas, con apartados de la información de cada estudio. En la primera hoja las columnas se subdividen de la siguiente manera: número de artículo, año de publicación, buscador utilizado, título y enlace. En la siguiente hoja se encuentran los artículos mas relevantes al tema seleccionados, los cuales se subdividen en: número de artículo, año de publicación, buscador utilizado, título, objetivos

del estudio, tipo de estudio, muestra y metodología, breve resumen de los resultados, elegibilidad y razones.

3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es de tipo no experimental, ya que no existe ninguna manipulación o intromisión por parte del investigador. Este es de tipo transversal, ya que es un estudio que se realizará en un período de tiempo específico, desde enero hasta julio 2022.

3.6 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

En el siguiente apartado se detallan las condiciones para cada objetivo específico de la investigación actual.

Tabla 7.

Operacionalización de las variables

Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Instrumento
Describir las características de la población astronauta y los viajes espaciales a través de la historia.	Astronauta	“Persona que tripula una astronave o que está entrenada para este trabajo (RAE).”	Información en libros y páginas electrónicas	Características Historia	Características demográficas	Base de datos en Excel para la recopilación de fuentes y datos de los estudios.
Identificar las alteraciones metabólicas y nutricionales en astronautas durante viajes espaciales y/o simulaciones.	Alteraciones metabólicas y nutricionales	“Cambios químicos que se presentan en una célula u organismo. (NIH).”	Estudios recopilados	Cambios fisiológicos	Metabolismo Macronutrientes Micronutrientes Daño oxidativo Deficiencias	Base de datos en Excel para la recopilación de fuentes y datos de los estudios.
Analizar los cambios en el	Estado nutricional	“Estado de salud de una	Estudios recopilados		Alimentación Peso corporal	

estado
nutricional de
los astronautas
durante viajes
espaciales y/o
simulaciones.

persona en
relación con los
nutrientes de su
régimen de
alimentación
(NIH)''

Factores
ambientales y
atmosféricos

IMC
Valores bioquímicos

Base de datos en Excel para la
recopilación de fuentes y
datos de los estudios.

Fuente: elaboración propia, 2022.

3.8 PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la realización de dicha revisión sistemática, se debe partir de una búsqueda y revisión bibliográfica exhaustiva de estudios relacionados al tema principal. En este caso, se incluye una revisión bibliográfica de artículos científicos, ensayos clínicos, casos controles, y más, los cuales se obtienen de diferentes idiomas, predominando fuentes en inglés, y español en segundo lugar. Esta información recolectada de manera ordenada se detalla en la sección de antecedentes y marco teórico, donde se logra ampliar la relación entre la problemática en estudio y el respaldo teórico existente.

La recolección y elección de estudios para ser incluidos en esta revisión sistemática se realizaron en tres fases. La primera fase constituye la elección de los principales buscadores para búsqueda de estudios y la elección de palabras claves que se utilizaran en cada uno de estos con el objetivo de facilitar la recolección de datos. De la misma forma, se hace uso de los operadores booleanos como “and”, “or” y “not” como búsqueda avanzada en los casos que se requiera, principalmente en los campos de título y resumen. Las palabras claves utilizadas en inglés fueron las siguientes:

- “space” → espacio (ES)
- “nutrition” → nutrición (ES)
- “astronaut” → astronauta (ES)
- “nutritional countermeasures” → contramedidas nutricionales (ES)
- “nutrient” → nutriente (ES)
- “microgravity” → microgravedad (ES)
- “nutritional” → nutricional (ES)

- “metabolism” → metabolismo (ES)
- “diet” → dieta (ES)
- “spaceflight” → viaje espacial

En la siguiente fase se procede a identificar como primer filtro, aquellos estudios que contienen relevancia con el tema en estudio y cumplen con criterios de inclusión. Por lo que se procede a incluir los datos de estos estudios en la base de datos de Excel, llenando los apartados principales (número de artículo, título, año, enlace) para cada uno de estos.

Como tercera fase se procede a realizar un segundo filtro, de revisión bibliográfica más completa, donde se descartan aquellos estudios de menor relevancia al tema de estudio. De la misma forma se procede a completar la base de datos en Excel llenando todos los apartados de los estudios y determinando su elegibilidad.

Durante esta última etapa de recolección de datos, para cada estudio de relevancia se procede a utilizar el método de PRISMA (figura 8) según la Guía del 2009, con el fin de determinar, ordenadamente, la elegibilidad de cada estudio para su inclusión final.

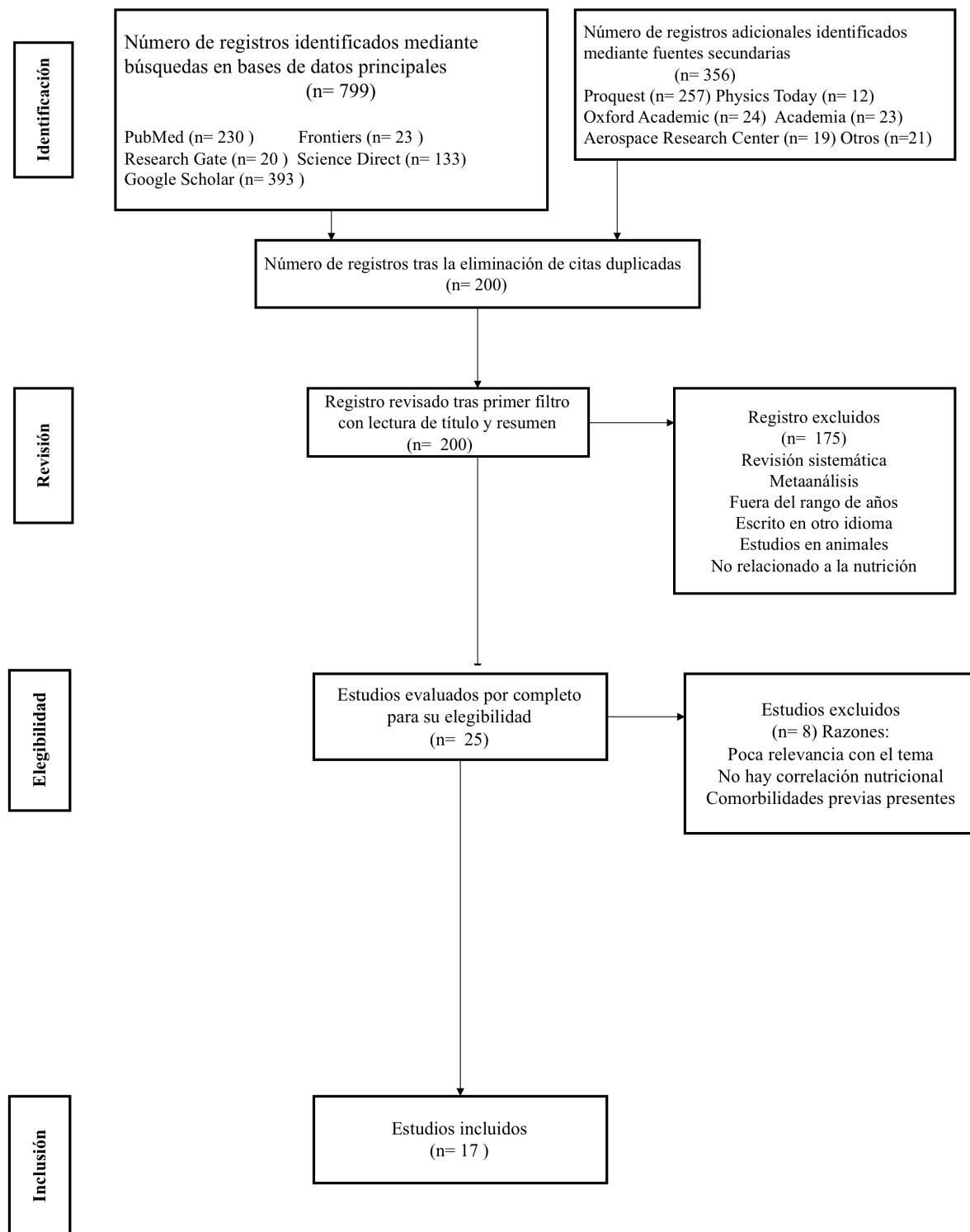


Figura 3 *Flujograma de metodología PRISMA sobre búsqueda y selección bibliográfica.*
Fuente: elaboración propia, 2022.

3.9 ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS

Los datos se detallarán en una base de datos en la plataforma de Excel que esta conformada por dos hojas, la primera con los 200 registros de estudios tras la eliminación de registros duplicados, en donde se detalla el número de artículo, buscador, título, año y enlace. En la segunda hoja se procede a incluir aquellos estudios que cumplan con todos los criterios de inclusión y exclusión tras la lectura de cada uno de estos, donde se elige finalmente los estudios totales.

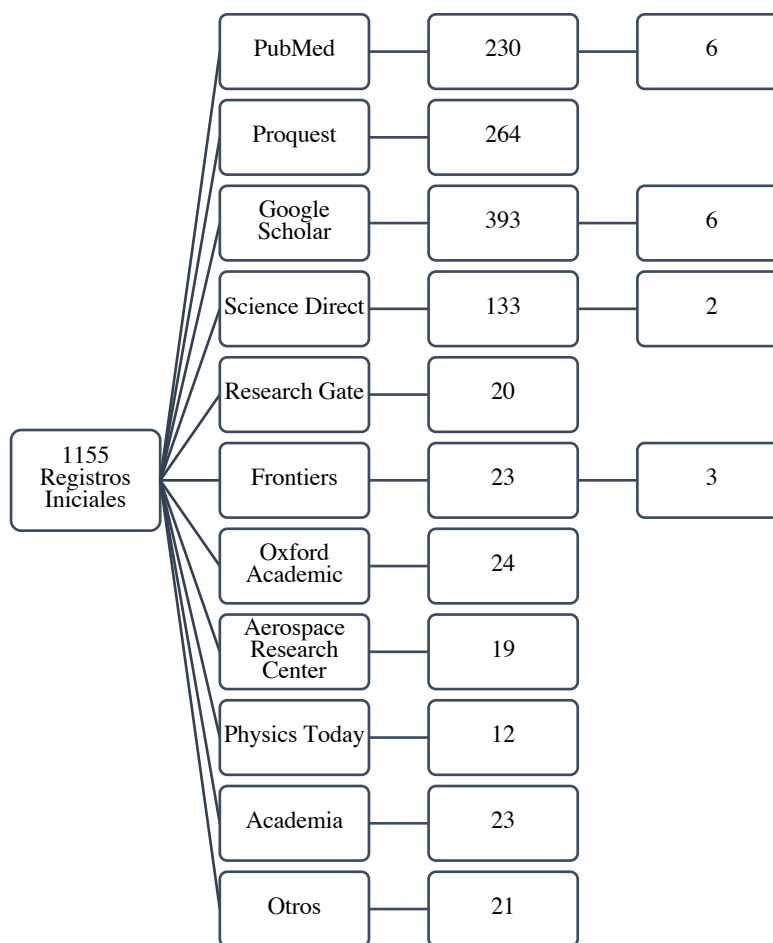


Figura 4 *Total de estudios registrados según buscador y número de estudios elegidos tras revisión final.*

Fuente: elaboración propia, 2022.

3.10 ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de los artículos se basa en la lectura comprensiva de cada estudio incluido. Posterior a su lectura se procede a destacar los detalles principales de los estudios, como la metodología de cada uno, muestra y sus resultados obtenidos. Se procede a comparar cada estudio con el tema y objetivos en estudio de la presente revisión sistemática para dar lugar a respuestas a la problemática. Para una mejor comprensión de los datos de cada estudio, se realizan tablas que sintetizan la información principal de cada uno de estos en el capítulo IV.

CAPÍTULO IV
PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el siguiente apartado se muestra la información de los estudios incluidos en la investigación, donde se mencionan los objetivos de cada estudio y sus resultados principales. Cada uno de los estudios se clasifica según su relevancia a los objetivos específicos planteado y a la vez su relación con las variables de la investigación. Se incluyen en las tablas 8 - 15 información de un total de 17 estudios, tanto en viajes espaciales como en simulaciones de viajes espaciales, tras la lectura exhaustiva para determinar la elegibilidad de estos.

4.1.1 Generalidades sobre estudios de la investigación

Los estudios seleccionados proveen resultados contundentes sobre los efectos y cambios a nivel metabólico y nutricional que afectan a los astronautas en los últimos años. Los artículos de investigación incluyen información de misiones espaciales realizadas por diferentes agencias durante el actual siglo, donde se determinan cambios que afectan los diversos sistemas del cuerpo. En cada uno de estos existe una variedad de población, tanto en número como sexo, edad, altura, peso corporal y nacionalidad. La totalidad de la muestra es de 222 sujetos en los 17 estudios seleccionados, de los cuales 128 sujetos participaron en estudios durante viajes espaciales y 94 sujetos fueron voluntarios en estudios de simulaciones en bases terrestres. Las circunstancias atmosféricas a las que son sometidos son muy similares en cada estudio, por lo que se destacan resultados que pueden relacionarse tanto en un viaje espacial como en un estudio de simulación para viajes espaciales. Los resultados comparativos se resumen en la tabla 16 donde se logra visualizar la similitud en las alteraciones metabólicas, nutricionales y los efectos en el estado nutricional de los sujetos en estudio. Esto es de gran importancia, ya que, abre oportunidades de ampliar los estudios en bases terrestres para crear soluciones a las posibles

alteraciones y riesgos que los astronautas pueden experimentar durante sus misiones de larga duración.

4.1.2 Estudios incluidos en investigación

Las siguientes tablas presentan los estudios finales seleccionados que dan respuesta a los objetivos de la investigación, donde se categoriza por: título de cada estudio, sus principales resultados en referencia al objetivo correspondiente, la bibliografía y año de publicación de cada uno de estos. En las tablas 8 y 9 se pueden ver los resultados sobre el primer objetivo específico sobre la descripción de las características de la población astronauta y los viajes espaciales. En las tablas 10 y 11 se pueden ver los resultados del segundo objetivo específico sobre las alteraciones metabólicas y nutricionales en astronautas. En las tablas 12 y 13 se pueden ver los resultados del tercer objetivo específico sobre los cambios en el estado nutricional de los astronautas durante los viajes espaciales. Por último, en las tablas 14 y 15 se pueden ver los resultados del cuarto objetivo específico sobre la relación de los efectos de las alteraciones metabólicas y nutricionales con el estado nutricional del astronauta. De igual manera, se incluye una tabla resumen (tabla 16), donde se realiza una comparación entre los estudios en población astronauta durante viajes espaciales y estudios de simulaciones de viajes espaciales en voluntarios sanos.

En la siguiente tabla se enumeran todos los artículos de investigación incluidos, realizados en base a información de astronautas en viajes espaciales, donde se incluyen: el año de publicación, el título de la investigación, el número de muestra con la que se trabajó y las características de la población mencionadas (tabla 8). La totalidad de los estudios en viajes espaciales fue de once artículos.

Tabla 8.

Características sobre la población astronauta y los viajes espaciales acorde a los criterios de inclusión y exclusión en los estudios de viajes espaciales.

