



**FACULTADE DE CIENCIAS**

**GRAO EN BIOQUÍMICA**

**D.<sup>a</sup> María Rodríguez Padrón**

**ESTUDIO DE LOS POLIMORFISMOS GENÉTICOS  
IMPLICADOS EN EL BALANCE DE MICRONUTRIENTES**

**ESTUDO DOS POLIMORFISMOS XENÉTICOS  
IMPLICADOS NO BALANCE DE MICRONUTRIENTES**

**STUDY OF GENETIC POLYMORPHISMS INVOLVED IN  
THE BALANCE OF MICRONUTRIENTS**

Traballo Fin de Grao

*Xuño 2024*

*A mis padres, por apoyarme durante todo el camino y por haber creído en mi incluso aunque yo no lo hiciera. Estaré eternamente agradecida con vosotros por haberme convertido en la persona que soy.*

*A mis titos, por haberme mostrado vuestro cariño de manera incondicional y por quererme siempre.*

*A Delu, por darme fuerza y paz mental durante todos estos años. Eres, has sido y siempre serás mi lugar seguro y, si he llegado hasta aquí, es gracias a ti.*

*Y, sobre todo, al recuerdo imborrable de Laila. Todos mis logros estarán dedicados a ti. Te quiero y te echo de menos.*

# ÍNDICE

---

ÍNDICE DE TABLAS.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ABREVIATURAS.....	6
RESUMEN.....	7
RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 La nutrición personalizada: importancia y objetivos.....	1
1.2 La nutrigenómica y la nutrigenética.....	2
1.3 Las variantes genéticas: clasificación, aplicaciones y asociación con enfermedades.....	3
1.4 Micronutrientes.....	5
1.4.1 Las vitaminas.....	6
1.4.2 Los minerales.....	11
1.5 Test nutrigenéticos: importancia y valor en las dietas personalizadas.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	17
3.1 Diseño del estudio.....	17
3.2 Genotipado y selección de SNPs.....	17
3.2.1 Test nutrigenético.....	17
3.2.2 Selección de SNPs.....	19
3.3 Evaluación de la dieta y la actividad física.....	20
3.3.1 Recuerdo de 24 horas y análisis de la dieta.....	20
3.3.2 Cuestionario sobre la actividad física.....	21
3.4 Bioimpedancia.....	21
3.4.1 Mediciones antropométricas.....	22
3.5 Gasto Energético Total.....	22
3.6 Implicaciones bioéticas y protección de datos.....	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1 Valoración del estado nutricional.....	25
4.1.1 Mediciones antropométricas.....	25
4.1.2 Resultados de bioimpedancia.....	25
4.1.3 Resultados del Gasto Energético Total.....	26
4.1.4 Análisis de la dieta.....	28
4.2 Análisis de polimorfismos.....	32

4.3	Informe nutrigenético .....	42
5.	CONCLUSIONES .....	44
6.	BIBLIOGRAFÍA .....	45
7.	ANEXOS .....	56
	<b>ANEXO I: CONSENTIMIENTO INFORMADO AL VOLUNTARIO .....</b>	<b>56</b>
	<b>ANEXO IV: INFORME FAVORABLE AL COMITÉ DE BIOÉTICA DE LA USC.....</b>	<b>72</b>
	<b>ANEXO V: CONSENTIMIENTO INFORMADO DE LA EMPRESA 24GENETICS.....</b>	<b>73</b>
	<b>ANEXO VI: RESULTADOS DE BIOIMPEDANCIA EN RELACIÓN A LA COMPOSICIÓN CORPORAL .....</b>	<b>74</b>
	<b>ANEXO VII: RESULTADOS DE BIOIMPEDANCIA EN RELACIÓN AL AGUA CORPORAL.....</b>	<b>75</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tipos de SNPs según su posición en el genoma (Basada en Checa Caratachea, 2007) ..	4
<b>Tabla 2.</b> Vitaminas hidrosolubles y liposolubles (Elaboración propia).....	7
<b>Tabla 3.</b> Datos del voluntario NHA0.....	17
<b>Tabla 4.</b> Mediciones antropométricas del voluntario NHA0 .....	25
<b>Tabla 5.</b> Datos sobre la composición corporal del voluntario NHA0.....	25
<b>Tabla 6.</b> Datos sobre el agua corporal del voluntario NHA0.....	26
<b>Tabla 7.</b> Datos utilizados para el cálculo del PAL entre semana.....	27
<b>Tabla 8.</b> Datos utilizados para el cálculo del PAL del fin de semana .....	27
<b>Tabla 9.</b> Niveles vitamínicos en la dieta del voluntario NHA0 (Elaboración propia a partir de Calleja et al., 2024).....	30
<b>Tabla 10.</b> Niveles minerales en la dieta del voluntario NHA0 (Elaboración propia a partir de Calleja et al., 2024).....	31
<b>Tabla 11.</b> SNPs que afectan a vitaminas liposolubles .....	33
<b>Tabla 12.</b> SNPs que afectan a vitaminas hidrosolubles.....	36
<b>Tabla 13.</b> SNPs que afectan a minerales .....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Componentes bioactivos de los alimentos y su relación con la nutrigenética y nutrigenómica (Elaboración propia) .....	3
<b>Figura 2.</b> Clasificación de SNPs en función de su localización en el genoma (Modificada a partir de Checa Caratachea, 2007) .....	5
<b>Figura 3.</b> La vitamina D ejerce sus efectos biológicos a través del receptor de vitamina D (Tomada de Delrue & Speeckaert, 2023).....	8
<b>Figura 4.</b> Test "all-in-one" para la toma de muestras.....	18
<b>Figura 5.</b> Equipo de bioimpedancia InBody S10.....	21

## ABREVIATURAS

---

- **ACT:** Agua Corporal Total.
- **AEC:** Contenido de Agua Extracelular.
- **AESAN:** Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición.
- **AF:** Actividad física.
- **AIC:** Contenido de Agua Intracelular.
- **ADN:** Ácido desoxirribonucleico.
- **ARN:** Ácido ribonucleico.
- **CASR:** Receptor Sensor de Calcio.
- **EFSA:** Autoridad europea de Seguridad Alimentaria.
- **FESNAD:** Federación Española de Sociedades de Nutrición, Alimentación y Dietética.
- **GET:** Gasto Energético Total.
- **GWAS:** *Genome-wide association study*.
- **IMC:** Índice de Masa Corporal.
- **PAL:** *Physical Activity Level*.
- **PAR:** *Physical Activity Ratio*.
- **PLP:** piridoxal fosfato.
- **SEEDO:** Sociedad Española de Obesidad.
- **SNP:** *Single Nucleotide Polymorphism*.
- **VDR:** Receptor de Vitamina D.