#	Año	Título de la Investigación	Muestra	Características de la Población	Referencia Bibliográfica
1	2021	Investigación de cambios inducidos en viajes espaciales en el microbioma de los astronautas.	4 astronautas	Entre 40 a 50 años, 16 meses de duración.	Morrison, M., et al.
2	2018	Carga ácida dietética y recambio óseo durante vuelos espaciales de larga duración y reposo en cama.	17 astronautas	4 mujeres y 12 hombres, 47 ± 6 años, 24.6 ± 3.0 kg/m ² , 160 ± 20 días de duración.	Zwart, S., et al.
3	2020	Efectos de los vuelos espaciales sobre la composición y función de la microbiota intestinal humana	5 astronautas	Participan en 2 misiones de viajes espaciales.	Liu, Z., et al.
4	2015	Metabolismo óseo y riesgo de cálculos renales durante las misiones de la Estación Espacial Internacional.	23 astronautas	18 hombres y 5 mujeres se dividen en 3 grupos: Grupo iRED ¹ , Grupo ARED ² , Grupo Bis+ARED ³	Smith, S., et al.
5	2014	Cambios en la masa corporal durante vuelos espaciales de larga duración.	25 astronautas	19 hombres y 6 mujeres, 47 ± 5 años, origen canadiense, europeos, japoneses y estadounidenses, con duración entre 93 a 199 días en el espacio.	Zwart, S., et al.
6	2012	Beneficios para los huesos del ejercicio de resistencia y la nutrición en vuelos espaciales de	13 astronautas	6 hombres y 2 mujeres, divididos en dos grupos: Grupo iRED ¹ y Grupo ARED ² , en misiones espaciales entre el 2006 - 2009.	Smith, S., et al.

		larga duración: Evidencia de bioquímica y densitometría.			
7	2016	Aumento de la rigidez de la arteria carótida después del vuelo y resistencia a la insulina durante el vuelo como resultado de un vuelo espacial de 6 meses en astronautas masculinos y femeninos.	9 astronautas	5 hombres y 4 mujeres, edades 40 y 56, pesos 69 ± 15 kg, alturas 174 ± 7 cm, durante misiones espaciales entre el 2009 - 2013.	Hughson, R., et al.
8	2019	El estudio de gemelos de la NASA: un análisis multidimensional de un vuelo espacial humano de un año de duración.	2 astronautas	Gemelos, ambos 50 años, uno durante su estadía en la ISS ⁴ otro en una base terrestre.	Garret-Bakelman, F., et al.
9	2020	El estudio Nutriss: un nuevo enfoque para calibrar la dieta y el ejercicio en misiones espaciales a largo plazo, para mantener la homeostasis de la grasa corporal, los músculos y los líquidos.	1 astronauta	Registro dietético y calórico de un astronauta a bordo de la ISS ⁴ mediado por la ESA ⁵ , julio 2019 - enero 2020.	Girolamo, F., et al.
10	2019	Estudio del impacto de las misiones espaciales de larga duración en la Estación Espacial Internacional en el microbioma de los astronautas.	9 astronautas	7 hombres y 2 mujeres, 6 meses a 1 años en ISS ⁴ .	Voorhies, A., et al.
11	2012	Cambios en la visión después de un vuelo espacial están relacionados con alteraciones en el metabolismo de un carbono dependiente del folato y la vitamina B-12.	20 astronautas	Dividen en 2 grupos: OC+ ⁶ (5 hombres; 50 ± 4 años; IMC^7 24 ± 3) y OC- ⁸ (5 hombres y 6 mujeres en total; 46 ± 4 años, IMC 24 ± 3), viajes entre 2006 -2011.	Zwart, S., et al.

Fuente: propia (2022).

1. Dispositivo de Ejercicio de Resistencia interim, por sus siglas en inglés.
2. Dispositivo de Ejercicio de Resistencia Avanzado, por sus siglas en inglés.
3. Grupo que realiza ejercicios por medio del dispositivo de ARED + suplementación de alendronate bifosfato.
4. Estación Espacial Internacional, por sus siglas en inglés.

5. Agencia Espacial Europea, por sus siglas en inglés.
6. Cambios oftalmológicos presentes.
7. Índice de Masa Corporal.
8. Sin cambios oftalmológicos.

En la siguiente tabla se enumeran todos los artículos de investigación incluidos, realizados en base a información de voluntarios que participaron en simulaciones de viajes espaciales en bases terrestres, donde se incluyen el año de publicación, el título de la investigación, el número de muestra con la que se trabajó y las características de los sujetos mencionadas (tabla 9). La totalidad de los estudios en viajes espaciales fue de seis artículos. En la última fila de dicha tabla, se encuentra el número total de los artículos incluidos en esta revisión sistemática y la totalidad de la muestra en todos los estudios.

Tabla 9.

Características sobre la población astronauta y los viajes espaciales acorde a los criterios de inclusión y exclusión en los estudios de simulaciones de viajes espaciales.

#	Año	Título de la Investigación	Muestra	Características de la Población	Referencia Bibliográfica
12	2019	La exposición a microgravedad a largo plazo aumenta la inestabilidad de la repolarización del ECG ¹ manifestada por oscilaciones de baja frecuencia del vector de onda T.	42 voluntarios	De Cologne, Alemania (29 ± 6 años, 77 ± 7 kg peso, 181 ± 5 cm altura) y de Toulouse, Francia (34 ± 7 años), todos masculinos, durante 60 días de simulación.	Palacios, S., et al.
13	2019	La atrofia del músculo esquelético en microgravedad simulada	12 voluntarios	Grupo Reposo: 32.7 ± 6 años, 75.6 ± 5.5 kg peso, 182 ± 6.5 cm altura, $IMC^2 22.6 \pm 2.8$ kg/m ²	Teodori, L., et al.

		podría ser desencadenada por microARN relacionados con el sistema inmunitario.		Grupo Reposo con ejercicios: 33.2 ± 6.1 años, 82 ± 10.5 kg, 187.2 ± 7.2 cm altura, $IMC^2 24.1 \pm 2.3$ kg/m ² . Ambos durante 55 días de simulación.	
14	2012	Metabolismo óseo y estado nutricional durante 30 días de reposo en cama con cabeza hacia abajo.	12 voluntarios	8 hombres y 4 mujeres, 24 a 49 años, 73.6 ± 10.6 kg peso, 173 ± 7 cm altura, $IMC^2 24.5 \pm 2.8$ kg/m ² , durante 30 días.	Morgan, J., et al.
15	2015	La restricción calórica disminuye la tolerancia ortostática independientemente del reposo en cama con la cabeza hacia abajo en ángulo de 6°.	9 voluntarios	Todos masculinos, 23.8 ± 3.0 años, 76 ± 7 kg peso, 182 ± 6 cm altura, $IMC^2 22.8 \pm 3.2$ kg/m ² , de Cologne, Alemania.	Florian, J., et al.
16	2018	La influencia de la estructura dietética y el estilo de vida del sistema bioregenerativo de soporte vital en la microbiota intestinal: una simulación espacial terrestre de 105 días en Lunar Palace 1.	3 voluntarios	1 hombre y 2 mujeres, 27 – 32 años, $IMC^2 19$ kg/m ² – 24.3 kg/m ² , procedentes de China.	Hao, Z., et al.
17	2014	Alimentación y estado de ánimo: evaluación nutricional y del estado de ánimo de una dieta espacial vegana de 30 días.	16 voluntarios	7 hombres y 9 mujeres, 30 – 50 años, 70 ± 2.9 kg peso, 171.4 ± 2.0 cm altura, $IMC^2 23.9 \pm 1.0$ kg/m ² , procedentes de Estados Unidos.	Olabi, A., et al.
Total de Estudios: 17 estudios (11 estudios de viajes espaciales y 6 estudios de simulaciones)			Población Total: 222 sujetos (128 astronautas y 94 sujetos en simulación)		

Fuente: propia (2022).

1. Electrocardiograma.
2. Índice de masa corporal.

En la siguiente tabla se incluyen aquellos estudios que mencionan evidencia de alteraciones metabólicas y/o nutricionales en la población astronauta durante los viajes espaciales (tabla 10). Cabe resaltar que, no todos los estudios se incluyen en esta tabla, ya que se limita a aquellos estudios con resultados relacionados al segundo objetivo específico de la investigación.

Tabla 10.

Alteraciones metabólicas y nutricionales en astronautas durante viajes espaciales, acorde a los criterios de inclusión y exclusión.

#	Año	Título de la Investigación	Alteraciones metabólicas y nutricionales	Referencia Bibliográfica
1	2021	Investigación de cambios inducidos en viajes espaciales en el microbioma de los astronautas.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Incremento relativo en abundancia de géneros y especies identificados durante el viaje en comparación con las muestras de pre-viaje y post-viaje. ○ Mutaciones en el marcador <i>Streptomyces</i> EF-Tu¹, lo cual puede sugerir una resistencia a la elfamicina. ○ El microbioma experimenta cambios durante los viajes espaciales, sin embargo, regresan a sus valores de pre-viaje una vez de regreso a la Tierra. 	Morrison, M., et al.
2	2018	Carga ácida dietética y recambio óseo durante vuelos espaciales de larga duración y reposo en cama	<ul style="list-style-type: none"> ○ Valores de NTX² aumentaron durante el viaje, asociado mayormente a edad y sulfuro dietético. ○ No hubo suficiente evidencia para relacionar los cambios en BSAP³ con los dos tipos de dietas. ○ Calcio urinario: mayor ingesta de sodio dietético si se relaciona con mayor excreción urinaria de calcio. ○ Un mayor incremento en la carga ácida de la NEAP⁴, con un mayor decremento del contenido mineral óseo de la espina lumbar. 	Zwart, S., et al.
3	2020	Efectos de los vuelos espaciales sobre la composición y función de la microbiota intestinal humana	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aumento de la abundancia de los <i>Firmicutes</i> y disminución de abundancia de <i>Bacteroides</i> posterior a los viajes. 	Liu, Z., et al.

			<ul style="list-style-type: none"> ○ Fluctuaciones en cuanto a la composición de la microbiota debido a la influencia del ambiente confinado en la estación espacial. ○ La abundancia viral en la microbiota intestinal aumentó posterior al viaje espacial a excepción de un sujeto. 	
4	2015	Metabolismo óseo y riesgo de cálculos renales durante las misiones de la Estación Espacial Internacional	<ul style="list-style-type: none"> ○ Resorción ósea aumentó durante el viaje espacial, sin importar el tipo de ejercicios realizado. ○ Varios marcadores óseos se alteraron durante el viaje, con diferencias por tipo de ejercicios. 	Smith, S., et al.
5	2012	Beneficios para los huesos del ejercicio de resistencia y la nutrición en vuelos espaciales de larga duración: Evidencia de bioquímica y densitometría	<ul style="list-style-type: none"> ○ Los marcadores óseos son afectados por el vuelo: osteocalcina, iPTH⁵ (disminuye), vitamina D en su forma activa (disminuye). ○ Excreción urinaria de calcio aumenta durante el viaje en ambos grupos, la creatinina urinaria fue afectada y el volumen urinario fue menor durante el viaje. 	Smith, S., et al.
6	2016	Aumento de la rigidez de la arteria carótida después del vuelo y resistencia a la insulina durante el vuelo como resultado de un vuelo espacial de 6 meses en astronautas masculinos y femeninos.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aumento en el HOMA-IR⁶ con mayor consistencia en hombres. ○ Aumento de la insulina en ambos sexos. ○ Marcadores metabólicos relacionados al metabolismo de glucosa fueron alterados por el viaje; ○ La concentración de insulina se elevó, especialmente en hombres; albumina total aumentó; IGF-1⁷ aumentó, especialmente en hombres; la renina aumentó mayormente en mujeres; angiotensina II no fue afectada; aldosterona aumentó mayormente en mujeres; PRO-ANP⁸ disminuyó; marcadores de inflamación y estrés oxidativo no se afectaron considerablemente, sin embargo, IL-1ra⁹ se elevó durante el vuelo. 	Hughson, R., et al.
7	2019	El estudio de gemelos de la NASA: un análisis multidimensional de un vuelo espacial humano de un año de duración.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Cambios en la longitud de los telómeros, regulación genética, composición del microbioma intestinal, peso corporal, dimensiones de arteria carótida, cambios a nivel visual, metabolitos séricos. ○ Cambios por estrés del regreso a la tierra como: citoquinas pro-inflamatorias, genes de respuesta inmunológica y desempeño cognitivo. 	Garret-Bakelman, F., et al.

8	2019	Estudio del impacto de las misiones espaciales de larga duración en la Estación Espacial Internacional en el microbioma de los astronautas.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Reactivación de ciertos virus y cambio en niveles de estrés hormonal durante el viaje. ○ La alfa-amilasa tuvo niveles mayores durante el viaje, principalmente llegando al final. ○ La hormona dehidroepiandrosterona tuvo una disminución en sus niveles en el día 90 del viaje. 	Voorhies, A., et al.
9	2012	Cambios en la visión después de un vuelo espacial están relacionados con alteraciones en el metabolismo de un carbono dependiente del folato y la vitamina B-12.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Polimorfismos en las enzimas de este proceso (metabolismo de carbón-1) pueden interaccionar con la microgravedad y causar cambios fisiopatológicos. 	Zwart, S., et al.

Fuente: propia (2022).

1. Factor de Elongación Tu.
2. Telopectido N-terminal, por sus siglas en inglés.
3. Fosfatasa alcalina específica de hueso, por sus siglas en inglés.
4. Producción neta de ácido endógeno, por sus siglas en inglés.
5. Hormona paratiroidea intacta, por sus siglas en inglés.
6. Modelo Homeostático de Resistencia Insulínica, por sus siglas en inglés.
7. Factor de crecimiento semejante a la insulina tipo 1, por sus siglas en inglés.
8. Péptido natriurético pro-atrial, por sus siglas en inglés.
9. Receptor antagonista de Interleucina 1, por sus siglas en inglés.

En la siguiente tabla se incluyen aquellos estudios que mencionan evidencia de alteraciones metabólicas y/o nutricionales en la población de voluntarios durante simulaciones de viajes espaciales (tabla 11). Cabe resaltar que, no todos los estudios se incluyen en esta tabla, ya que se limita a aquellos estudios con resultados relacionados al segundo objetivo específico de la investigación.

Tabla 11.

Alteraciones metabólicas y nutricionales en astronautas durante simulaciones de viajes espaciales, acorde a los criterios de inclusión y exclusión.

#	Año	Título de la Investigación	Alteraciones metabólicas y nutricionales	Referencia Bibliográfica
10	2019	La atrofia del músculo esquelético en microgravedad simulada podría ser desencadenada por microARN ¹ relacionados con el sistema inmunitario.	<ul style="list-style-type: none"> ○ La desregulación de los miRs¹ ocasiona inflamación, influyendo en respuesta inmune y atrofia muscular. ○ Expresión genética de proteínas alterados durante microgravedad simulada. 	Teodori, L., et al.
11	2012	Metabolismo óseo y estado nutricional durante 30 días de reposo en cama con cabeza hacia abajo.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Incrementa excreción de calcio. ○ Marcadores de resorción ósea aumentaron durante la 1era semana de reposo. ○ Marcadores de formación ósea no aumentaron. ○ PTH² disminuye durante la 2^{da} semana de reposo. 	Morgan, J., et al.
12	2015	La restricción calórica disminuye la tolerancia ortostática independientemente del reposo en cama con la cabeza hacia abajo en ángulo de 6°.	<ul style="list-style-type: none"> ○ La restricción calórica redujo el índice de estrés acumulativo. 	Florian, J., et al.

13	2014	Alimentación y estado de ánimo: evaluación nutricional y del estado de ánimo de una dieta espacial vegana de 30 días.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Cambio de ingesta proteica, de proteína animal a proteína vegetal como trigo, lentejas, soya y tofu. ○ Calcio estuvo por debajo de consumo recomendado. 	Olabi, A., et al.
----	------	---	--	-------------------

Fuente: propia (2022).

1. Moléculas pequeñas no codificantes de ARN (ácido ribonucleico), por su abreviatura en inglés.
2. Hormona paratiroidea, por sus siglas en inglés

En la siguiente tabla se incluyen aquellos estudios que mencionan evidencia de cambios a nivel del estado nutricional en la población astronauta durante viajes espaciales (tabla 12). Cabe resaltar que, no todos los estudios se incluyen en esta tabla, ya que se limita a aquellos estudios con resultados relacionados al tercer objetivo específico de la investigación.

Tabla 12.

Cambios en el estado nutricional de los astronautas durante viajes espaciales.

#	Año	Título de la Investigación	Cambios en el Estado Nutricional	Referencia Bibliográfica
1	2015	Metabolismo óseo y riesgo de cálculos renales durante las misiones de la Estación Espacial Internacional.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Riesgo de formación de cálculos renales aumentó durante las misiones, sin importar el tipo de ejercicio. ○ Volumen de orina disminuyó durante el viaje. 	Smith, S., et al.

2	2014	Cambios en la masa corporal durante vuelos espaciales de larga duración.	<ul style="list-style-type: none"> ○ La masa corporal disminuyó durante el viaje, un 3.8% según el BMMD¹ y un 3.5 % según el SLAMD². ○ Requerimiento energético disminuyó y se estima que el consumo fue de un 80% según el requerimiento calórico recomendado. 	Zwart, S., et al.
3	2012	Beneficios para los huesos del ejercicio de resistencia y la nutrición en vuelos espaciales de larga duración: Evidencia de bioquímica y densitometría.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Hay una correlación entre ingesta proteica o ingesta calórica. ○ Mayor ingesta proteica / calórica, se asocia con menor pérdida de BMC³ en la pelvis. ○ Grupo ARED⁴ regresa con más masa magra y menos masa grasa. 	Smith, S., et al.
4	2019	El estudio de gemelos de la NASA: un análisis multidimensional de un vuelo espacial humano de un año de duración.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Pérdida de masa corporal de 7% en el astronauta y una ganancia de peso de 4% en sujeto de la base terrestre. ○ Ingesta calórica del 66% recomendado en el astronauta. 	Garret-Bakelman, F., et al.
5	2020	El estudio Nutriss: un nuevo enfoque para calibrar la dieta y el ejercicio en misiones espaciales a largo plazo, para mantener la homeostasis de la grasa corporal, los músculos y los líquidos.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Cambios y monitoreo en: masa corporal por BMMD¹ y composición corporal por medio de BIA⁵, gasto energético y antropometría, determinación de valores de insulina, glucosa, patrón de lípidos, estrés oxidativo e inflamación. ○ Mensualmente se realizó el ENA⁶ para conocer la ingesta calórica. 	Girolamo, F., et al.

Fuente: propia (2022).

1. Dispositivo ruso para medir masa corporal, por sus siglas en inglés.
2. Dispositivo de medición de masa de aceleración lineal espacial, por sus siglas en inglés.
3. Contenido mineral óseo, por sus siglas en inglés.
4. Dispositivo Ruso para medir masa corporal, por sus siglas en inglés.
5. Bioimpedancia.
6. Abordaje Nutricional de la Agencia Espacial Europea

En la tabla 13 se incluyen aquellos estudios que mencionan evidencia de cambios a nivel del estado nutricional en simulaciones de viajes espaciales (tabla 13). Cabe resaltar que, no todos los estudios se incluyen en esta tabla, ya que se limita a aquellos estudios con resultados relacionados al tercer objetivo específico de la investigación.

Tabla 13.

Cambios en el estado nutricional de los sujetos durante simulaciones de viajes espaciales.

#	Año	Título de la Investigación	Cambios en el Estado Nutricional	Referencia Bibliográfica
6	2012	Metabolismo óseo y estado nutricional durante 30 días de reposo en cama con cabeza hacia abajo.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aumento en los niveles de 25-hidroxivitamina D ○ Colesterol HDL¹: disminuyó al final del reposo. ○ Potasio sérico: disminuyó en pos-reposo. ○ Glucosa sérica: aumentó ○ Creatinina urinaria: incrementa en semana 1 de reposo y días 0 a 3 pos-reposo. ○ Potasio urinario: disminuyó en pos-reposo. ○ Disminución de la excreción del oxalato urinario durante el reposo (aprox. 20%). ○ Niveles de transferrina disminuyeron en días 5-7 pos-reposo. 	Morgan, J., et al.
7	2015	La restricción calórica disminuye la tolerancia ortostática independientemente del reposo en cama con la cabeza hacia abajo en ángulo de 6°.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Colesterol total: 4.2 ± 0.6 mmol (deseable) ○ HDL¹: 1.3 ± 0.3 mmol (deficiente) ○ LDL²: 2.5 ± 0.3 (deseable) ○ SBP³: 123 ± 6 mmHg 	Florian, J., et al.

			○ DBP ⁴ : 78 ±8 mmHg
8	2018	La influencia de la estructura dietética y el estilo de vida del sistema bioregenerativo de soporte vital en la microbiota intestinal: una simulación espacial terrestre de 105 días en Lunar Palace 1.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ingesta de proteína de planta aumentó significativamente en un 42.5%. ○ Proteína animal disminuyó en un 51.8%. ○ Fibra dietética aumentó en un 117.3%.
9	2014	Alimentación y estado de ánimo: evaluación nutricional y del estado de ánimo de una dieta espacial vegana de 30 días.	○ Pérdida de peso durante el estudio de 1.7 kg. Olabi, A., et al.

Fuente: propia (2022).

1. Lipoproteínas de alta densidad.
2. Lipoproteínas de baja densidad.
3. Presión sanguínea sistólica, por sus siglas en inglés.
4. Presión sanguínea diastólica, por sus siglas en inglés.

En la siguiente tabla se incluyen aquellos estudios donde se correlacionan las alteraciones metabólicas y nutricionales con cambios en el estado nutricional de los astronautas (tabla 14). Cabe resaltar que, no todos los estudios se incluyen en esta tabla, ya que se limita a aquellos estudios con resultados relacionados al cuarto objetivo específico de la investigación.

Tabla 14.

Efectos de las alteraciones metabólicas y nutricionales en el estado nutricional de los astronautas en viajes espaciales.

#	Año	Título de la Investigación	Resultados y Conclusiones	Referencia Bibliográfica
1	2018	Carga ácida dietética y recambio óseo durante vuelos espaciales de larga duración y reposo en cama.	<ul style="list-style-type: none"> ○ La disminución a tiempo prolongado de NEAP¹ al incrementar el consumo de vegetales y frutas puede proteger en contra a cambios en el contenido mineral óseo durante viajes espaciales cuando el consumo de calcio es adecuado particularmente, si no se realiza ejercicios resistentes. 	Zwart, S., et al.
2	2015	Metabolismo óseo y riesgo de cálculos renales durante las misiones de la Estación Espacial Internacional.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Valores de PTH² disminuyeron durante el viaje espacial, al igual que se observan alteraciones en otros marcadores óseos. ○ Mayor excreción de calcio urinario durante el viaje, valores altos de IGF-1³ y creatinina urinaria, riesgo de supersaturación de brushita⁴, aumento de oxalato de calcio, urato de sodio, ácido úrico durante el viaje. 	Smith, S., et al.

3	2014	Cambios en la masa corporal durante vuelos espaciales de larga duración.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Disminución en la ingesta calórica durante los primeros 30 días se debe a factores que afectan el metabolismo en viajes espaciales prolongados. ○ Factores involucrados: microgravedad, mayor CO² en cabina, aumento del ejercicio, pérdida de calor convectivo reducida e incluso niveles bajos de estrés. 	Zwart, S., et al.
4	2012	Beneficios para los huesos del ejercicio de resistencia y la nutrición en vuelos espaciales de larga duración: Evidencia de bioquímica y densitometría.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Demostró que los ejercicios de resistencia, nutrición y suplementación con vitamina D, mantienen el hueso en la mayoría de las regiones óseas durante misiones de 4 - 6 meses en exposición de microgravedad. 	Smith, S., et al.
5	2016	Aumento de la rigidez de la arteria carótida después del vuelo y resistencia a la insulina durante el vuelo como resultado de un vuelo espacial de 6 meses en astronautas masculinos y femeninos.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mayor rigidez en la arteria carótida durante un viaje espacial de 6 meses. ○ El coeficiente de distensibilidad e índice de beta de rigidez de la arteria carótida reflejó un 17-30% de aumento en la rigidez arterial cuando se midieron los resultados 38h posterior al regreso a la Tierra. ○ Hay un aumento en la resistencia insulínica durante el vuelo, que puede deberse al aumento de la albumina glucosilada por una dieta alta en azúcares simples de los astronautas. 	Hughson, R., et al.
6	2019	El estudio de gemelos de la NASA: un análisis multidimensional de un vuelo espacial humano de un año de duración.	<ul style="list-style-type: none"> ○ El análisis proteómico reveló una disminución de la angiotensinogeno urinaria durante el vuelo lo que se correlaciona con la disminución de la masa corporal durante el vuelo. ○ Niveles bajos de metabolitos con capacidad antiinflamatoria en astronauta durante el viaje. 	Garret-Bakelman, F., et al.
7	2020	El estudio Nutriss: un nuevo enfoque para calibrar la dieta y el ejercicio en misiones espaciales a largo plazo, para mantener la homeostasis de la grasa corporal, los músculos y los líquidos.	<ul style="list-style-type: none"> ○ La neutralidad dietética energética y el balance y aumento en la ingesta proteica son efectivos en minimizar los efectos de la microgravedad en el sistema musculoesquelético. ○ Este estudio puede ser una estrategia para individualizar y simplificar el abordaje nutricional y riesgos durante vuelos espaciales. 	Girolamo, F., et al.

8	2019	Estudio del impacto de las misiones espaciales de larga duración en la Estación Espacial Internacional en el microbioma de los astronautas.	○ Demostró que la composición del microbioma de los astronautas se altera durante los viajes espaciales.	Voorhies, A., et al.
---	------	---	--	----------------------

Fuente: propia (2022).

1. Producción neta de ácido endógeno, por sus siglas en inglés.
2. Hormona paratiroidea, por sus siglas en inglés.
3. Factor de crecimiento semejante a la insulina tipo 1, por sus siglas en inglés.
4. Fosfato de ácido de calcio.

En la siguiente tabla se incluyen aquellos estudios donde se correlacionan las alteraciones metabólicas y nutricionales con cambios en el estado nutricional de los sujetos durante las simulaciones de viajes espaciales (tabla 15). Cabe resaltar que, no todos los estudios se incluyen en esta tabla, ya que se limita a aquellos estudios con resultados relacionados al cuarto objetivo específico de la investigación.

Tabla 15.

Efectos de las alteraciones metabólicas y nutricionales en el estado nutricional de los sujetos en simulaciones de viajes espaciales.

#	Año	Título de la Investigación	Resultados y Conclusiones	Referencia Bibliográfica
9	2019	La exposición a microgravedad a largo plazo aumenta la inestabilidad de la repolarización del ECG ⁹ manifestada por oscilaciones de baja frecuencia del vector de onda T.	○ La exposición a un período largo de microgravedad puede elevar oscilaciones de frecuencias bajas en la repolarización ventricular, los cuales se relacionan con inestabilidad al repolarizar o riesgo de padecer arritmias cardíacas.	Palacios, S., et al.
10	2019	La atrofia del músculo esquelético en microgravedad simulada podría ser desencadenada	○ Respuesta inflamatoria que ocasiona atrofia del músculo y desregulación inmunológica y molecular.	Teodori, L., et al.

		por microARN relacionados con el sistema inmunitario.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Expresión genética de proteínas alterados durante microgravedad simulada. 	
11	2012	Metabolismo óseo y estado nutricional durante 30 días de reposo en cama con cabeza hacia abajo.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Alteraciones de los marcadores de resorción ósea. ○ Aumento de la excreción urinaria de calcio. ○ Aumento de la glucosa en sangre durante el reposo. 	Morgan, J., et al.
12	2015	La restricción calórica disminuye la tolerancia ortostática independientemente del reposo en cama con la cabeza hacia abajo en ángulo de 6°.	<ul style="list-style-type: none"> ○ 14 días con restricción calórica/o de grasa en adultos jóvenes saludables, disminuye el MSNA¹ en descanso y la tolerancia LBNP². 	Florian, J., et al.
13	2018	La influencia de la estructura dietética y el estilo de vida del sistema bioregenerativo de soporte vital en la microbiota intestinal: una simulación espacial terrestre de 105 días en Lunar Palace 1.	<ul style="list-style-type: none"> ○ La composición de la microbiota mostro convergencia y cambios dinámicos. ○ Aumento en la diversidad y abundancia de <i>Lachnospira</i>, <i>Faecalibacterium</i>, <i>Blautia</i>, indicando que la estructura dietética beneficiosa para microbioma intestinal. 	Hao, Z., et al.
14	2014	Alimentación y estado de ánimo: evaluación nutricional y del estado de ánimo de una dieta espacial vegana de 30 días.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Se observa cambios de humor, disminución de vigor y aumento de la fatiga. ○ Se relacionan los cambios de humor con la pérdida de peso y no con la dieta vegana. 	Olabi, A., et al.

Fuente: propia (2022).

1. Actividad nerviosa de músculo simpático, por sus siglas en inglés.
2. Presión negativa de cuerpo bajo, por sus siglas en inglés.

En la siguiente tabla se muestran dos columnas que comparan los resultados sobre alteraciones metabólicas, nutricionales y los efectos en el estado nutricional de estudios en viajes espaciales y simulaciones a manera de resumen (tabla 16). Los resultados se redactan de manera breve, sin embargo, en el siguiente capítulo se abarcará con mayor detalles los resultados y el análisis de los mismos.

Tabla 16.

Comparación de las alteraciones metabólicas, nutricionales y efectos en el estado nutricional detectadas en los estudios durante viajes espaciales y simulaciones de viajes espaciales.

#	Alteraciones Metabólicas, Nutricionales y Efectos en Estado Nutricional en Viajes Espaciales	Alteraciones Metabólicas, Nutricionales y Efectos en Estado Nutricional en Simulaciones de Viajes Espaciales
1	Cambios en el microbioma y microbiota intestinal durante viajes espaciales como: incremento en abundancia de ciertas especies y géneros (Morrison, M., et al), cambio en la composición de la microbiota intestinal y su función (Liu, Z., et al, Voorhies, A., et al), aumento en abundancia viral en microbiota intestinal (Liu, Z., et al), reactivación de ciertos virus y cambio en niveles de estrés hormonal durante el viaje (Voorhies, A., et al), cambio en microbioma intestinal (Garret-Bakelman, F., et al).	Cambios en el microbioma / genética: la desregulación de microRNAs ¹ ocasiona inflamación e influye en la respuesta inmune y atrofia muscular, la expresión genética de proteínas se altera (Teodori, L., et al).
2	Alteraciones en sistema musculoesquelético: valores de NTX ² aumentan, incremento en la carga ácida de la NEAP ³ con un mayor decremento del contenido mineral óseo de la espina lumbar (Zwart, S., et al), resorción ósea aumenta, varios marcadores óseos se alteraron (Smith, S., et al), osteocalcina, iPTH ⁴ (disminuye), vitamina D en su forma activa (disminuye), excreción urinaria de calcio aumenta durante, creatinina urinaria afectada, volumen urinario disminuye (Smith, S., et al).	Alteraciones en sistema musculoesquelético: incrementa excreción de calcio, marcadores de resorción ósea aumentan, marcadores de formación ósea no aumentan, valores de PTH ⁵ disminuyen (Morgan, J., et al), marcadores del metabolismo óseo alterados (Morgan, J., et al).

3 Cambios en metabolismo de la insulina y glucosa: aumentan niveles de insulina, marcadores metabólicos relacionados al metabolismo de glucosa fueron alterados por el viaje (Hughson, R., et al), aumenta riesgo de resistencia insulínica (Hughson, R., et al),	Cambios en metabolismo de la insulina y glucosa: Glucosa sérica aumenta (Morgan, J., et al).
4 Alteraciones en el metabolismo: polimorfismos en las enzimas del metabolismo de carbono-1 dependiente del folato y la vitamina B-12 pueden interactuar con la microgravedad y causar cambios fisiopatológicos (Zwart, S., et al), niveles bajos de metabolitos con capacidad antiinflamatoria (Garret-Bakelman, F., et al).	Alteraciones en el metabolismo: la restricción calórica reduce el índice de estrés acumulativo (Florian, J., et al).
5 Cambio en peso corporal: disminución de masa corporal (Zwart, S., et al, Garret-Bakelman, F., et al).	Cambio en peso corporal: pérdida de peso (Olabi, A., et al)
6 Cambio en alimentación: requerimiento energético disminuye (Zwart, S., et al), ingesta calórica disminuye (Garret-Bakelman, F., et al).	Cambio en alimentación: ingesta de proteína vegetal aumenta, proteína animal disminuyó, fibra dietética aumenta (Hao, Z., et al), restricción calórica/o de grasa en adultos jóvenes disminuye el MSNA ⁶ en descanso y la tolerancia LBNP ⁷ (Florian, J., et al).
7 Formación de cálculos renales: riesgo de formación de cálculos renales aumenta (Smith, S., et al).	Formación de cálculos renales: N/A
8 Valores bioquímicos alterados: concentración de insulina elevada, albumina total aumentó, IGF-1 ⁸ aumentó, renina aumentó, aldosterona aumentó, PRO-ANP ⁹ disminuyó, IL-1ra ¹⁰ se elevó durante el vuelo (Hughson, R., et al).	Valores bioquímicos alterados: colesterol HDL ¹¹ disminuye (Morgan, J., et al), aumento en los niveles de 25-hidroxivitamina, potasio sérico disminuyó en pos-reposo, glucosa sérica aumentó, creatinina urinaria incrementó, potasio urinario disminuyó en pos-reposo, disminución de la excreción del oxalato urinario durante el reposo, niveles de transferrina disminuyeron en pos-reposo (Morgan, J., et al).