# RESUMEN

---

## **Estudio de los polimorfismos genéticos implicados en el balance de micronutrientes**

La nutrición personalizada está centrada en la adaptación de la dieta en función de características individuales. Para ello, la nutrigenética se encarga de estudiar la forma en la que las variantes genéticas, principalmente polimorfismos de un solo nucleótido (SNP), influyen en la respuesta de un individuo a la dieta. Algunas de estas variantes están asociadas con distintas respuestas al aporte dietético de micronutrientes, elementos esenciales que requieren los seres vivos en pequeñas cantidades para realizar funciones metabólicas y fisiológicas vitales. El objetivo de este trabajo es elaborar un informe nutrigenético para un voluntario, centrándose en aquellos polimorfismos relacionados con los niveles micronutrientes (vitaminas y minerales). Para ello, se utilizaron herramientas de valoración nutricional clásicas, como la antropometría y la bioimpedancia, un recuerdo dietético de 24 horas y un cuestionario sobre la actividad física y hábitos dietéticos del voluntario. Por otro lado, se realizó un test nutrigenético salivar y se seleccionaron y analizaron 24 SNPs relacionados con el metabolismo de las vitaminas y los minerales. Los resultados obtenidos a partir de la dieta del voluntario reflejaron desequilibrios en los niveles de vitaminas y minerales consumidos. Los niveles de vitamina A, D, K1, B3 y C fueron bajos mientras que los de vitamina E, B12 y folatos fueron elevados. En cuanto a los valores minerales, resultaron altos en todos los casos. Además, el voluntario presenta algunos polimorfismos relacionados con desequilibrios en los niveles de estos micronutrientes. Es el caso del SNP rs14654748, que se asocia con niveles bajos de vitamina B6 en sangre; el SNP 1570669, asociado con una mayor degradación de la forma activa de la vitamina D y el SNPrs855791, relacionado con una baja absorción del hierro. En función de los resultados obtenidos, se realizó un informe nutrigenético con recomendaciones dietéticas orientadas a regular los niveles de vitaminas y minerales para garantizar una salud óptima y la prevención de ciertas enfermedades.

**Palabras clave:** *nutrigenética, vitaminas, minerales, polimorfismos, dieta, informe nutrigenético.*

# RESUMO

---

## **Estudo dos polimorfismos xenéticos implicados no balance de micronutrientes**

A nutrición personalizada céntrase na adaptación da dieta en función das características individuais. Para iso, a nutrixenética encárgase de estudar a forma en que as variantes xenéticas, principalmente os polimorfismos de nucleótido único (SNP), inflúen na resposta dun individuo á dieta. Algunhas destas variantes están asociadas a diferentes respostas á inxestión alimentaria de micronutrientes, elementos esenciais que os seres vivos precisan en pequenas cantidades para realizar funcións metabólicas e fisiolóxicas vitais. O obxectivo deste traballo é elaborar un informe nutrixenético para un voluntario, centrándose naqueles polimorfismos relacionados cos niveis de micronutrientes (vitaminas e minerais). Para iso utilizáronse ferramentas clásicas de avaliación nutricional, como antropometría e bioimpedancia, un recordo dietético de 24 horas e un cuestionario sobre a actividade física e os hábitos alimentarios do voluntario. Por outra banda, realizouse unha proba nutrixenética salival e seleccionáronse e analizáronse 24 SNP relacionados co metabolismo de vitaminas e minerais. Os resultados obtidos da dieta do voluntario reflectiron desequilibrios nos niveis de vitaminas e minerais consumidos. Os niveis de vitamina A, D, K1, B3 e C foron baixos mentres que os de vitamina E, B12 e folatos foron altos. En canto aos valores minerais, foron elevados en todos os casos. Ademais, o voluntario presenta algúns polimorfismos relacionados con desequilibrios nos niveis destes micronutrientes. É o caso do SNP rs14654748, que está asociado a baixos niveis de vitamina B6 no sangue; SNP 1570669, asociado cunha maior degradación da forma activa da vitamina D e SNPrs855791, relacionado coa baixa absorción de ferro. A partir dos resultados obtidos, elaborouse un informe nutrixenético con recomendacións dietéticas destinadas a regular os niveis de vitaminas e minerais para garantir unha saúde óptima e a prevención de determinadas enfermidades.

**Palabras clave:** *nutrixenética, vitaminas, minerais, polimorfismos, dieta, informe nutrixenético.*

# ABSTRACT

---

## **Study of genetic polymorphisms involved in the balance of micronutrients**

Personalized nutrition focuses on adapting the diet based on individual characteristics. To do this, nutrigenetics is responsible for studying the way in which genetic variants, mainly single nucleotide polymorphisms (SNP), influence an individual's response to diet. Some of these variants are associated with different responses to the dietary intake of micronutrients, essential elements that living beings require in small quantities to perform vital metabolic and physiological functions. The objective of this work is to prepare a nutrigenetic report for a volunteer, focusing on those polymorphisms related to micronutrient levels (vitamins and minerals). To do this, classic nutritional assessment tools were used, such as anthropometry and bioimpedance, a 24-hour dietary recall and a questionnaire on the volunteer's physical activity and dietary habits. On the other hand, a salivary nutrigenetic test was performed and 24 SNPs related to the metabolism of vitamins and minerals were selected and analyzed. The results obtained from the volunteer's diet reflected imbalances in the levels of vitamins and minerals consumed. Levels of vitamin A, D, K1, B3 and C were low while those of vitamin E, B12 and folates were high. As for the mineral values, they were high in all cases. In addition, the volunteer presents some polymorphisms related to imbalances in the levels of these micronutrients. This is the case of the SNP rs14654748, which is associated with low levels of vitamin B6 in the blood; SNP 1570669, associated with greater degradation of the active form of vitamin D and SNPrs855791, related to low iron absorption. Based on the results obtained, a nutrigenetic report was prepared with dietary recommendations aimed at regulating the levels of vitamins and minerals to guarantee optimal health and the prevention of certain diseases.