Fuente: propia (2022).

1. Pequeñas moléculas no codificantes de ARN (ácido ribonucleico), por su abreviatura en inglés.
2. Telopectido N-terminal, por sus siglas en inglés.
3. Producción neta de ácido endógeno, por sus siglas en inglés.
4. Hormona paratiroidea intacta, por sus siglas en inglés.
5. Hormona paratiroidea, por sus siglas en inglés.
6. Actividad nerviosa de músculo simpático, por sus siglas en inglés.
7. Presión negativa de cuerpo bajo, por sus siglas en inglés.
8. Factor de crecimiento semejante a la insulina tipo 1, por sus siglas en inglés.
9. Péptido natriurético pro-atrial, por sus siglas en inglés.

10. Receptor antagonista de Interleucina 1, por sus siglas en inglés.
11. Lipoproteínas de alta densidad, por sus siglas en inglés.

CAPITULO V

DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Alteraciones metabólicas y nutricionales en viajes espaciales y estudios de simulaciones

Las alteraciones metabólicas y nutricionales presentes en los estudios se resumen en diferentes categorías, tanto en estudios realizados durante viajes espaciales como en estudios realizados en simulaciones de viajes espaciales en bases terrestres con sujetos voluntarios. Estas categorías de alteraciones se mencionan anteriormente en la tabla 16 en el capítulo IX,

En primer lugar, se encuentran los cambios a nivel de la microbiota y microbioma. La microbiota se define como un “conjunto de bacterias que colonizan la piel, el aparato digestivo, incluida la boca y el aparato genital (Carrera, 2020)”. Por otro lado, según Moreno, Valladares, Halabe (2018) el microbioma se refiere a la microbiota y la función que cumple con su entorno. La microbiota en sí posee múltiples funciones a diversos niveles de los sistemas del organismo, como neurológicos, sistema óseo, sistema inmunológico, endocrinos, metabólicos, entre otros. A nivel digestivo cumple con las funciones correspondientes para una digestión correcta de los alimentos y aprovechamiento de los nutrientes. Ha sido confirmado en los últimos años la importancia de una microbiota saludable, ya que alteraciones a nivel de esta, son origen de varias patologías en los humanos (Icaza, 2013). La *disbiosis*, hace referencia a estas alteraciones, las cuales se han relacionado con enfermedades inflamatorias, el asma, la esteatohepatitis no alcohólica, la obesidad, entre otros (Icaza, 2013). A pesar de la variedad de estudios que confirman estas alteraciones, existen números limitados en estudios de población astronauta en referencia a esta temática. Sin embargo, los resultados de los estudios de esta revisión sistemática confirman que existen cambios a nivel de la microbiota intestinal y el microbioma debido a los cambios a los que se someten los astronautas en los viajes espaciales.

Algunos de los cambios destacados en los estudios incluidos, son el del cambio en el número de abundancia de especies y géneros, es decir cambios en la composición, no obstante, también se confirman cambios en las funciones de la microbiota intestinal. De muestras fecales obtenidas en astronautas se determinan resultados como el aumento en la abundancia de *Firmicutes* y disminución de la abundancia de *Bacteroides* (Liu, et al., 2020). Según Magne, Gotteland, Gauthier, Zazueta, Pessoa, Navarrete y Balamurugan (2020) la relación *Firmicutes/Bacteroides* alterada se relaciona con una disbiosis, más específico con la obesidad en los humanos y otras condiciones patológicas importantes. Las fluctuaciones en las abundancias entre cada astronauta fueron diferentes, sin embargo, estas siempre cambiaron, confirmando así que el ambiente confinado y factores atmosféricos durante su estadía en la ISS afecta la especificidad de la microbiota intestinal (Liu, et al., 2020). Por otra parte, la función de la microbiota también se vio afectada por el viaje. Específicamente se menciona en el artículo investigativo lo siguiente: “el viaje espacial afectó marcadamente la función de la microbiota intestinal, especialmente la abundancia relativa del procesamiento de la información ambiental en KEGG nivel 1, la abundancia relativa de la envoltura de biogénesis en eggNOG nivel 1 y la abundancia relativa en las glucósido hidrolasas en CAZy nivel 1 (Liu, et al., 2020)” (figura 5). En cuanto a las rutas metabólicas se detectó que la única reacción enzimática afectada por el viaje espacial fue la de la biosíntesis de los antibióticos.

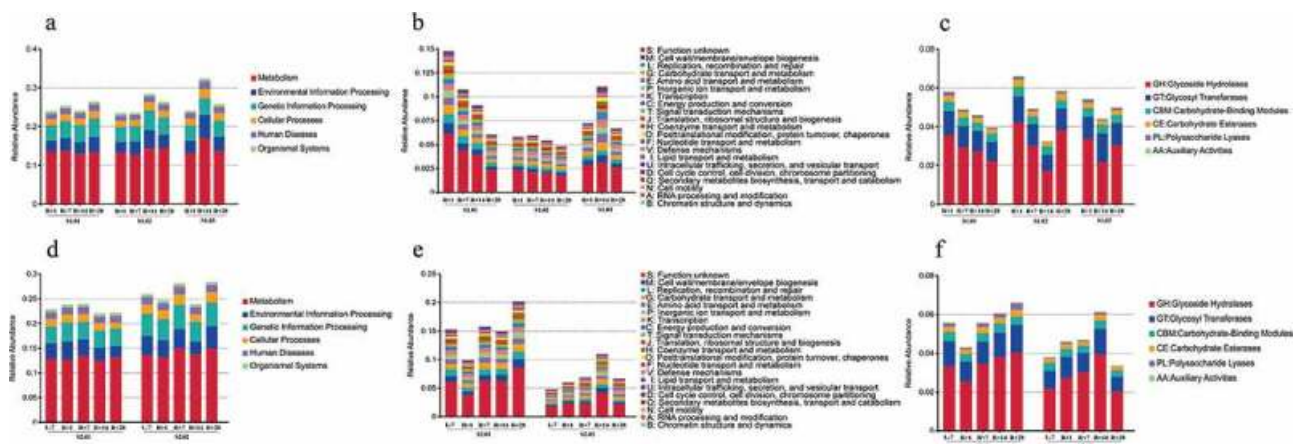


Figura 5 Abundancias relativas de KEGG, eggNOG y CAZy nivel 1 en las misiones uno y dos. (a) Abundancia relativa de KEGG nivel 1 en la misión uno. (b) Abundancia relativa de eggNOG nivel 1 en la misión uno. (c) Abundancia relativa de CAZy nivel 1 en la misión uno. (d) Abundancia relativa de KEGG nivel 1 en la misión dos. (e) Abundancia relativa de eggNOG nivel 1 en la misión dos. (f) Abundancia relativa de CAZy nivel 1 en la misión dos.

Fuente: Effects of spaceflight on the composition and function of the human gut microbiota (p.812) por Liu, et al. (2020).

Por otro lado, Voorhies et. al (2019) comenta en sus resultados sobre el estudio del microbioma en astronautas durante viajes de larga duración, que la composición de la microbiota intestinal sufre alteraciones, similar al estudio de Liu et al. Sin embargo, también afirma que el microbioma de la piel se ve afectado por los cambios durante los viajes espaciales, lo cual hace que los astronautas aumenten el riesgo de padecer hipersensibilidad en la piel en forma de rashes. Otros resultados importantes fueron la reactivación de ciertos virus como el del *Varicella zoster* o *Herpes simplex* debido a la disbiosis presente, cambios en los niveles de estrés hormonal como el aumento de la alfa amilasa salival y el aumento en las concentraciones de ciertas citoquinas proinflamatorias, lo cual demuestra que hay una afectación a nivel del sistema inmunológico (Voorhies, et al., 2019). En la siguiente tabla se ilustran las concentraciones de citoquinas (tabla 17).

Tabla 17.

Asociación entre los cambios en concentraciones de citoquinas y la abundancia relativa de la microbiota gastrointestinal durante una misión en la ISS y posterior al regreso a la Tierra.

Cytokine	Cytokine vs GI microbiota correlation (D)	SE	Correlation p-value	Inflight cytokine change	OTU	Genus	Inflight OTU change
CXCL8/IL-8	-0.581	0.144	5.43E-05	↑	Otu000010	<i>Fusicatenibacter</i>	↓
IL-1B	-0.622	0.126	8.57E-07	↑	Otu000010	<i>Fusicatenibacter</i>	↓
	-0.36	0.087	3.69E-05		Otu000011	<i>Dorea</i>	↓
TNFa	-0.467	0.099	2.32E-06	↑	Otu000010	<i>Fusicatenibacter</i>	↓
IL-17	0.464	0.114	4.35E-05	ns	Otu000054	<i>Faecalibacterium</i>	↑↑↑
IL-1ra	-0.5	0.12	3.09E-05	↑	Otu000011	<i>Dorea</i>	↓
	-0.5	0.102	8.89E-07		Otu000028	<i>Ruminococcus_2</i>	↓↓↓
IFNg	0.618	0.12	2.85E-07	ns	Otu000038	<i>Akkermansia</i>	↓↓
	-0.611	0.06	4.33E-24	ns	Otu000165	<i>Lachnospiraceae (uncl.)</i>	↑
IL-2				↑			
IL-4	-0.622	0.155	5.87E-05	ns	Otu000010	<i>Fusicatenibacter</i>	↓
IL-10	-0.379	0.103	2.46E-04	ns	Otu001908	<i>Roseburia</i>	↓↓
G-CSF	-0.364	0.08	5.67E-06	ns	Otu000016	<i>Blautia</i>	↑↑
FGF basic	0.357	0.098	2.85E-04	ns	Otu000054	<i>Faecalibacterium</i>	↑↑↑
Tpo	0.352	0.099	3.71E-04	ns	Otu000071	<i>Lachnospiraceae (uncl.)</i>	↓↓
VEGF	-0.556	0.087	1.72E-10	ns	Otu000010	<i>Fusicatenibacter</i>	↓
	-0.42	0.106	7.08E-05		Otu000011	<i>Dorea</i>	↓
CCL2/MCP-1				↑			
CCL4/MIP-1B	-0.38	0.1	1.49E-04	↑	Otu000011	<i>Dorea</i>	↓
CCL5/RANTES	0.521	0.138	1.55E-04	ns	Otu000060	<i>Lachnoclostridium</i>	↑

Fuente: Study of the impact of long duration space missions at the International Space Station on the astronaut microbiome (p.7) por Voorhies et al. (2019).

Así lo confirma también el estudio en 4 astronautas donde se observaron cambios en el microbioma. Según Morrison, et al. (2021), la mayoría de los géneros y especies aumentaron su abundancia relativa durante el viaje, destacando mutaciones en algunos como en el marcador *Streptomyces EF-Tu*, que podría sugerir una resistencia antibiótica.

Al comparar los estudios de simulaciones respecto a los cambios a nivel de la microbiota, no se encuentra específicamente resultados en cuanto al cambio en composición y función de la misma como en los estudios en viajes espaciales reales. Sin embargo, se afirma

que estos poseen evidencia que se correlaciona con los resultados en viajes espaciales en cuanto a los microRNAs o genética. Por ejemplo, según los resultados de la investigación de Teodori et al. (2019), al obtener biopsias de los músculos *soleus* y *vastus lateralis* se logró conocer el perfil proteómico de 12 voluntarios en reposo y microgravedad simulada. Los resultados constataron una atrofia muscular que se asocia con la función inmunológica desregulada durante el estudio, al igual que una expresión genética proteica alterada debido a la simulación de microgravedad ejemplada. Se concluye en este estudio, que dicha atrofia muscular se debe a la desregulación de los miRNAs, los cuales, al ocasionar una respuesta inflamatoria, ocasionan atrofia a nivel del músculo esquelético (Voorhies, et al., 2019).

Los microRNAs son ARNs pequeños con funciones para regular la expresión del ARN mensajero y control en la regulación post-traducciona (Xiang, 2019). Cabe destacar que estos se encargan de aproximadamente el 50% de los genes que involucran a las proteínas, donde si ocurre alguna falla o mutación de estos, queda como resultado una disfunción a nivel mitocondrial en las células o bien estrés oxidativo que puede empeorar a un estadio de apoptosis celular (Xiang, 2019). Se menciona en una revisión por Xiang et al (2019), que dicha desregulación a nivel de los microRNAs puede estar asociado a múltiples patologías incluyendo la atrofia multisistémica, enfermedades neurodegenerativas y algunos tipos de cáncer. Lo cual es importante relacionar que los cambios atmosféricos durante viajes prolongados en el espacio podrían aumentar el riesgo de una desregulación a nivel de los microRNAs, causando diversas problemáticas a la salud del astronauta como se ha mencionado.

En cuanto a los resultados de las alteraciones que afectan el sistema musculoesquelético, se destaca a nivel de pruebas bioquímicas alteraciones relacionadas a la salud ósea en ambos tipos de estudios. En el estudio de Zwart et al. (2018), donde se utilizaron datos reales de 17

astronautas sometidos a dos tipos de dietas diferentes (una dieta con relación alta de proteína animal y potasio y otra dieta con relación baja de proteína animal y potasio) mientras se realizaba ejercicios de resistencia, se encontró que los valores de NTX¹¹ y NEAP¹³ aumentaron, donde se afecta el contenido mineral óseo, especialmente en la zona de la espina lumbar donde hay un mayor decremento. Esto ocurrió a pesar de mantener una dieta con suplementación de 800 IU/d de vitamina D3. Según datos de la NASA, esta población pierde entre 1 – 2 % de densidad ósea por cada mes durante estos viajes, especialmente en cadera y columna, confirmando así los datos del estudio mencionado (Lewis, 2015). Por otro lado, el estudio de Smith et al. (2015), abarca también el análisis del metabolismo óseo durante viajes espaciales y se encuentra un aumento de la resorción ósea al igual que varios marcadores óseos alterados durante los viajes. Las pruebas séricas de otro estudio, demostraron como los marcadores óseos como la osteocalcina son afectados, y también, como los niveles de la hormona paratiroidea intacta y la vitamina D en su forma activa disminuyeron durante el vuelo (Smith, et al., 2012).

La resorción ósea es un proceso donde actúan los osteoclastos (células óseas), tras liberar sustancias ácidas, se libera calcio al torrente sanguíneo (desmineralización) y proteasas con la función de degradar la matriz extracelular (Lafita, 2003). Las hormonas que regulan este proceso son la PTH, 1.25 dihidroxi-vitamina D y tiroideas, las cuales pueden aumentar la expresión del activador del receptor que se encarga de activar los osteoclastos involucrados en la resorción ósea (Lafita, 2003). Este proceso puede aumentar la fragilidad del hueso, por lo que un aumento exagerado del mismo puede ser peligroso. Por otro lado, los osteoblastos se encargan de la formación ósea.

Con respecto a los estudios en simulaciones, se encontró también ejemplos de afectaciones en el sistema musculoesquelético. En un estudio de reposo en cama durante 30

días, se realizaron múltiples pruebas sanguíneas para medir algunos marcadores óseos como la filloquinona, osteocalcina infracarboxilada, osteocalcina, vitamina B6 y testosterona, al igual que otras pruebas bioquímicas para también llevar un control de colesterol, glucosa, potasio, creatinina, y mas (Morgan, et al., 2012). En este caso, los sujetos no realizaban ejercicios de resistencia, pero su dieta conllevaba suplementación de vitamina D3. Se reportó un aumento en marcadores de la resorción ósea desde la 1era semana empezada la simulación, continuando elevados durante el resto del estudio. También la excreción de calcio urinario aumentó, relacionándose así con la posible desmineralización ósea en proceso. Por otro lado, los marcadores de formación ósea no aumentaron, destacando también una disminución de la PTH tras la 2da semana de reposo y un aumento de glucosa en sangre.