**Key words:** *nutrigenetics, vitamins, minerals, polymorphisms, diet, nutrigenetic report.*

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 La nutrición personalizada: importancia y objetivos

La ingesta de alimentos no debería relacionarse solamente con la prevención de enfermedades carenciales sino también con una salud y un bienestar óptimos teniendo en cuenta las características individuales de cada persona (Palou, 2007). Esta afirmación se sustenta con el conocimiento cada vez mayor de las bases moleculares de las interacciones que se dan entre los alimentos y el organismo humano.

La nutrición personalizada, también llamada “nutrición de precisión”, se define como el conjunto de todas aquellas variantes metodológicas utilizadas para diseñar una dieta adecuada para cada individuo en función de una serie de factores tales como su genética, su estilo de vida, sus necesidades o sus objetivos (Marcum, 2020). En lugar de utilizar las recomendaciones nutricionales generales que están destinadas a toda la población, la nutrición personalizada tiene como principal cometido la identificación de características únicas de cada persona para elaborar, consecuentemente, un plan nutricional adecuado.

Algunos de los principales objetivos de la nutrición personalizada se recogen a continuación:

- 1. Mejorar la salud y el bienestar individual:** se pretende seleccionar los nutrientes más apropiados para cada individuo en función de su genética, su metabolismo, su actividad física y sus preferencias alimentarias (Palou, 2007).
- 2. Prevención y tratamiento de enfermedades:** se trata de tipificar biomarcadores nutrigenéticos para promover una dieta y un estilo de vida óptimos para cada persona a la hora de prevenir el desarrollo de determinadas enfermedades (Zeng et al., 2023).
- 3. Mejorar el rendimiento deportivo:** al adaptar la dieta a sus necesidades, los atletas pueden optimizar su rendimiento deportivo, maximizar su recuperación y favorecer el crecimiento muscular, así como reducir el riesgo de lesiones (Tipton, 2015).
- 4. Apoyar el bienestar emocional y la salud mental:** la nutrición personalizada permite el tratamiento de trastornos alimentarios y tiene un impacto positivo en la salud mental ya que engloba aspectos tales como el estrés, la ansiedad y la depresión, factores que se encuentran relacionados con cambios específicos en la dieta y en el estilo de vida (Kris-Etherton et al., 2021).

## 1.2 La nutrigenómica y la nutrigenética

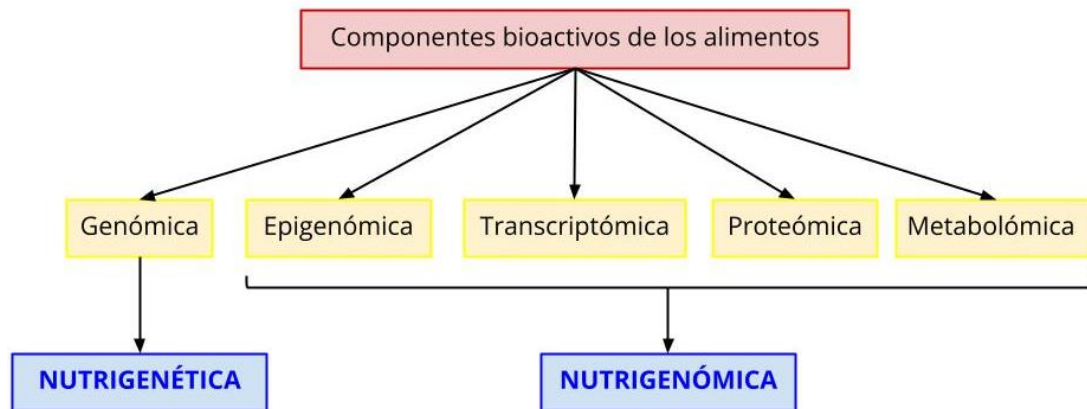
La nutrigenómica es una disciplina que estudia la capacidad de los nutrientes para modular los mecanismos moleculares subyacentes a las funciones fisiológicas del organismo. Su objetivo es investigar el impacto de la dieta y de la nutrición en la expresión genética, especialmente a través de la epigenómica, la transcriptómica, la proteómica y la metabolómica (Marti et al., 2005).

Aun así, a la hora de avanzar hacia una nutrición personalizada, la investigación ha estado mayormente centrada en el campo de la nutrigenética. La nutrigenética se define como un ámbito científico que se centra en comprender aquellos procesos en los que las variantes genéticas de un individuo influyen en la respuesta producida a la dieta. El principal objetivo de esta área de conocimiento es la identificación y caracterización de todas aquellas variantes genéticas que están implicadas en el metabolismo de los nutrientes y el desarrollo de enfermedades relacionadas con la nutrición (Fenech et al., 2011).

En esta disciplina se estudian principalmente los polimorfismos de un solo nucleótido (SNP), en los que se produce un cambio de un nucleótido por otro. Además, también se analizan otras modificaciones genéticas como las variaciones del número de copias de segmentos específicos de ADN, las repeticiones nucleotídicas, las inserciones, las deleciones o la longitud de los telómeros (Ramírez-Bello et al., 2013). La asociación entre variantes genéticas y determinadas enfermedades relacionadas con la nutrición como la Diabetes Mellitus tipo II o la obesidad suele realizarse a través de estudios de asociación de genoma completo (GWAS) (Pervjakova et al., 2022).

Una vez obtenida la información pertinente, los estudios experimentales en nutrigenómica utilizan ensayos ómicos para la identificación de características específicas de todos aquellos mecanismos implicados en relación al impacto de la dieta sobre la expresión genética (Marcum, 2020).

Los componentes bioactivos de los alimentos, como las vitaminas y los minerales, realizan un papel muy importante en la relación entre la nutrigenética y la nutrigenómica. Dichos componentes interactúan con el material genético, modulan la expresión génica y, consecuentemente, afectan al metabolismo celular (Mierziak et al., 2021). Las disciplinas que se engloban dentro de la nutrigenética y la nutrigenómica así como su relación con los componentes bioactivos de los alimentos se recogen en la Figura 1.



**Figura 1.** Componentes bioactivos de los alimentos y su relación con la nutrigenética y nutrigenómica (Elaboración propia)

### 1.3 Las variantes genéticas: clasificación, aplicaciones y asociación con enfermedades

El genoma humano contiene más de 20000 genes responsables de la codificación de proteínas. Un gen es la unidad básica de herencia, la cual es transmitida desde los progenitores a la descendencia. Los genes contienen la información necesaria para la especificación de rasgos físicos y biológicos. La gran mayoría de los genes son codificantes para proteínas específicas, o segmentos de las mismas, las cuales llevan a cabo diferentes funciones en el cuerpo (Portin & Wilkins, 2017).

El genoma no es estático, sino que está en constante evolución. La variabilidad fenotípica de cada persona, así como su susceptibilidad o la resistencia individual a distintas enfermedades radica principalmente en los SNPs. Dicha variabilidad está también ligada en menor medida otro tipo de variaciones genéticas como las inserciones, deleciones, secuencias repetidas y/o arreglos cromosómicos. El ADN está expuesto a numerosas alteraciones genéticas que pueden ocasionar la aparición de enfermedades (Brookes, 1999).

Las variaciones causadas por los SNPs dan lugar a la existencia de diferentes alelos y, para considerar un SNP como tal, el alelo menos frecuente debe encontrarse en, al menos, un 1% de la población. Los SNPs no son mutaciones, surgen a partir de procesos evolutivos consolidados y son la forma más simple de variación del ADN entre individuos. Además, son los principales responsables de la diversidad, la evolución del genoma, los rasgos familiares comunes o las diferencias interindividuales en la respuesta a medicamentos (Shastry, 2009).

Los SNP que se encuentran dentro de una región codificante pueden ser clasificados en las siguientes categorías:

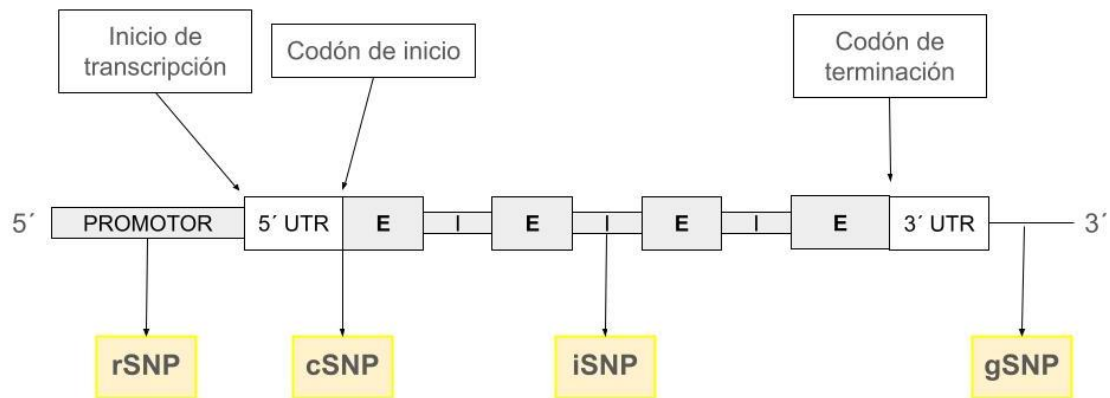
- **SNPs sinónimos:** son aquellos que no alteran la secuencia aminoacídica de la proteína codificada. También son llamados SNPs silenciosos (R. Chen et al., 2010).
- **SNPs no sinónimos:** son aquellos en los que el cambio nucleotídico da lugar a una sustitución de un aminoácido en la secuencia codificada. De esta forma, se puede producir un cambio en la función de dicha proteína o en la expresión de la misma dependiendo del tipo de aminoácido que sea introducido con la modificación (Ramensky & Sunyaev, 2002).

Los SNPs también se pueden clasificar en función de su localización en el genoma. Los distintos tipos de SNPs se recogen en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Tipos de SNPs según su posición en el genoma (Basada en Checa Caratachea, 2007)

LOCALIZACIÓN DEL SNP	NOMBRE DEL SNP
Regiones intrónicas	iSNP
Regiones codificantes (exones)	cSNP
Regiones reguladoras	rSNP
Regiones intergenómicas	gSNP

Atendiendo al lugar que ocupan en el genoma, los SNPs pueden afectar de diferentes maneras en la expresión génica, tal y como se observa en la Figura 2 (Checa Caratachea, 2007).



**Figura 2.** Clasificación de SNPs en función de localización en el genoma  
 Imagen modificada de Antonio (2007), bajo los términos y condiciones de una licencia Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) (Checa Caratachea, 2007)

En base a dicha clasificación, existen distintos tipos de SNPs (Checa Caratachea, 2007). Son los siguientes:

1. **SNPs que se encuentran en la región promotora del gen:** influyen la actividad transcripcional del gen ya que modulan la unión de factores de transcripción.
2. **SNPs localizados en intrones:** modulan la estabilidad de la proteína resultante.
3. **SNPs localizados en sitios de *splicing*:** son aquellos lugares en los que ocurre la eliminación de los intrones y la unión de los exones.
4. **SNPs que se encuentran en regiones intragénicas:** son SNPs que se encuentran en el medio de dos genes y que puede tener varias implicaciones dependiendo de su ubicación como, por ejemplo, afectar a la regulación de genes adyacentes (J. Chen & Tian, 2016).

## 1.4 Micronutrientes

Los micronutrientes, son elementos esenciales que los seres vivos requieren en pequeñas cantidades a lo largo de la vida para la realización de una serie de funciones metabólicas y fisiológicas esenciales. Su deficiencia o, por el contrario, una cantidad aumentada de los mismos pueden provocar trastornos de gravedad (Lahoda Brodska et al., 2023).

En nutrición, los micronutrientes se pueden clasificar formalmente en vitaminas y minerales (Calleja et al., 2024). Todos los micronutrientes citados deben ser ingeridos en las cantidades

adecuadas. Para poder asegurarse de que sus niveles son apropiados, existen guías alimentarias que marcan ingestas recomendadas de distintos grupos de alimentos que aseguran su aporte, y también recomendaciones de consumo diario de vitaminas y minerales concretos.

Algunos ejemplos de organismos que elaboran y publican guías de alimentos y recomendaciones de consumo de nutrientes para la población son las siguientes:

- Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) (Calleja et al., 2024).
- Federación Española de Sociedades de Nutrición, Alimentación y Dietética (FESNAD) (Corbalán et al., 2024).
- Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) (EFSA 2017).

### 1.4.1 Las vitaminas

Las vitaminas son un tipo de micronutrientes imprescindibles para la vida. En su gran mayoría, no pueden ser sintetizadas por el organismo y, en caso de ser sintetizadas, es en cantidades insuficientes. Así todo, hay excepciones como, por ejemplo, la vitamina D cuya síntesis endógena en la piel tras la exposición solar puede contribuir significativamente a los requerimientos de la misma (Brown & Challem, 2007). La vitamina K, más concretamente la vitamina K2, puede ser sintetizada por el organismo gracias a la acción de las bacterias intestinales. Aun así, es fundamental obtener cantidades suficientes de dicha vitamina a través de la dieta para el mantenimiento de funciones corporales relacionadas con la coagulación sanguínea y la salud ósea (Mladěnka et al., 2022).