Otra alteración destacada fue en cuanto al metabolismo de la glucosa durante los viajes espaciales. La insulina y la glucosa están fuertemente relacionados con el metabolismo de las personas e incluso en la salud en general, ya que una alteración de estas puede ocasionar patologías como la diabetes mellitus. En el estudio por Hughson, et al. (2016) donde participaron 9 astronautas, se estudia el riesgo de la rigidez arterial durante viajes espaciales mediante el análisis del metabolismo de la glucosa, donde se encontraron resultados por primera vez sobre el Modelo Homeostático de Resistencia Insulínica o HOMA-IR, por sus siglas en inglés durante estos viajes prolongados. En cuanto a la dieta y ejercicios de los astronautas, no se mencionan especificidades, sin embargo, se menciona que estos conllevan un programa habitual de ejercicios diarios y una dieta balanceada para astronautas. Se destaca que hubo un aumento de la rigidez de la arteria carótida postvuelo como parte de los resultados finales. Con respecto al metabolismo de la glucosa, los marcadores metabólicos relacionados se alteraron a causa del vuelo, donde se encontró insulina elevada, especialmente en los hombres y albumina

total elevada, especialmente en mujeres. Como conclusión se establece que la inactividad durante viajes espaciales de duración larga, en este caso de 6 meses, contribuye a la rigidez de las arterias, pero también, para mayor importancia del tema, existe evidencia de que se detectaron signos tempranos de resistencia insulínica en esta población.

Por otro lado, en los estudios de simulaciones se encontró también evidencia relacionada. En el estudio de Morgan, et al. (2012) se encuentra un aumento en la glucosa sérica tras exposición a reposo en cama durante 30 días en adultos sanos. Cabe recordar que este grupo de voluntarios no realizaba ningún tipo de ejercicios durante la simulación.

Existen evidencias que demuestran alteraciones en otros componentes del metabolismo general de los humanos durante viajes espaciales. Por ejemplo, en un estudio cuyo objetivo principal era estudiar cambios en la visión en viajes espaciales en 20 astronautas (Zwart, et al., 2012), se encontraron resultados sobre alteraciones del metabolismo del carbono-1. El metabolismo de carbono-1 abarca un número de series de caminos metabólicos donde se incluye el folato, la metionina y vitamina B12 (Clare, Brassington, Kwong, & Sinclair, 2019). En este caso, se estudia el metabolismo de la vitamina B9 o ácido fólico y vitamina B12, los cuales son vitaminas hidrosolubles de gran importancia para el mantenimiento del metabolismo del carbono-1, especialmente para procesos bioquímicos en la síntesis de ADN, aminoácidos, antioxidantes, entre otros (Lyon, Strippoli, Fang, & Cimmino, 2020). Los resultados de este estudio por Zwart, et al. (2012), demostraron concentraciones sanguíneas elevadas de: homocisteína, cistationina, ácido 2-metilcitríco y ácido metilmalónico. El aumento en concentraciones de estas enzimas debido al metabolismo del carbono-1 alterado, se relaciona con cambios a nivel oftalmológico y se evidencia en los astronautas que tuvieron cambios a

nivel visual, los cuales fueron aproximadamente un 20% del total de la población en estudio (20 astronautas).

El metabolismo resulta afectado en estudios de simulaciones de igual forma. El estudio por Florian, et al (2015), realizado en 9 voluntarios sanos, no hipertensos, no obesos y jóvenes, sometio a los participantes en una simulación de microgravedad con nutrición hipocalórica durante en 4 fases (fase normocalórica ambulatoria, fase hipocalórica ambulatoria, fase de reposo en cama normocalórica, fase de reposo hipocalórica) durante 5 meses donde se observaron diversos cambios. Uno de los principales fue el cambio en el peso corporal, ya que este disminuyó, como se muestra en la figura 6. Sin embargo, la restricción calórica redujo el estrés acumulativo, disminuyó en descanso la Actividad Simpática Nerviosa del Músculo o MSN por sus siglas en inglés y la tolerancia de presión negativa de cuerpo bajo o LBNP por sus siglas en inglés. La intolerancia ortostática puede darse en los astronautas al regresar a la Tierra, por lo que este estudio sirve de evidencia sobre la importancia de una nutrición balanceada y calóricamente apropiada para cada individuo para así evitar mayor riesgo de intolerancia ortostática en los astronautas.

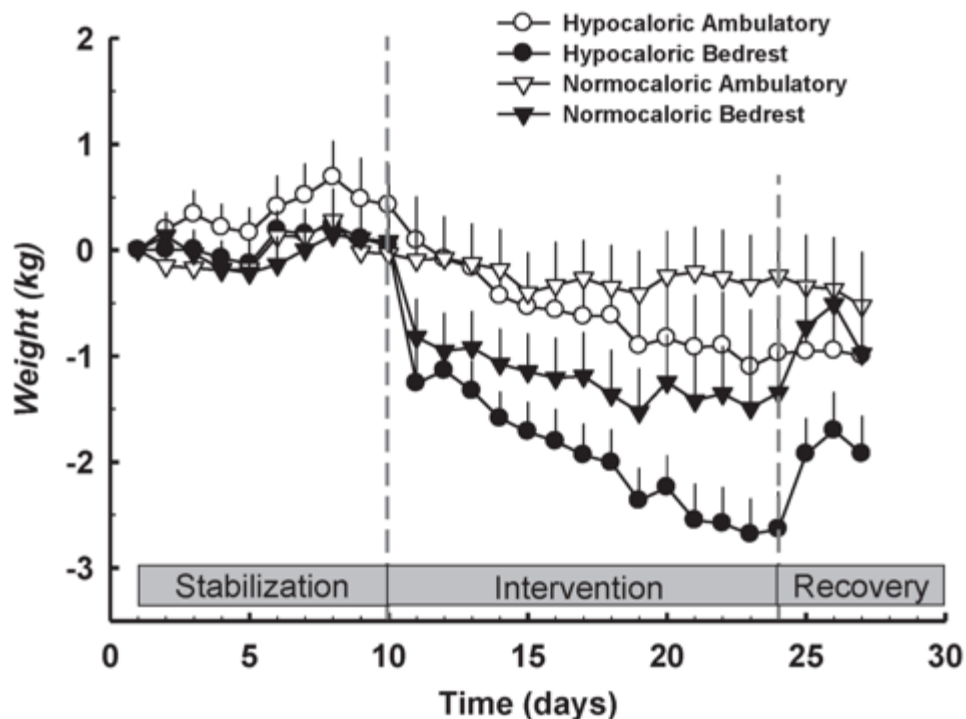


Figura 6 Cambios en peso corporal antes, durante y después de cada intervención. Se observa disminución del peso corporal según el avance de las intervenciones.

Fuente: Caloric restriction decreases orthostatic tolerance independently from 6° head-down bedrest (p.5) por Florian, et al. (2015).

En la investigación de Garret-Bakelman et al. (2019), realizada con gemelos durante un año, se logró obtener información de diversos perfiles fisiológicos de los participantes, un astronauta en la ISS y otro en base terrestre. Se realizaron pruebas bioquímicas para estudiar los cambios a nivel metabólico, transcriptómico, epigenómico, proteómico, molecular y del microbioma, al igual que la realización de pruebas cognitivas y fisiológicas para evidenciar el mayor número de cambios en el espacio y compararlos con otra persona en la Tierra. En cuanto al metabolismo se observaron que metabolitos con capacidad antiinflamatoria disminuyeron en el astronauta. En cuanto al estrés oxidativo, se observaron en el astronauta (Garret-Bakelman, et al., 2019). Por otro lado, en cuanto al peso corporal, se registró una disminución del 7% de la masa corporal del astronauta y una ganancia del 4% de masa corporal en el gemelo en la Tierra

(Garret-Bakelman, et al., 2019). Relacionando con otros estudios ya antes mencionados, en este ejemplo también se observaron cambios a nivel visual, en metabolitos séricos, en desregulación del sistema inmunitario a causa de genes alterados, cambios en la arteria carótida, cambios en la composición del microbioma, entre otros. Este estudio es un ejemplo muy completo de que las alteraciones metabólicas y nutricionales son afectan a diferentes sistemas del organismo.

Otra alteración se da en los cambios a nivel bioquímico que pueden generar mayor riesgo de padecer cálculos renales durante viajes espaciales. Según Carillo, et al (2018), se reporta que al menos un 10% de los astronautas padecen afectaciones en el sistema genitoruinario, esto según datos de 89 vuelos y 508 astronautas entre el año 1981 y 1998. Como ejemplo de este caso, en el estudio de Smith, et al (2015), se menciona un aumento en la excreción urinaria de calcio, al igual que una mayor supersaturación de otros componentes como el urato de sodio, ácido úrico, oxalato de calcio y el fosfato ácido de calcio (Smith, et al., Bone metabolism and renal stone risk during International Space Station missions, 2015). Se concluye, por lo tanto, un riesgo elevado de formación de cálculos renales, aun si los astronautas realizan ejercicios durante su viaje. Cabe destacar, que no se incluyen estudios realizados en simulaciones terrestres que demuestren un aumento del riesgo de cálculos renales en esta revisión sistemática.

5.2 Efectos en el estado nutricional

Los cambios a nivel fisiológico debido a la exposición de microgravedad y otros factores atmosféricos en el espacio pueden afectar directamente el estado nutricional del astronauta, teniendo que recurrir a modificaciones en los requerimientos nutricionales y energéticos de los mismos. Algunos de los cambios son la redistribución de líquidos corporales, pérdida de masa corporal, desmineralización ósea, alteraciones metabólicas de varios nutrientes, cambios endocrinos e inmunológicos, entre otros (Carrillo & Zepeda, 2017).

En cuanto a los resultados de los estudios, se encontraron evidencias que afirman los efectos en el estado nutricional debido a alteraciones metabólicas y nutricionales, específicamente. Según Zwart, et al. (2014), se obtuvieron datos de 25 astronautas, donde se utilizó un Cuestionario de Frecuencia de Consumo para obtener datos sobre la alimentación de los astronautas y dispositivos para medir la masa corporal para evaluar el estado nutricional. Los resultados demostraron una disminución de la ingesta calórica durante los primeros 30 días en el espacio, el cual relacionaron a los factores que afectan el metabolismo como la microgravedad. Esto equivale a una disminución entre el 3.5 y 3.8% de la masa corporal en comparación a los datos previos al viaje espacial (Zwart, et al., 2014). Se calcula que el consumo fue aproximadamente de un 80% según el requerimiento recomendado.

En el estudio de la NASA sobre los gemelos astronautas, se pueden identificar cambios en el peso corporal y el estado nutricional del sujeto en el espacio y compararlos con los datos de su hermano en la Tierra (Garret-Bakelman, et al., 2019). El cambio del peso corporal de ambos se puede ver reflejado en la figura 7, donde la línea verde refleja las fluctuaciones de masa corporal del gemelo en la Tierra y la línea azul refleja las fluctuaciones de masa corporal del astronauta, demostraron así la pérdida de masa corporal durante su estadía en el espacio. Al

realizar un análisis proteómico, se evidencia una disminución en el angiotensinogeno urinario, el cual puede correlacionarse con la disminución de masa corporal en el astronauta. Esto se debe a que la disminución del angiotensinógeno del sistema renina-angiotensina-aldosterona, disminuye en el plasma cuando hay pérdida de peso, al igual que disminuye el tejido adiposo y la presión arterial debido a esto (Engeli, et al., 2005). El consumo del astronauta fue de un 66% según lo recomendado, lo cual puede explicar la disminución de su masa corporal (Garret-Bakelman, et al., 2019).

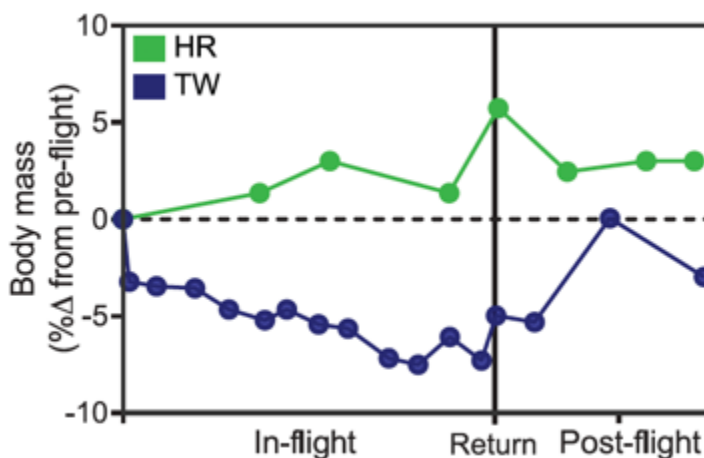


Figura 7 Cambios en peso corporal del gemelo en la Tierra (HR) y del gemelo astronauta (TW) durante el vuelo, su regreso a la Tierra y posterior al vuelo.

Fuente: The NASA Twins Study: A multidimensional analysis of a year-long human spaceflight (p.12) por Garret-Bakelman, et al. (2019).

Como ejemplo en sujetos durante simulaciones de viajes espaciales, se destaca el estudio realizado en Estados Unidos con 16 voluntarios para estudiar los efectos de una dieta vegana espacial. Se reporta que la ingesta promedio de calorías fue de 9180 kJ (2194.1 kcal), 76.4 g/d de proteínas de origen vegetal, 311 g/d de carbohidratos, 76.9 g/d de grasas, 39.9 g/d de fibra (Olabi, et al., 2015). Se suplementa con 600 mg/d de calcio y suplementos multivitamínicos diarios. Como resultados se obtuvo que el peso corporal disminuyó en un promedio de 1.7 kg,

con variación entre 0.45 y 3.18 kg, manteniéndose por debajo del peso inicial de cada sujeto durante todo el estudio (Olabi, et al., 2015). Cabe destacar que los niveles de calcio se mantuvieron por debajo del rango recomendado y lo que es fibra dietética se mantuvo una ingesta elevada. Además del peso, este estudio también analizó cambios en el humor de los participantes, y se identificó una relación entre la pérdida de peso y componentes de fatiga, sin embargo, la fatiga no se relacionó a la dieta vegana en práctica.

Es de crucial importancia también conocer la bioquímica de las personas para conocer el estado nutricional con más detalles, ya que cambios en valores sanguíneos o urinarios pueden sugerir una afectación a un sistema, órgano o incluso ayudar a diagnosticar patologías. Se mencionó anteriormente las diferentes alteraciones en valores bioquímicos tanto en población astronauta como en sujetos en simulaciones de viajes espaciales. Ambos estudios muestran cambios en los niveles séricos de la glucosa e insulina, sin embargo, existen otros componentes que se afectaron debido a la exposición de factores ambientales los cuales se relacionan con el estado nutricional.

En el estudio realizado con 9 astronautas, donde se vio afectado el metabolismo de la glucosa como se menciona anteriormente, se evidencian resultados de una afectación en el sistema de renina-angiotensina-aldosterona. Las pruebas bioquímicas realizadas en los astronautas demostraron un aumento de la renina y de la aldosterona y una disminución del PRO-ANP, los cuales pueden relacionarse con el aumento de la presión arterial en la persona y disminución de la diuresis (Hughson, et al., 2016). Por otro lado, el receptor antagonista de la interleucina-1 (IL-1ra) se elevó durante el vuelo, encargado de inhibir la acción de la interleucina-1, una célula elaborada por los leucocitos que tiene funciones inmunológicas contra

infecciones (NIH, n.d.). Los resultados mencionados se resumen en la tabla 18, con los resultados de los biomarcadores metabólicos y sanguíneos antes y posterior al vuelo.

Tabla 18.

Biomarcadores metabólicos y sanguíneos antes del viaje espacial y durante la estadía en la Estación Espacial Internacional.