Las vitaminas presentan función reguladora y son necesarias para que ocurran las reacciones metabólicas dentro de las células. Además, muchas de ellas actúan como grupos prostéticos o coenzimas en el transcurso de ciertas reacciones químicas (Szydłowska et al., 2022).

La función más importante llevada a cabo por las vitaminas es la participación en el control del metabolismo lipídico, proteico, hidrocarbonado, mineral y energético. Así todo, hay algunas vitaminas que ejercen actividades específicas (Brown & Challem, 2007).

Las vitaminas pueden ser clasificadas, a su vez, en vitaminas hidrosolubles y vitaminas liposolubles, tal y como se recoge en la Tabla 2, en función de su solubilidad.

**Tabla 2.** Vitaminas hidrosolubles y liposolubles (Elaboración propia)

VITAMINAS HIDROSOLUBLES	VITAMINAS LIPOSOLUBLES
VITAMINA B1	VITAMINA A
VITAMINA B2	
VITAMINA B3	VITAMINA D
VITAMINA B5	
VITAMINA B6	VITAMINA E
VITAMINA B7	
VITAMINA B9	VITAMINA K
VITAMINA B12	
VITAMINA C	

#### 1.4.1.1 Las vitaminas liposolubles

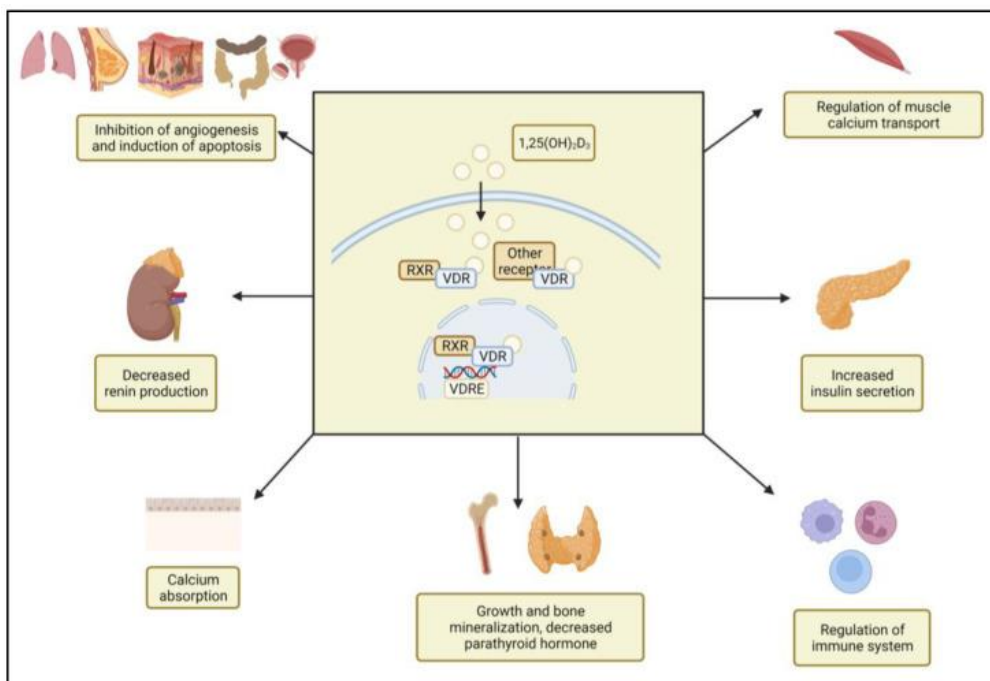
Las vitaminas liposolubles son absorbidas junto con los lípidos de la dieta y dicho proceso se encuentra mediado por las sales biliares. Además, pueden ser almacenadas en el cuerpo ya que son solubles en grasa. Su excreción se produce a nivel fecal (Borel et al., 2023).

La vitamina D es una vitamina liposoluble que existe en dos formas: vitamina D<sub>2</sub> (colecalfiferol) y vitamina D<sub>3</sub> (ergocalciferol). Las plantas y los hongos sintetizan vitamina D<sub>2</sub> a partir del ergosterol mientras que la piel de los seres humanos produce vitamina D<sub>3</sub> a partir del 7-dehidrocolesterol en el momento en el que ocurre la exposición a la radiación ultravioleta del sol. Los fotones desencadenan una reacción a partir de la cual el 7-dehidrocolesterol se convierte en colecalfiferol. A continuación, la vitamina D<sub>3</sub> es transportada al hígado y convertida en 25-hidroxivitamina D<sub>3</sub> gracias a la acción del citocromo CYP2R1. La 25-hidroxivitamina D<sub>3</sub> es la principal forma circulante de vitamina D<sub>3</sub>. Finalmente, la 25-hidroxivitamina D<sub>3</sub> se transforma en su respectiva forma activa, la 1,25-dihidroxivitamina D<sub>3</sub> en los riñones. Esta acción es realizada por el citocromo CYP27B1 (Voutsadakis, 2020).

Tanto la vitamina D<sub>2</sub> como la vitamina D<sub>3</sub> son precursores de hormonas que presentan un importante papel en la regulación del metabolismo del calcio y el fósforo. Así pues, el principal cometido de la forma activa de la vitamina D es estimular la absorción de calcio y el fósforo en el intestino, regular el metabolismo óseo y controlar negativamente la secreción de PTH mediante la acción de su metabolito activo, el calcitriol (Sánchez et al., 2002).

Además, se han descubierto receptores de vitamina D (VDR) en una gran variedad de tejidos por lo que puede desempeñar acciones no esqueléticas como, por ejemplo, la regulación del sistema inmunitario o la regulación de la proliferación celular en una gran variedad de linajes celulares. Algunas de las principales funciones de la vitamina D se recogen a continuación (Delrue & Speeckaert, 2023).

El 1,25-dihidroxitiamina D<sub>3</sub> lleva a cabo la mayor parte de sus respectivas funciones a través de su receptor nuclear, que forma un heterodímero con el receptor de retinoides X (RXR), tal y como se observa en la Figura 3. Este dímero se une a elementos de respuesta a la vitamina D en los genes diana y regula la transcripción génica (Delrue & Speeckaert, 2023).



**Figura 3.** La vitamina D ejerce sus efectos biológicos a través del receptor de vitamina D (Tomada de Delrue & Speeckaert, 2023 bajo los términos y condiciones de una licencia CC BY 4.0)

La vitamina K es una vitamina liposoluble que tradicionalmente está relacionada con la coagulación sanguínea y está relacionada con la modificación postraduccional de una serie de proteínas implicadas en la cascada de coagulación. Además, participa en la maduración de otras proteínas las cuales llevan a cabo otras funciones como, por ejemplo, la modulación de la calcificación de los tejidos conectivos. La vitamina K presenta una gran diversidad biológica ya que no es un compuesto único, sino un término que engloba las formas naturales (tanto animales como vegetales) y las formas sintéticas (Mladěnka et al., 2022).

La vitamina A es una vitamina liposoluble que se encuentra presente de forma natural en los alimentos. Principalmente, se encuentra presente en forma de ésteres combinados con ácidos grasos de cadena larga. Tras su absorción, el retinol se transporta a través de los quilomicrones hacia el hígado. Una vez allí, se almacena como ésteres de retinol o bien se exporta al plasma para su distribución tisular. Dos metabolitos importantes de la vitamina A son el retinal o retinaldehído (un elemento activo de la visión) y el ácido retinoico (un mensajero intracelular que modula la diferenciación celular) (Song et al., 2023).

La vitamina A es de gran importancia para la visión normal, el sistema inmunitario, la reproducción, el crecimiento y el desarrollo. De igual manera ayuda al buen funcionamiento del corazón los pulmones y otros órganos (National Institutes of Health, 2024k).

La vitamina E es un nutriente liposoluble que se encuentra presente en muchos alimentos. Esta vitamina regula el equilibrio redox en el cuerpo debido a su elevada concentración entre los grupos de vitaminas liposolubles. Existe de manera ubicua en todo el cuerpo, incluyendo las membranas celulares y las lipoproteínas (Mustacich et al., 2007).

Así pues, la vitamina E contribuye a la protección de las células frente a los daños provocados por los radicales libres que se forman en el momento en el que el organismo lleva a cabo todas aquellas reacciones por las que los alimentos consumidos se transforman en energía. El organismo también precisa la vitamina E para la estimulación del sistema inmunitario para hacer frente a las bacterias y los virus que lo invaden. Asimismo, ayuda a dilatar los vasos sanguíneos para evitar la formación de coágulos de sangre y permite la interacción entre células para el cumplimiento de numerosas funciones importantes (National Institutes of Health, 2024j).

#### *1.4.1.2 Las vitaminas hidrosolubles*

Las vitaminas hidrosolubles llevan a cabo el proceso de absorción por difusión pasiva o por transporte activo. Son solubles en agua, pero no en grasas y, por ello, su almacenamiento corporal es bajo o nulo. Su excreción sucede a nivel urinario (Godínez-Rubí et al., 2012).

La forma activa de la vitamina B1 es el difosfato de tiamina o el pirofosfato de tiamina. Ambas se sintetizan a partir de tiamina libre, ATP y magnesio gracias a la acción de una enzima llamada tiamina-pirofosfoquinasa. Esta vitamina actúa como cofactor enzimático en reacciones metabólicas tales como la descarboxilación oxidativa del ácido pirúvico, la descarboxilación oxidativa del ácido alfa-cetoglutarico y la síntesis del neurotransmisor acetil colina. También interviene en el mantenimiento de las membranas neurales (Fernández Falcón et al., 2013).

La vitamina B2 y la vitamina B3 son importantes en el crecimiento y funcionamiento de las células del cuerpo. Estas vitaminas ayudan a la producción de energía a partir de los alimentos consumidos (National Institutes of Health, 2024g) (National Institutes of Health, 2024h).

La vitamina B5 forma parte de la Coenzima A y de la proteína portadora de acilos. Ambas moléculas participan en reacciones metabólicas de carbohidratos, proteínas y lípidos. Además, interviene en la síntesis de lípidos, neurotransmisores, hormonas esteroideas, porfirinas y hemoglobina (Dekker, 1991).

La vitamina B6 es una vitamina que se encuentra presente de manera natural en muchos alimentos y es una denominación colectiva para los siguientes vitámeros que son solubles en agua, así como sus respectivos ésteres:

- Piridoxal.
- Piridoxina.
- Piridoxamina.

Se conocen como vitámeros a compuestos que están químicamente relacionados y que presentan las mismas funciones vitamínicas, aunque, en algunos casos, con diferente grado de actividad. El vitámero más importante es el piridoxal-5'-fosfato (PLP) y actúa como cofactor para muchas proteínas y enzimas. La mayoría de las enzimas dependientes de PLP están involucradas en la biosíntesis de aminoácidos, en las reacciones de descarboxilación y racemización o en la escisión de enlaces C<sub>α</sub>-C<sub>β</sub>. Igualmente, se ha demostrado que, tanto en eucariotas como en procariotas, el PLP modula la actividad de los factores de transcripción de unión al ADN (Rosenberg et al., 2017).

La vitamina B7, también llamada biotina, es una vitamina que está relacionada con importantes procesos metabólicos tales como la gluconeogénesis o la síntesis de ácidos grasos. Su importancia radica en su papel como grupo prostético de enzimas carboxilasas (Lipner, 2018).

La vitamina B9 está representada por el grupo de los folato, cuya estructura deriva del ácido fólico. La forma biológicamente activa de la vitamina B9 son los tetrahidrofolato reducidos que actúan como cofactores esenciales en las reacciones de metilación. Una de las reacciones en la que están involucrados es en la formación de metionina a partir de homocisteína, dependiente de vitamina B12 (Guilland, J. C., & Aimone-Gastin, I., 2013).

El organismo precisa folato para la producción de ADN y otros tipos de material genético. También es necesario para la división celular en el organismo (National Institutes of Health, 2024b).

La vitamina B12 es un nutriente que ayuda al mantenimiento de la salud de las neuronas y a la formación de glóbulos rojos. A mayores, contribuye a la formación del ADN (National Institutes of Health, 2024i). La vitamina B12 también se conoce con el nombre de cobalamina y ostenta una posición importante en la ciencia de la nutrición humana debido a la existencia de una enfermedad específica que conduce a la malabsorción aislada de esta vitamina. Esta enfermedad se conoce como anemia perniciosa y se caracteriza por una anemia megaloblástica y lesiones desmielinizantes del sistema nervioso central (Stabler, 2013). La vitamina B12 tiene una estructura compleja. Además, también consta de 5,6-dimetilbenzimidazol, un azúcar y un grupo aminopropanol. Algunas de sus funciones más importantes incluyen la síntesis de metionina, la síntesis de acetato y la síntesis de metano, entre otras (Stabler, 2013).