	Preflight	Inflight	P Value
Glucose, mmol/l	4.2 ± 0.4	4.3 ± 0.5	ns (Sex = 0.025; Flight × Sex = 0.037)
Insulin, pmol/l	22.2 ± 9.9	33.6 ± 13.4	0.001
HOMA-IR	0.70 ± 0.37	1.10 ± 0.53	0.001 (Flight × Sex = 0.034)
Glycated albumin, %	11.6 ± 5.7	15.1 ± 4.7	0.063
IGF-1, ng/ml	82 ± 20	101 ± 29	0.002 (Flight × Sex = 0.068)
RAGE, pg/ml	267 ± 110	224 ± 114	0.035
hs-CRP, mg/l	0.63 ± 0.78	0.71 ± 1.24	ns
IL-1ra, pg/ml	269 ± 63	365 ± 74	0.009
Total antioxidants, mmol/l	2.13 ± 0.39	2.12 ± 0.33	ns
SOD, units/ml	18.7 ± 2.8	18.8 ± 2.0	ns (Flight × Sex = 0.07)
Triglycerides, mmol/l	86.8 ± 23.7	75.8 ± 17.1	0.084 (Sex × Flight = 0.028)
Cholesterol, mmol/l	188 ± 18	199 ± 20	ns
HDL, mmol/l	67.7 ± 8.5	68.4 ± 5.2	ns
LDL, mmol/l	121 ± 23	130 ± 22	ns
Renin, mg/dl	20.7 ± 32.8	23.0 ± 31.0	0.045 (Flight × Sex = 0.016)
Angiotensin II, pg/ml	4.33 ± 1.65	5.16 ± 2.67	ns
Aldosterone, pg/ml	104 ± 27	126 ± 54	0.052 (Flight × Sex = 0.010)
proANP, nmol/l	1.61 ± 0.76	0.95 ± 0.55	0.003
MMP-2, ng/ml	182 ± 17	141 ± 13	<0.001

Values are mean ± SD for $n = 8$. HOMA-IR, homeostatic model assessment of insulin resistance; IGF-1, insulin-like growth factor 1; RAGE, receptor for advanced glycation end product; hs-CRP, highly sensitive C-reactive protein; IL-1ra, interleukin-1 receptor antagonist; SOD, superoxide dismutase; HDL, high density lipoprotein cholesterol; LDL, low-density lipoprotein cholesterol; proANP, atrial natriuretic peptide; MMP-2, matrix metalloproteinase 2. *P* values are from 2-way repeated-measures ANOVA for the main effect of Flight (preflight to inflight comparison) with values in brackets for main effect of Sex and interaction effects of Flight × Sex.

Fuente: Increased postflight carotid artery stiffness and inflight insulin resistance resulting from 6-mo spaceflight in male and female astronauts (p.H632) por Hughson et al. (2016).

Con relación a los estudios de simulaciones, se encontró que ciertos valores bioquímicos sufrieron alteraciones. En el caso del estudio de reposo en cama para estudiar el metabolismo óseo de los sujetos, además de marcadores óseos alterados se encontraron otros valores que son de relevancia. En el perfil lipídico se encontró que el colesterol HDL disminuyó finalizando la simulación, el cual se relaciona con la disminución de actividad física durante la simulación (Morgan, et al., 2012). Otros valores séricos como el potasio y la transferrina también disminuyeron, sin embargo, esto ocurrió posterior al reposo. No se destaca alteración de los

electrolitos, ya que la disminución del potasio fue única. Tampoco se pudo conocer exactamente las alteraciones a nivel del hierro ya que se necesita de estudios mas prolongados. En el caso de estrés oxidativo, no se encontró mayor alteración, sin embargo, se destaca que la proteína C reactiva (PCR) aumento en el día 30 y posterior al estudio en los días 5-7 (Morgan, et al., 2012).

5.3 Medidas nutricionales

Las medidas nutricionales empleadas en cada estudio fueron diferentes en cada uno de ellos, en dependencia al objetivo y carácter de la investigación. Se resaltan algunas medidas nutricionales y de actividad física que se realizaron en los estudios incluidos en esta revisión sistemática.

En el estudio por Smith, et al (2012), se realizó una serie de ejercicios de resistencia y abordaje nutricional para evaluar su efectividad en la salud ósea de los astronautas. La totalidad de población fue de 13 astronautas separados en dos grupos según el tipo de ejercicio empleado. En ambos grupos se realiza ejercicio aeróbico y de resistencia. En la siguiente tabla se resumen los grupos de ejercicios, calorías y nutrientes destacados (tabla 19).

Tabla 19.

Datos de alimentación y ejercicios físicos en astronautas durante expediciones espaciales en la ISS entre el 2006 – 2009.

Grupos	Tipo de Ejercicios	Calorías diarias (kcal/d)	Otros nutrientes
Grupo iRED	Uso del dispositivo: Interim Resistance Exercise Device	2234 ± 363 kcal/d	Proteína: 85 ± 13 g/d y 1.12 ±.021 g/kg Calcio: 912 ± 229mg/d Sodio: 4159 ± 656 Vitamina D: 800 IU/d

Grupo ARED	Uso del dispositivo: Advanced Resistance Exercise Device	2430 ± 529 kcal/d	Proteína: 102 ± 57 g/d y 1.39 ± 0.48 g/kg Calcio: 1025 ± 309 mg/d Sodio: 5327 ± 2617 Vitamina D: 800 IU/d
------------	--	-------------------	---

Fuente: Datos obtenidos de Benefits for bone from resistance exercise and nutrition in long-duration spaceflight: Evidence from biochemistry and densitometry (p.1901) por Smith et al. (2012).

Como se puede observar en la tabla, hubo una mayor ingesta de proteínas y calorías en el grupo ARED durante los vuelos en comparación al grupo iRED. Por lo tanto, los resultados del estudio encontraron una relación donde a mayor ingesta calórica y proteica, se asocia una menor pérdida de contenido mineral óseo, por lo que se observó que en el grupo ARED, los astronautas regresaron a la Tierra con mayor masa magra y menor masa grasa. Este dato es de suma importancia, ya que se debe tomar en cuenta para futuros abordajes nutricionales en esta población como contramedida nutricional y de ejercicios contra la pérdida ósea.

Por otro lado, en un estudio realizado en el Lunar Palace 1 (LP1) en China, como estudio de simulación de viaje espacial, se somete a 3 sujetos voluntarios a una estructura dietética por medio del sistema BLSS (Bioregenerative life-support system) para evaluar su impacto en la microbiota intestinal (Hao, Li, Fu, & Liu, 2018). La dieta aplicada consistía en una dieta alta en fibra y a base de plantas principalmente, sin embargo, la carne se ofrece según los estándares para astronautas chinos. El ejercicio físico realizado por los sujetos consistía en trabajo laboral diario en la cabina. Para poder llevar los datos de la información nutricional, se realiza un registro dietético que consiste en una frecuencia de consumo antes y posterior a los días de la simulación, que en este caso tenía una duración de 105 días (Hao, Li, Fu, & Liu, 2018). Se hace uso del China Food Composition del 2009 para el cálculo de nutrientes y energía. En la

siguiente tabla se resumen los datos de los 3 sujetos y su ingesta de calorías y nutrientes (tabla 20).

Tabla 20.

Datos antropométricos, calorías y consumo de nutrientes de sujetos voluntarios en estudio durante su estadio en el Lunar Palace 1 en China.

Sujetos	Edad	IMC (kg/m ²)	Calorías diarias (kcal/d)	Calorías de Macronutrientes (%)	Gramos al día (g/d)
Sujeto A (masculino)	27 años	24.3 kg/m ²	2900.1 ± 86.9 kcal /d	Proteína: 14.2 ± 1.4 % kcal Grasa: 29.4 ± 0.7 % kcal Carbohidratos: 56.4 ± 1.1 % kcal	Proteína a base de planta: 82.2 ± 4.9 g/d Proteína animal: 18.3 ± 2.3 g/d Grasa: 91.6 ± 4.2 g/d Carbohidratos: 398.9 ± 19.2 g/d Fibra dietética: 44.5 ± 7.3 g/d
Sujeto B (femenino)	29 años	20.3 kg/m ²	1688.2 ± 56.9 kcal /d	Proteína: 14.3 ± 1.1 % kcal Grasa: 29.1 ± 0.8 % kcal Carbohidratos: 56.7 ± 1.3 % kcal	Proteína a base de planta: 49.8 ± 3.8 g/d Proteína animal: 10.4 ± 1.8 g/d Grasa: 54.4 ± 3.7 g/d Carbohidratos: 239.4 ± 18.1 g/d Fibra dietética: 28.7 ± 4.6 g/d
Sujeto C (femenino)	32 años	19.2 kg/m ²	1688.2 ± 56.9 kcal /d	Proteína: 14.3 ± 1.1 % kcal Grasa: 29.1 ± 0.8 % kcal Carbohidratos: 56.7 ± 1.3 % kcal	Proteína a base de planta: 49.8 ± 3.8 g/d Proteína animal: 10.4 ± 1.8 g/d Grasa: 54.4 ± 3.7 g/d Carbohidratos: 239.4 ± 18.1 g/d Fibra dietética: 28.7 ± 4.6 g/d

Fuente: Datos obtenidos de The influence of bioregenerative life-support system dietary structure and lifestyle on the gut microbiota: a 105-day ground-based space simulation in Lunar Palace 1 (p.38) por Hao et al. (2018).

En cuanto a los resultados se logró aumentar el consumo de proteína vegetal en un 42.5% y disminuir también la ingesta de proteína animal hasta un 51.8 %, en comparación a la ingesta previa a la simulación. La fibra dietética también aumento en un 117.3%. En cuanto a la microbiota intestinal, se pudo observar una convergencia y cambios dinámicos en las especies que habitan en el intestino similares entre los sujetos. Durante su estadio, se detecto un aumento de la diversidad del microbioma intestinal y la riqueza, debido a la dieta sometida, lo cual fue importante para mejorar la simbiosis entre los microorganismos y el hospedador. Un dato importante mencionado, es que, entre mayor riqueza y diversidad en el microbioma, mayor prevención de disminuir enfermedades no transmisibles. La relación entre *Bacteroidetes* y *Firmicutes* aumentó durante el experimento, con un aumento en el filo *Firmicutes* y reducción del filo *Bacteroidetes* (figura 8B). Se destaca también el aumento de *Lachnospira*, *Faecalibacterium*, *Blautia*, en cuanto a diversidad y abundancia (figura 9C), por lo que puede concluirse que el diferente estilo de vida y alimentación de los sujetos durante la simulación, fueron muy beneficioso para la microbiota intestinal (Hao, Li, Fu, & Liu, 2018).

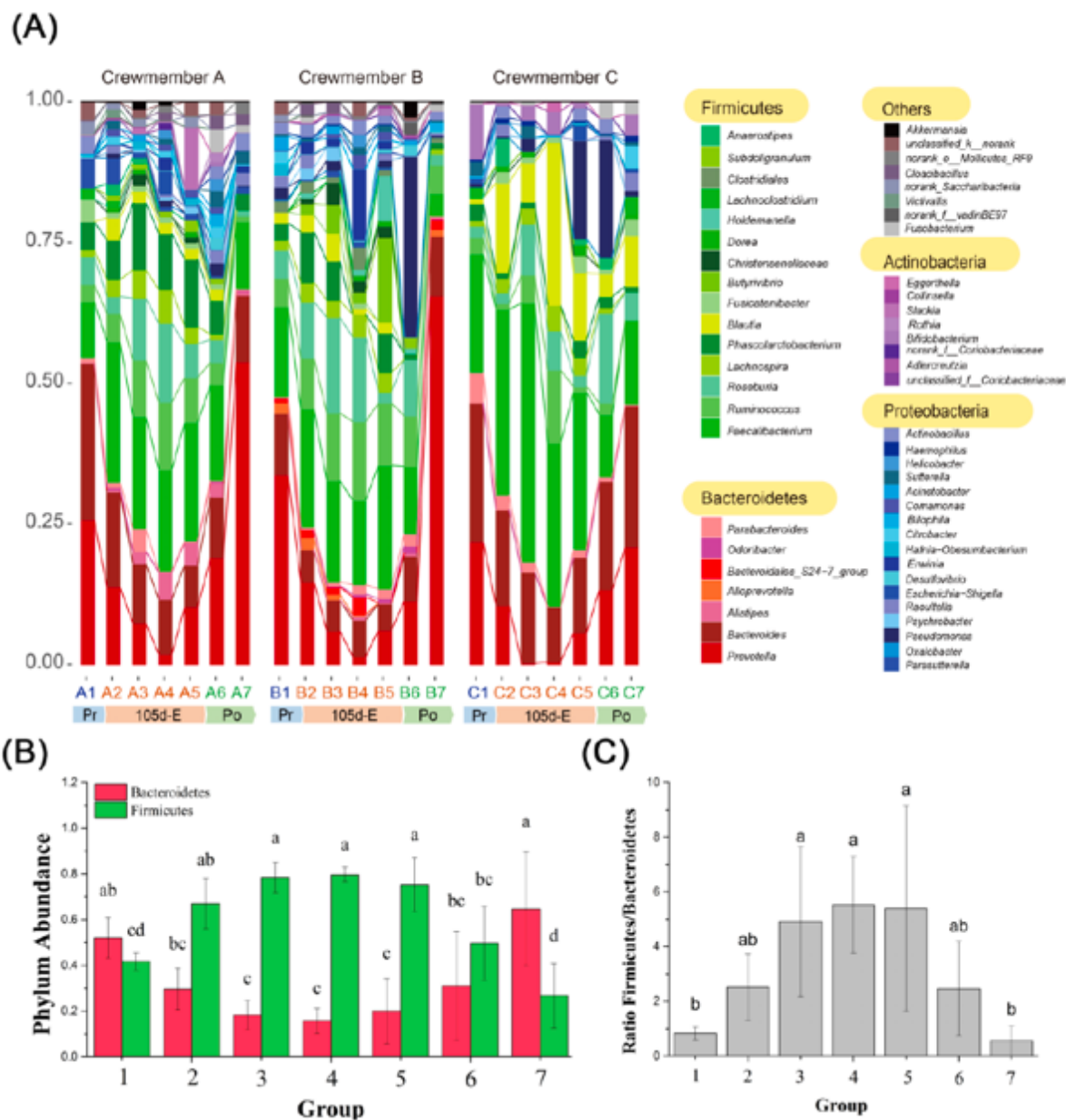


Figura 8 Análisis estadístico en la composición del microbioma. (A) El análisis estadístico multivariante reveló importantes cambios bacterianos en la adaptación a LP1. El cambio dinámico de Firmicutes, Bacteroidetes (B) y relación Firmicutes/Bacteroidetes (C) a nivel de filo entre los grupos 1-7. Las diferencias entre los grupos se evaluaron con ANOVA de una vía con la prueba de Duncan de Tukey, los datos se muestran como promedios y las barras de error representan SEM; las diferencias estadísticamente significativas se muestran con letras diferentes (a, b, c, d) ($P < 0.05$).

Fuente: The influence of bioregenerative life-support system dietary structure and lifestyle on the gut microbiota: a 105-day ground-based space simulation in Lunar Palace 1 (p.40) por Hao et al. (2018).

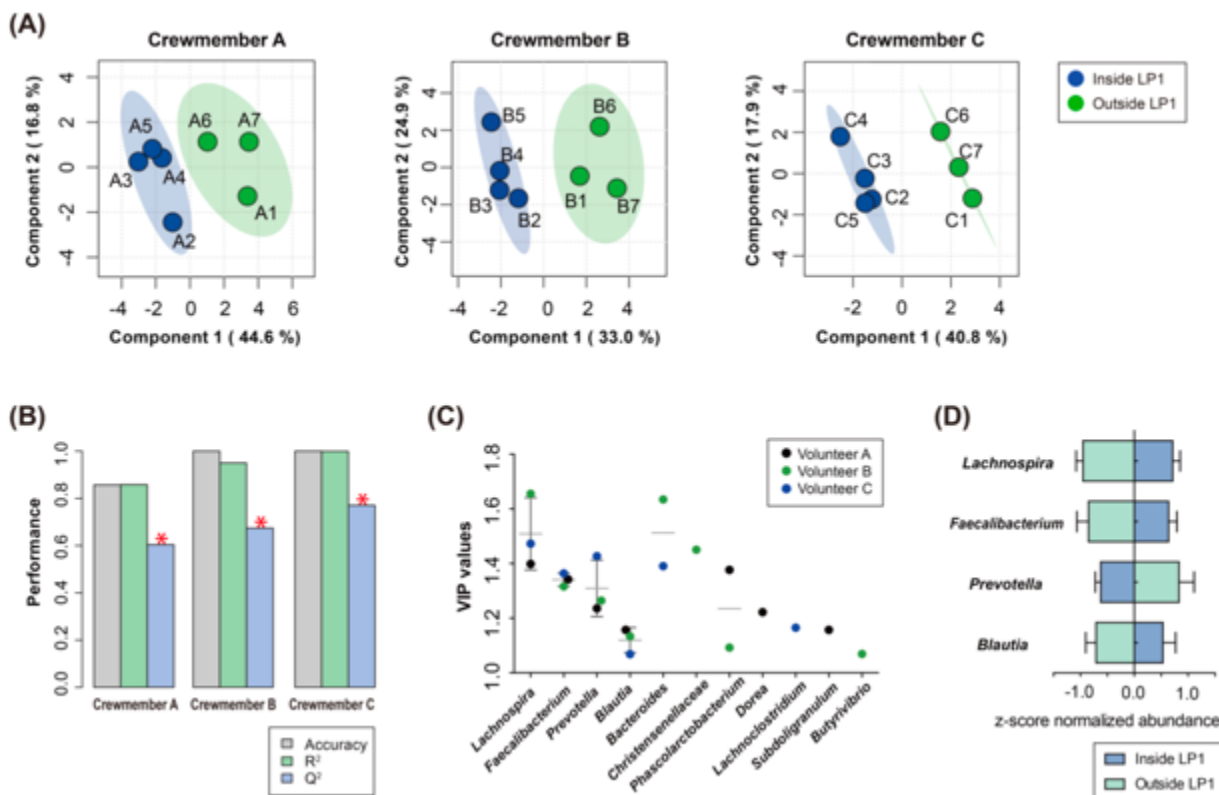


Figura 9 Resultados de PLS-DA basados en poblaciones microbianas a nivel de género. (A) Todas las muestras de cada individuo se dividieron en dos subgrupos según el estado de alojamiento, es decir, fuera de LP1 o dentro de LP1. (B) El rendimiento del modelo PLS-DA. Existen diferencias significativas en el valor de Q² ($P < 0,05$). (C) Los géneros bacterianos que se distinguieron entre dos grupos se examinaron mediante el examen de las puntuaciones de importancia variable en la proyección (VIP), $VIP > 1$ indica una fuerte correlación. La abundancia relativa de cada género se normalizó utilizando una transformación de puntuación z en una escala por individuo. (D) La abundancia normalizada de puntuación z de Lachnospira, Faecalibacterium, Prevotella, Blautia. El PLS-DA se realizó en Metaboanalyst.ca.

Fuente: The influence of bioregenerative life-support system dietary structure and lifestyle on the gut microbiota: a 105-day ground-based space simulation in Lunar Palace 1 (p.41) por Hao et al. (2018).

Otro aporte beneficioso para mejorar la alimentación de los astronautas se vió destacado con el uso de una aplicación llamada Everywear App en un estudio biomédico de Nutrition Monitoring for the International Space Station (NutRISS) llevado a cabo por la Agencia Espacial Italiana (ASI) (Girolamo, et al., 2020). Por medio de esta aplicación, se lleva a cabo un programa de ejercicios, recolección de datos antropométricos, control del peso y composición corporal,

control mensual de ingesta calórica y nutricional por medio del ESA Nutritional Assessment (ENA), valores de glucosa, insulina, lípidos, estrés oxidativo y datos de inflamación, entre otros. El uso de esta App, se llevó a cabo en el estudio con datos de 1 astronauta durante su viaje de 6 meses a la ISS entre el año 2019 y 2020. La utilización de dicha aplicación fue beneficiosa, ya que también tenía la función de disponer de recomendaciones nutricionales individualizadas al astronauta según el asesoramiento de un dietista calificado, quien posee toda la información del sujeto en todo momento. De igual forma, si se necesitan realizar ajustes a su alimentación o programa de ejercicios, el profesional puede ejecutar dichos ajustes para mejorar el estado nutricional del astronauta (Girolamo, et al., 2020).

No siempre se vieron efectivas las medidas nutricionales en los estudios. Un ejemplo que no resultó ser muy beneficioso fue el de una simulación realizada con 42 sujetos voluntarios para evaluar el riesgo de arritmias durante un reposo en cama con inclinación por 60 días. La contramedida nutricional fue de un cocktail de antioxidantes y vitaminas diaria como: 530 mg de polyfenol, 168 mg de vitamina E, 80 µg de Selenium-Solgar® y 2.1 g de Omega-3—Omacor® (Palacios, Caiani, Landreani, Martinez, & Pueyo, 2019). Con un grupo control no que no recibió dicha suplementación nutricional. De igual forma, el grupo con la contramedida nutricional realizó una serie de ejercicios físicos mientras que el grupo control no realizó dichos ejercicios. Como resultado, según Palacios et al. (2019) se vio que la medida nutricional no fue efectiva como se esperaba, sin embargo, los ejercicios físicos sí tuvieron mayor efecto, ya que pudieron revertir los efectos inducidos por la microgravedad de manera parcial en el grupo que sí realizaba los ejercicios.

Estos son algunos de los ejemplos de estudios recientes que pueden ser un marco de referencia para futuras investigaciones y propuestas para un abordaje nutricional más completo y efectivo en la población astronauta.

CAPITULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

La revisión sistemática realizada logró permitir el hallazgo de alteraciones metabólicas y nutricionales que se han evidenciado en población astronauta o en estudios realizados en simulaciones de viajes espaciales, donde se encuentra en la mayoría de los casos su relación ante afectaciones del estado nutricional.

Las características identificadas de la población suelen ser diferentes en cada misión espacial o estudio realizado, sin embargo, se encuentra que todos son adultos entre los 20 a los 50 años aproximadamente, con un estado de salud estable, donde predomina la población masculina y de diferentes partes del mundo como Estados Unidos, Francia, Alemania, Canadá, Japón, China, otros.

Las alteraciones metabólicas y nutricionales encontradas sugieren una afectación amplia a diferentes sistemas del organismo, principalmente en el metabolismo óseo, metabolismo de la glucosa, microbioma y microbiota intestinal, sistema inmunológico, al igual que cambios en la ingesta dietética.

Debido a las alteraciones identificadas, se logra identificar cambios con el estado nutricional del astronauta y los efectos que se generan tales como la disminución del peso corporal, pérdida de masa ósea y muscular, disminución del apetito, disminución en los niveles de ciertos nutrientes, alteraciones bioquímicas, cambios en el estado de ánimo, entre otros.

Al comparar los resultados de la población, se destaca una similitud en los efectos al estado nutricional en los estudios de viajes espaciales y simulaciones, los cuales aparecen como un resultado de causa y efecto ante las alteraciones metabólicas y nutricionales. Es por esto que, ciertos estudios mencionan sus estrategias nutricionales para contrarrestar algunos efectos negativos detectados, sin embargo, queda mucho por resolver.

6.2 RECOMENDACIONES

- Limitar el estudio a un tipo de alteración metabólica o nutricional específica para así realizar un análisis más exhaustivo de dicha problemática encontrada.
- Priorizar estudios que contengan mayor número de datos antropométricos y nutricionales sobre la población en estudio.
- Realizar comparaciones entre población femenina y masculina para diferenciar los efectos en el estado nutricional a causa de las alteraciones metabólicas y nutricionales encontradas.
- Analizar de manera cuantitativa y cualitativa aquellos estudios con información nutricional amplia para lograr evidenciar las fallas o beneficios que estos abordajes nutricionales puedan tener.
- Investigar a mayor profundidad los efectos de los cambios en la composición de la microbiota intestinal en esta población.
- Ampliar la investigación a estudios en más idiomas que puedan servir como ejemplos de evidencias en la población astronauta.
- Limitar la inclusión de estudios a solo aquellos que incluyan información de astronautas en viajes espaciales, ya que el creciente número de viajes puede incrementar la cantidad de estudios disponibles en los próximos años y ampliar los resultados en cuanto al ámbito nutricional.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barratt, M., Baker, E., & Pool, S. (2019). *Principles of Clinical Medicine of Space Flight* (2da edición ed.). (Springer, Ed.) Texas, EE.UU.
- Carillo, R., Carrillo, L., Villena, E., & Carillo, D. (2018). Urología en el espacio y cambios genitourinarios en el ambiente de microgravedad. *Revista Mexicana de Urologia*, 78(2), 162-167.
- Carrera, D. (2020). *¿Qué es la microbiota?* Recuperado el 06 de junio de 2022, de CMED: https://www.cmed.es/actualidad/que-es-la-microbiota-que-funciones-tiene-como-mantener-la-microbiota-sana_840.html
- Carrillo, R., & Zepeda, A. (nov/dic de 2017). *Aspectos de la nutrición en vuelos espaciales*. Recuperado el 31 de enero de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422017000600047
- Clare, C., Brassington, A., Kwong, W., & Sinclair, K. (2019). One-Carbon Metabolism: Linking Nutritional Biochemistry to Epigenetic Programming of Long-Term Development. *Annual Review of Animal Biosciences*, 7(1).
- Costa, F., Saverio, F., Beccari, T., Conte, C., Cataldi, S., Curcio, F., & Albi, E. (abril de 2021). Spaceflight Induced Disorders: Potential Nutritional Countermeasures. (G. Ciofani, Ed.) *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9(666683), 1-6. Recuperado el 31 de enero de 2022, de *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.666683>

- Crucian, B., Stowe, R., Mehta, S., Quiariarte, H., Pierson, D., & Sams, C. (2015). Alterations in adaptive immunity persist during long-duration spaceflight. *npj Microgravity*.
- Demontis, G., Hermani, M., Caiani, E., Barravecchia, I., Passino, C., & Angeloni, D. (02 de Agosto de 2017). Recuperado el 28 Enero de 2022, de US National Library of Medicine - National Institutes of Health: 10.3389/fphys.2017.00547
- Dunn, A. (04 de mayo de 2016). *Space Station Study Takes Cardiovascular Health to Heart*. Recuperado el 02 de febrero de 2022, de NASA: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/heart_health_cardio_ox
- Engeli, S., Böhnke, J., Gorzelniak, K., Janke, J., Schling, P., Bader, M., . . . Sharma, A. (01 de marzo de 2005). Weight Loss and the Renin-Angiotensin-Aldosterone System. *American Heart Association Journals*, 45(3), 356-362.
- Fabien, M., Martin, G., Gauthier, L., Alejandra, Z., Susana, P., Paola, N., & Ramadaas, B. (2020). The Firmicutes/Bacteroidetes Ratio: A Relevant Marker of Gut Dysbiosis in Obese Patients? Basel, Suiza: National Library of Medicine.
- Florian, J., Baisch, F., Heer, M., & Pawelczyk, J. (2015). Caloric restriction decreases orthostatic tolerance independently from 6° head-down bedres. *PLOS ONE*, 10(4).
- Garret-Bakelman, F., Darshi, M., Green, S., Gur, R., Lin, L., Macias, B., . . . Nasrini, J. e. (12 de abril de 2019). The NASA Twins Study: A multidimensional analysis of a year-long human spaceflight. *Science*, 364(6436).
- Girolamo, F., Biolo, G., Fiotti, N., Situlin, R., Piacenza, C., Lepore, P., . . . Piccirillo, S. (12 de mayo de 2020). The Nutriss Study: A New Approach to Calibrate Diet and Exercise in Long-Term Space Missions to Maintain Body Fat, Muscle and Fluid Homeostasis. *Aerotecnica Missili & Spazio*.

- González, L. (2019). Naturaleza (cuantitativa, cualitativa, o mixta). En L. González, *Manual: Instruccional Métodos de Investigación* (Vols. 1-19, pág. 38). San José, Costa Rica.
- Graña, T., Peña, M., Gómez, N., Santisteban, Y., & Hernández, M. (2015). Estrés oxidativo: genética, dieta y desarrollo de enfermedades. *Correo Científico Médico*, 19(4), 690-705.
- Hao, Z., Li, L., Fu, Y., & Liu, H. (octubre de 17 de 2018). The influence of bioregenerative life-support system dietary structure and lifestyle on the gut microbiota: a 105-day ground-based space simulation in Lunar Palace 1. *Environmental Microbiology*.
- Hughson, R., Robertson, A., Arbelle, P., Shoemaker, J., Rush, J., Fraser, K., & Greaves, D. (2016). Increased postflight carotid artery stiffness and inflight insulin resistance resulting from 6-mo spaceflight in male and female astronauts. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 310(5), H628-H638.
- Icaza, M. (Octubre-Diciembre de 2013). Microbiota intestinal en la salud y la enfermedad. *Revista de Gastroenterología de México*, 78(4), 240-248.
- Iwase, S., Nishimura, N., Tanaka, K., & Mano, T. (2020). Effects of Microgravity on Human Physiology . En *Beyond LEO - Human Health Issues for Deep Space Exploration*. Obtenido de <https://www.intechopen.com/chapters/70679>
- Juhl, O., Buettmann, E., Friedman, M., DeNapoli, R., Hoppock, G., & Donahue, H. (2021). *Update on the effects of microgravity on the musculoskeletal system*. (N. Microgravity, Ed.) Recuperado el 27 enero de 2022, de PubMed: 10.1038/s41526-021-00158-4
- Lafita, J. (2003). Fisiología y fisiopatología ósea. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26(3), 7-17.

- Lewis, R. (09 de febrero de 2015). *Bone and Mineral Evaluation and Analysis*. Recuperado el 07 de junio de 2022, de NASA: <https://www.nasa.gov/content/bone-and-mineral-evaluation-and-analysis>
- Li, P., Shi, J., Zhang, P., Wang, K., Li, J., Liu, H., . . . Ge, Q. (2015). Simulated microgravity disrupts intestinal homeostasis and increases colitis susceptibility. *The FASEB Journal*, 29(8), 3263-3273.
- Liu, Z., Luo, G., Du, R., Sun, W., Li, J., Lan, H., . . . al., e. (2020). Effects of spaceflight on the composition and function of the human gut microbiota. *11(4)*. Taylor & Francis Group LLC. Recuperado el 06 de junio de 2022, de PubMed: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7524348/>
- Lutzky, L. (18 de enero de 2022). ALCE: qué se sabe de la primera agencia espacial de América Latina y el Caribe. *RT*.
- Lyon, P., Strippoli, V., Fang, B., & Cimmino, L. (19 de septiembre de 2020). B Vitamins and One-Carbon Metabolism: Implications in Human Health and Disease. *Nutrients*, 12(9), 2867.
- María Moreno, J. V. (Nov/Dic de 2018). Human microbiome. *61(6)*. Obtenido de Revista de la Facultad de Medicina México: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422018000600007
- Montesinos, C., Khalid, R., Cristea, O., Greenberger, J., Epperly, M., Lemon, J., . . . Jones, J. (2021). Space Radiation Protection Countermeasures in Microgravity and Planetary Exploration. *Life (Basel)*(11), 829.

- Morgan, J., Zwart, S., Heer, M., Ploutz-Snyder, R., Ericson, K., & Smith, S. (15 de mayo de 2012). Bone metabolism and nutritional status during 30-day head-down-tilt bed rest. *Journal of Applied Physiology*, *116*(10).
- Morrison, M., Thissen, J., Karouia, F., Mehta, S., Urbaniak, C., Venkateswaran, K., . . . Jaing, C. (02 de junio de 2021). Investigation of Spaceflight Induced Changes to Astronaut Microbiomes. *Frontiers in Microbiology*, *12*(659179).
- NIH. (s.f.). *Interleucina-1*. Obtenido de Instituto Nacional del Cáncer: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/interleucina-1>
- NIH, D. d. (s.f.). *Diccionario de cáncer del NCI*. Obtenido de NIH - Instituto Nacional del Cáncer: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/buscar/metabolismo/?searchMode=Begins>
- Olabi, A., Levitsky, D., Hunter, J., Spies, R., Rovers, A., & Abdouni, L. (2015). Food and mood: A nutritional and mood assessment of a 30-day vegan space diet. *Food Quality and Preference*, *40*, 110-115.
- Palacios, S., Caiani, E., Landreani, F., Martinez, J., & Pueyo, E. (17 de diciembre de 2019). Long-Term Microgravity Exposure Increases ECG Repolarization Instability Manifested by Low-Frequency Oscillations of T-Wave Vector. *Frontiers in Physiology*, *10*(1510).
- Palinkas, L., Johnson, J., & Boster, J. (2004). Social support and depressed mood in isolated and confined environments. *ELSEVIER*, *54*(9), 639-647.
- RAE. (2014). *Diccionario de la lengua española* (23a edición ed.). (R. A. Española, Ed.) España.