La vitamina C actúa como antioxidante al tener la capacidad de donar electrones a un radical libre inestable para prevenir la oxidación de otros compuestos. Esta vitamina, tras donar un electrón, se convierte en el radical ascorbilo que es estable y poco reactivo. La vitamina C dona electrones a diferentes tipos de enzimas que interviene en procesos tales como la hidroxilación del colágeno o la síntesis de carnitina. Algunos usos de la vitamina C están relacionados con la respuesta inmunitaria, el cáncer, la circulación y la diabetes (Castillo Velarde, 2019).

### 1.4.2 Los minerales

Los minerales son elementos inorgánicos necesarios para que el cuerpo pueda poder llevar a cabo diversas funciones biológicas. Desempeñan funciones estructurales y/o metabólicas esenciales y específicas por lo que tienen que ser aportados en cantidades suficientes, pero no excesivas (Vaquero Rodrigo & Navarro Martos, 2013).

El calcio es un micronutriente que forma parte del grupo de los minerales y es el elemento mineral más abundante de nuestro organismo. Esto es así ya que constituye una parte del esqueleto y de los dientes. Por ello, el calcio siempre debe de formar parte de la dieta y la principal fuente del mismo es la leche y otros productos lácteos. Este mineral realiza funciones esenciales en el organismo tales como la mineralización de los huesos y los dientes y la regulación de ciertas funciones celulares en numerosos tejidos corporales. Debido a la gran importancia de las funciones que realiza, el ion  $\text{Ca}^{2+}$  debe estar muy regulado y sus niveles plasmáticos deben de mantenerse dentro de unos rangos muy estrechos. Para poder llevar a

cabo dicha regulación, existe una respuesta frente a la hipocalcemia o frente a la hipercalcemia. En esta respuesta interviene la hormona paratiroidea (cuya liberación está regulada por el receptor sensible al calcio o CASR), la calcitonina y el metabolito activo de la vitamina D, el 1,25-dihidroxicolecalciferol (Martínez de Victoria, 2016).

El hierro es un micronutriente esencial con un significado esencial en la alimentación ya que lleva a cabo numerosas funciones que presenta un papel fisiológico muy importantes funciones (Jiménez et al., 2005).

Algunas de ellas son las siguientes:

- Transportar oxígeno a células.
- Cofactor de numerosas moléculas para la producción de energía en forma de ATP.
- Intervenir en el proceso de fosforilación oxidativa.
- Mantener la termorregulación del organismo.

Una de las vías metabólicas más importantes de este micronutriente es la síntesis de hemoglobina, proteína que transporta el oxígeno y el dióxido de carbono desde los pulmones hasta otras células localizadas en el cuerpo humano (Stevenazzi, 2010).

El hierro supone 35 mg/kg del peso en mujeres y 45 mg/kg del peso en hombres. La distribución del hierro en el cuerpo humano es la siguiente (Jiménez et al., 2005):

- **60-70%:** se encuentra formando parte del grupo hemo de eritrocitos circulantes.
- **10%:** se encuentra formando parte de la mioglobina, citocromos y otras enzimas que contienen hierro.
- **20-30%:** se encuentra almacenado en forma de ferritina y hemosiderina en los hepatocitos en el sistema reticuloendotelial. La ferritina es la principal proteína almacenadora, transportadora y liberadora de hierro. Se localiza en todas las células y se encarga de la protección frente a los radicales libres no solo de oxígeno, sino también de otros compuestos distintos como los lípidos o los hidratos de carbono.

El exceso de hierro resulta nocivo para todas las células y, por ello, es preciso un riguroso proceso de regulación para mantener el equilibrio en el metabolismo del mismo. La homeostasis del hierro depende de la hepcidina, una hormona que regula de manera negativa la salida del hierro desde las células intestinales y los macrófagos. Para ello, altera la expresión del exportador celular del hierro, la ferritina. Por lo tanto, la hepcidina controla la cantidad de hierro total presente en el organismo y su disponibilidad para la eritropoyesis (Stevenazzi, 2010).

La principal fuente de hierro de nuestro organismo es el hierro que ha sido reciclado a través del sistema reticuloendotelial en el momento en el que se lleva a cabo el proceso de fagocitosis de los hematíes al final de su vida (Jiménez et al., 2005). Además, el hierro se encuentra naturalmente presente en ciertos alimentos como carnes magras, mariscos, aves y nueces, entre otros (National Institutes of Health, 2024d).

El cobre es un oligoelemento esencial para el desarrollo de los seres humanos y debe ser incorporado a partir de diferentes alimentos y a partir del agua (Vicedecano et al., 2006). Este mineral regula numerosos procesos metabólicos y si deficiencia produce numerosas alteraciones fisiológicas y estructurales. Está presente en enzimas con actividad óxido-reductasa y forma parte de factores de transcripción que regulan la expresión génica. Además, el cobre interviene en el mantenimiento de la integridad del sistema inmunitario (Taboada Lugo, 2017).

El selenio es un nutriente que el cuerpo precisa para la reproducción, la función de la glándula tiroidea, la síntesis de ADN y la protección del cuerpo contra infecciones, así como el daño ocasionado por los radicales libres (National Institutes of Health, 2024e). Este mineral es un componente indispensable para las selenoproteínas y ejerce un rol de gran relevancia en las funciones biológicas relacionadas con dichas proteínas. También está relacionado con la fertilidad y la reproducción. En el organismo, el selenio es capaz de convertirse en diversos metabolitos como, por ejemplo, el metilselenol. Este metabolito ejerce un papel importante en la prevención frente al cáncer. Junto con la vitamina E, el selenio está relacionado con la función muscular y puede mejorar la resistencia y la recuperación. También puede ralentizar el proceso de envejecimiento (Mehdi et al., 2013).

El zinc es un nutriente que está presente en las células de todo el cuerpo. Durante el embarazo, la infancia y la adolescencia es fundamental para el correcto crecimiento y desarrollo (National Institutes of Health, 2024f). Este oligoelemento desempeña un papel fundamental en la estabilización de ciertas macromoléculas entre las que destacan ciertos receptores nucleares de hormonas esteroideas, tiroideas y retinoides. También interviene en la estabilización de las membranas celulares. También regula la transcripción génica, se une a proteínas nucleares y forma complejos conocidos con el nombre de “dedos de zinc” (Taboada Lugo, 2017).