- Riaño, F. (2021). La carrera espacial latinoamericana [Grabado por F. Riaño]. Colombia: El Siglo 21 es Hoy.
- Rodríguez, H. (24 de junio de 2019). *La Carrera Espacial paso a paso*. Recuperado el 01 de febrero de 2022, de National Geographic España: https://www.nationalgeographic.com.es/llegada-del-hombre-a-la-luna/carrera-espacial-paso-a-paso_14369
- Rojas, A. (diciembre de 2019). La carrera espacial: una competencia política y científica. *Boletín Observatorio Internacional*(40).
- Saavedra, J., Pinzón, M., Zúñiga, L., Ruiz, G., Leal, S., & Muñoz, F. (diciembre de 2019). *Breve descripción de algunos cambios fisiológicos en un astronauta*. Recuperado el 01 de febrero de 2022, de ANM de Colombia: <https://anmdecolombia.org.co/wp-content/uploads/2020/04/Cambios-fisio%C3%B3gicos-de-un-Astronauta.pdf>
- Saéñz, A. (2019). *Aerospace exploration in Central America. A hub for the world and outer space. Costa Rica as a pioneer in the region*. Recuperado el 31 de enero de 2022, de European Conference for Aeronautics and Space Sciences: https://web.archive.org/web/20200209234129id_/https://www.eucass.eu/doi/EUCASS2019-0981.pdf
- Scheuring, R., Charles, M., Jones, J., & Wear, M. (febrero de 2009). *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 80(2), 117-124.
- Smith, S., Heer, M., Shackelford, L., Sibonga, J., Ploutz-Snyder, L., & Zwart, S. (01 de mayo de 2012). Benefits for bone from resistance exercise and nutrition in long-duration spaceflight: Evidence from biochemistry and densitometry. *Journal of Bone and Mineral Research*, 27(9).

- Smith, S., Heer, M., Shackelford, L., Sibonga, J., Spatz, J., Pietrzyk, R., . . . Zwart, S. (diciembre de 2015). Bone metabolism and renal stone risk during International Space Station missions. *ELSEVIER*, *81*, 712-720. Recuperado el 07 de junio de 2022, de Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S8756328215003658>
- Smith, S., Zwart, S., & Heer, M. (2015). *Evidence Report: Risk Factor of Inadequate Nutrition*. Houston: NASA.
- Smith, S., Zwart, S., Douglas, G., & Heer, M. (2014). *Human Adaptation to Spaceflight: The Role of Food and Nutrition* (2da edición ed.). Houston: NASA.
- Stein, T. (2013). Weight, muscle and bone loss during space flight: another perspective. *European Journal of Applied Physiology*, 2171-2181.
- Struster, J. (abril de 2010). Behavioral Issues Associated With Long Duration Space Expeditions: Review and Analysis of Astronaut Journals Experiment 01-E104 (Journals) Phase 2 Final Report. 43-46.
- Tanaka, K., Nishimura, N., & Kawai, Y. (2016). Adaptation to microgravity, deconditioning and countermeasures. *Journal of Physiological Sciences*(67), 271-281.
- Taylor, A., Beauchamp, J., Briand, L., Heer, M., Hummel, T., Margot, C., . . . Spence, C. (18 de septiembre de 2020). *Factors affecting flavor perception in space: Does the spacecraft environment influence food intake by astronauts?* . (C. R. Safety, Ed.) Recuperado el 31 de enero de 2022, de Institute of Food Technologists - Wiley Online Library: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.12633>
- Teodori, L., Costa, A., Campanella, L., & Albertini, M. (10 de enero de 2019). *Skeletal Muscle Atrophy in Simulated Microgravity Might Be Triggered by Immune-Related microRNAs*.

- Recuperado el 06 de junio de 2022, de Frontiers:
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2018.01926/full>
- Trudel, G., Shafer, J., Laneuville, O., & Ramsay, T. (2019). *Characterizing the effect of exposure to microgravity on anemia, more space is worse*. Recuperado el 31 enero de 2022, de Journal of Hematology: 10.1002/ajh.25699
- Trumbo, P., Schlicker, S., Yates, A., & Poos, M. (2002). Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein and Aminoacids. *J Am Diet Assoc.*, 102(11), 1621-1630.
- Turrioni, S., Rampelli, S., Biagi, E., Clarissa, C., Severgnini, M., Peano, C., . . . Candela, M. (2017). Temporal dynamics of the gut microbiota in people sharing a confined environment, a 520-day ground-based space simulation, MARS500. *Microbiome*, 5(1), 39-.
- Voorhies, A., Ott, C., Mehta, S., Pierson, D., Crucian, B., Feiveson, A., . . . Lorenzi, H. (2019). Study of the impact of long-duration space missions at the International Space Station on the astronaut microbiome. *Scientific Reports*.
- Xiang, C. H. (17 de octubre de 2019). *MicroRNAs Dysregulation and Metabolism in Multiple System Atrophy*. Recuperado el 07 de junio de 2022, de Frontiers in Neuroscience: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2019.01103/full>
- Zwart, S., Gibson, C., Mader, T., Ericson, K., Ploutz-Snyder, R., Heer, M., & Smith, S. (2012). Vision Changes after Spaceflight Are Related to Alterations in Folate- and Vitamin B-12-Dependent One-Carbon Metabolism. *Journal of Nutrition*, 142(3), 427-431.

- Zwart, S., Launius, R., Coen, G., Morgan, J., Charles, J., & Smith, S. (2014). Body Mass Changes During Long-Duration Spaceflight. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 85(9), 897-2014.
- Zwart, S., Mulavara, A., Williams, T., George, K., & Smith, S. (2021). The role of nutrition in space exploration: Implications for sensorimotor, cognition, behavior and the cerebral changes due to the exposure to radiation, altered gravity, and isolation/confinement hazards of spaceflight. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*(127), 307-331.
- Zwart, S., Rice, B., Dlouhy, H., Shackelford, L., Heer, M., Koslovsky, M., & Smith, S. (08 de mayo de 2018). Dietary acid load and bone turnover during long-duration spaceflight and bed rest. *Am J Clin Nutr*, 107, 834-844. Recuperado el 07 de junio de 2022, de Pubmed: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29722847/>

ANEXOS

Anexo 1. Carta del Tutor.**CARTA DEL TUTOR**

San José, 13 de julio del 2022

Hillary Fonseca
Encargada de Tesis
Universidad Hispanoamericana

Estimada señora:

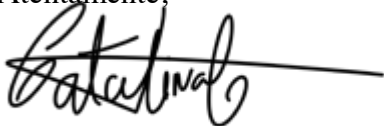
La estudiante Carmen Castillo Serrato, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **“Alteraciones metabólicas y nutricionales durante los viajes espaciales en población astronauta y su efecto en el estado nutricional: una revisión sistemática”** el cual ha elaborado para optar por el grado académico de licenciatura en Nutrición. En mi calidad de tutora, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por las postulantes, se obtiene la siguiente calificación:

a)	ORIGINAL DEL TEMA	10%	10%
b)	CUMPLIMIENTO DE ENTREGA DE AVANCES	20%	20%
c)	COHERENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS, LOS INSTRUMENTOS APLICADOS Y LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	30%	20%
d)	RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20%	20%
e)	CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEORICO	20%	20%
	TOTAL	100	100

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,



Catalina Capitán Jiménez, M.Sc
3-408-927
Carné Profesional: 46070

Anexo 2. Carta del Lector.

San José, 17 de agosto 2022

Departamento de registro

Carrera de Nutrición

Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

La estudiante Carmen Castillo Serrato, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **“Alteraciones metabólicas y nutricionales durante los viajes espaciales en población astronauta y su efecto en el estado nutricional: una revisión sistemática”** el cual ha elaborado para optar por el grado de licenciatura en nutrición humana.

He verificado que se han incluido las observaciones y hecho las correcciones indicadas, durante el proceso de lectura y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación: antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos, conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos por el postulante implican la siguiente calificación

a)	Originalidad del tema	10	10
b)	Cumplimiento de entrega de avances	20	20
c)	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación	30	30
d)	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones	20	20
e)	Calidad, detalle del marco teórico	20	20
	TOTAL		100

Por consiguiente, se avala el traslado de la tesis al proceso de Filólogo
Atentamente,



MBA. Sonia Espinoza Delgado, cédula 111770317 - CPN 1335-13

Anexo 3. Declaración Jurada.

DECLARACIÓN JURADA

Yo Carmen María Castillo Serrato, pasaporte de identidad número C 0 1 4 7 2 4 5 3, en condición de egresado de la carrera de Nutrición de la Universidad Hispanoamericana, y advertido de las penas con las que la ley castiga el falso testimonio y el perjurio, declaro bajo la fe de juramento que dejo rendido en este caso, que mi trabajo de graduación, para optar por el título de Licenciatura de Nutrición titulado Alteraciones metabólicas y nutricionales durante los viajes espaciales en población astronauta y su efecto en el estado nutricional (revisión sistemática), es una obra original y para su realización he respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derechos de Autor y Derecho Conexos, número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; especialmente el numeral 70 de dicha ley en el que se establece: “Es permitido citar a aun autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que estos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original.” Asimismo, que conozco y acepto que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

Firmo, en fe de lo anterior, en la ciudad de Aranjuez, el día 17 del mes 08 del año dos mil veintidós.

CarmenMa.Castillo

Firma del estudiante

Identificación: C 0 1 4 7 2 4 5 3

Anexo 4. Carta de Autorización.

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACION DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LOS
TRABAJOS FINALES DE GRADUACIÓN**

San José, 29 de junio de 2022

Señores:

Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Carmen María Castillo Serrato con número de identificación C 0 1 4 7 2 4 5 3 autor (a) del trabajo de graduación titulado “Alteraciones metabólicas y nutricionales durante los viajes espaciales en población astronauta y su efecto en el estado nutricional (revisión sistemática)” presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar por el título de Licenciatura en Nutrición; si autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

CarmenMa.Castillo

Carmen María Castillo Serrato
C 0 1 4 7 2 4 5 3

LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y PERMITIR LA CONSULTA Y USO

Parte 1. Términos de la licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional

Como titular del derecho de autor, confiero al Centro de Información Tecnológico (CENIT) una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, el autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito.
- b) Autoriza al Centro de Información Tecnológico (CENIT) a publicar la obra en digital, los usuarios puedan consultar el contenido de su Trabajo Final de Graduación en la página Web de la Biblioteca Digital de la Universidad Hispanoamericana
- c) Los autores aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) Los autores manifiestan que se trata de una obra original sobre la que tienen los derechos que autorizan y que son ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante el Centro de Información Tecnológico (CENIT) y ante terceros. En todo caso el Centro de Información Tecnológico (CENIT) se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- e) Autorizo al Centro de Información Tecnológica (CENIT) para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- f) Acepto que el Centro de Información Tecnológico (CENIT) pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- g) Autorizo que la obra sea puesta a disposición de la comunidad universitaria en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las “Condiciones de uso de estricto cumplimiento” de los recursos publicados en Repositorio Institucional.

SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DEL CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT), EL AUTOR GARANTIZA QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.

Anexo 5. Tabla de Excel inicial para estudios relacionados al tema como primer filtro de la revisión sistemática.

Número	Buscador	Título del Artículo	Fecha de Publicación	Enlace electrónico o Doi
16	PubMed	Meal replacement in isolated and confined mission environments: Consumption, acceptability, and implications for physical and behavioral health	Mayo 2020	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32068108/
17	PubMed	Effects of spaceflight on the composition and function of the human gut microbiota	Enero 2020	https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7524348/
18	PubMed	Spaceflight Induced Disorders: Potential Nutritional Countermeasures	2021	https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8096993/pdf/fbioe09-666683.pdf
19	PubMed	The Role of Nutritional Research in the Success of Human Space Flight	2013	https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3771136/pdf/521.pdf
20	PubMed	The role of nutrition in space exploration: Implications for sensorimotor, cognition, behavior and the cerebral changes due to the exposure to radiation, altered gravity, and isolation/confinement hazards of spaceflight	Ago 2021	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0149763421001858?via%3Dihub
21	Research Gate	Cardiovascular function and basics of physiology in microgravity	2005	https://www.researchgate.net/publication/7854642_Cardiovascular_function_and_basics_of_physiology_in_microgravity
22	PubMed	Simulated microgravity disturbs iron metabolism and distribution in humans: Lessons from dry immersion, an innovative ground-based human model	2020	https://faseb.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1096/fj.202001199RR
23	Research Gate	Uzay Uçuşlarında Astronot Beslenmesi ve Sağlıkla İlişkisi Astronaut Nutrition and Its Relation to Health in Space Flight	2020	https://www.researchgate.net/publication/348566193_Uzay_Ucuslarinda_Astronot_Beslenmesi_ve_Saglikla_Ilişkisi_Astronaut_Nutrition_and_Its_Relation_to_Health_in_Space_Flight

Anexo 6. Tabla de Excel como base de datos para estudios tras el segundo filtro para la elegibilidad.

Número Buzcador	Título del Artículo	Variable: Características del Astronauta				Variable: Alteraciones Metabólicas y/o Nutricionales					Variable: Estado Nutricional					Objetivo del Estudio	Duración	Metodología	Resultados	Conclusión	Simulación o Viaje Espacial	Tipo de Estudio	Fecha	Eligibilidad	Razón	Autor
		# de Muestra	Sexo	Edad	País	Metabólico	Macronutrientes	Micronutrientes	Daño o Estrés Oxidativo	Deficiencias	Peso Corporal	Altura	IMC	Alimentación	Actividad Física											
1	Long-Term Microgravity Experimentation: 2021 Spaceflight, 2022 Spaceflight, 2023 Spaceflight, 2024 Spaceflight, 2025 Spaceflight, 2026 Spaceflight, 2027 Spaceflight, 2028 Spaceflight, 2029 Spaceflight, 2030 Spaceflight	Se describen los aspectos de los vuelos espaciales de larga duración, incluyendo los desafíos fisiológicos y psicológicos que enfrentan los astronautas durante estas misiones.	Varios	Colaboración de varios países	N/A	N/A	Se describen los aspectos de los vuelos espaciales de larga duración, incluyendo los desafíos fisiológicos y psicológicos que enfrentan los astronautas durante estas misiones.	N/A	N/A	Colaboración de varios países	Colaboración de varios países	N/A	N/A	N/A	N/A	Se describen los aspectos de los vuelos espaciales de larga duración, incluyendo los desafíos fisiológicos y psicológicos que enfrentan los astronautas durante estas misiones.	12 meses	Observacional	Se describen los aspectos de los vuelos espaciales de larga duración, incluyendo los desafíos fisiológicos y psicológicos que enfrentan los astronautas durante estas misiones.	Se describen los aspectos de los vuelos espaciales de larga duración, incluyendo los desafíos fisiológicos y psicológicos que enfrentan los astronautas durante estas misiones.	Simulación	Artículo de Investigación	2019	SI		Palumbo, S., Cohen, J., Landman, J., ...
2	Metabolic Adaptations to Microgravity: A Systematic Review of the Literature	Se describen las adaptaciones metabólicas que ocurren en los astronautas durante los vuelos espaciales de larga duración.	Varios	Colaboración de varios países	N/A	N/A	Se describen las adaptaciones metabólicas que ocurren en los astronautas durante los vuelos espaciales de larga duración.	N/A	N/A	Colaboración de varios países	Colaboración de varios países	N/A	N/A	N/A	N/A	Se describen las adaptaciones metabólicas que ocurren en los astronautas durante los vuelos espaciales de larga duración.	12 meses	Observacional	Se describen las adaptaciones metabólicas que ocurren en los astronautas durante los vuelos espaciales de larga duración.	Se describen las adaptaciones metabólicas que ocurren en los astronautas durante los vuelos espaciales de larga duración.	Simulación	Artículo de Investigación	2019	SI		Teasdale, J., ...
3	Neurological Adaptations to Microgravity: A Systematic Review of the Literature	Se describen las adaptaciones neurológicas que ocurren en los astronautas durante los vuelos espaciales de larga duración.	Varios	Colaboración de varios países	N/A	N/A	Se describen las adaptaciones neurológicas que ocurren en los astronautas durante los vuelos espaciales de larga duración.	N/A	N/A	Colaboración de varios países	Colaboración de varios países	N/A	N/A	N/A	N/A	Se describen las adaptaciones neurológicas que ocurren en los astronautas durante los vuelos espaciales de larga duración.	12 meses	Observacional	Se describen las adaptaciones neurológicas que ocurren en los astronautas durante los vuelos espaciales de larga duración.	Se describen las adaptaciones neurológicas que ocurren en los astronautas durante los vuelos espaciales de larga duración.	Simulación	Artículo de Investigación	2021	SI		Morales, M., ...