El Zn es también esencial para la proliferación celular y la diferenciación celular. Es un componente estructural de algunas proteínas y enzimas que influyen en ciertas reacciones metabólicas, factores de transcripción y proteínas de señalización celular. Asimismo, es de gran importancia para las funciones del timo por medio de la timulina, una hormona dependiente de

zinc que se requiere para la maduración y la diferenciación de las células T (Bautista-García, 2021).

Así todo, todas las funciones del zinc están relacionadas con la capacidad del mismo para unirse a la histidina y a la cisteína, estabilizar los sitios activos e intervenir en el mantenimiento del sistema inmune (Taboada Lugo, 2017).

## 1.5 Test nutrigenéticos: importancia y valor en las dietas personalizadas

La nutrición de precisión, fundamentada en las características únicas de cada individuo, se presenta como una herramienta prometedora para la mejora de tratamientos nutricionales. Este enfoque personalizado permite conseguir un mayor porcentaje de éxito y mejorar la salud de los individuos a través de la alimentación. En este contexto, los “test nutrigenéticos” juegan un papel esencial en la transmisión de la información sobre las características genéticas de cada persona a los profesionales de la salud y, en última instancia, a la población general (Ordovas et al., 2018).

Un test nutrigenético es un tipo de análisis basado en la genómica nutricional y que está enfocado al estudio de marcadores genéticos, comúnmente polimorfismos de un solo nucleótido, para la determinación del perfil genético de una persona. Su principal objetivo es la creación de un plan de alimentación personalizado adaptado al genotipo y el fenotipo de un individuo (Defagó & Eynard, 2022).

Gracias a su capacidad para personalizar la nutrición, los test nutrigenéticos están adquiriendo una relevancia cada vez mayor. Esto se debe a la significativa influencia de la genética en la respuesta orgánica a los nutrientes. Además, debido a la disminución de los costes de genotipado y secuenciación, se está produciendo un incremento de empresas que ofrecen este tipo de servicios. Estas empresas tienen como principal cometido proporcionar indicaciones dietéticas basadas en los antecedentes genéticos personales (Floris et al., 2020).

Algunos test nutrigenéticos que pueden ser encontrados en el mercado actualmente son ofrecidos por empresas tales como 24Genetics (<https://24genetics.es/>), tellmeGen (<https://www.tellmegen.com/>) o CEyDES (<https://ceydes.com/>). Además, todos los SNPs que son analizados a partir de estos test son validados a través de diversos estudios para garantizar que los datos proporcionados al cliente sean robustos.

Los test nutrigenéticos usan diversas técnicas genómicas y bioinformáticas para analizar la forma en la que los genes de una persona afectan a su respuesta a los nutrientes. En el caso de la empresa 24Genetics, por ejemplo, utilizan tecnología Illumina para la elaboración de su test genético. Otras técnicas analíticas que pueden ser utilizadas para ello incluyen las técnicas de Secuenciación de Nueva Generación o los microarrays de ADN, entre otras.

## 2. OBJETIVOS

---

El objetivo principal de este trabajo experimental es llevar a cabo una evaluación sobre la influencia que los polimorfismos de un solo nucleótido (SNP) tienen en el balance de micronutrientes (vitaminas y minerales) en los seres humanos. A través de este estudio, se pretende profundizar en la relación existente entre las variaciones genéticas individuales y la capacidad del organismo para la absorción, metabolización y el uso de dichos micronutrientes.

Una vez establecido el objetivo general de este Trabajo de Fin de Grado, se procede a la recopilación de objetivos de carácter específico:

- Realizar una valoración nutricional del voluntario seleccionado en función de su composición corporal y de sus hábitos dietéticos, así como su condición física.
- Seleccionar SNPs implicados en el metabolismo de vitaminas y minerales a partir de un panel de más de 700,000 SNPs incluidos en el test nutrigenético.
- Evaluar las características de las 24 variantes genéticas seleccionadas y su relación con las características del voluntario.
- Diseñar un informe nutrigenético a partir del cual se puede presentar una propuesta de distribución de micronutrientes para optimizar la dieta del voluntario y mejorar su salud.

## 3. MATERIAL Y MÉTODOS

---

### 3.1 Diseño del estudio

Para realizar este trabajo se reclutó a un voluntario identificado con el código NHA0. Para proceder, fue necesario que el voluntario firmase un documento de consentimiento informado (Anexo I). Este documento contenía una descripción detallada del proyecto, información sobre las intervenciones realizadas, la voluntariedad de la participación y el derecho de revocación, así como el carácter altruista de la participación. Además, se incluía información sobre el destino de los datos y las muestras una vez finalizada la investigación, el derecho del participante a conocer los resultados y las medidas de protección de datos y confidencialidad.

Posteriormente, se llevó a cabo una entrevista presencial con el voluntario, durante la cual se tomaron medidas antropométricas y se realizó una bioimpedancia y la toma de muestra para el análisis nutrigenético. Esta reunión permitió obtener características fundamentales del voluntario que resultaron esenciales para la realización de este trabajo, las cuales se recogen en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Datos del voluntario NHA0

DATOS DEL VOLUNTARIO	
Edad (E)	35 años
Peso (P)	90 kg
Talla (T)	178 cm

La información relacionada con los hábitos dietéticos y la condición física del voluntario fue recopilada de manera telemática, a partir de un cuestionario elaborado en *Google Forms* (Anexo II) y un recuerdo dietético de 24 horas (Anexo III).

### 3.2 Genotipado y selección de SNPs

#### 3.2.1 Test nutrigenético

Se realizó un test nutrigenético comercial de la compañía 24Genetics (Madrid, España) a un sujeto voluntario con el código NHA0. Este test nutrigenético se realizó a partir de una muestra de saliva. Para ello, se utilizó el test “all-in-one” de todos los ofertados por la compañía. Es un kit de automuestreo que puede ser realizado por la propia persona en su casa. Incluye los siguientes componentes:

- Colector de saliva.
- Guantes de látex.
- Instrucciones.
- Bolsas de envío.
- Formulario para el registro del kit y consentimiento informado.



**Figura 4.** Test "all-in-one" para la toma de muestras

En las instrucciones que se incluyen en el kit, se recogen una serie de pasos para poder obtener la muestra de una manera adecuada. A continuación, dicha muestra es remitida a la compañía, la cual se encarga de su procesado y análisis. Antes de llevar a cabo todos los pasos para la realización del test, se han de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El voluntario no ha ingerido comida en la hora previa a la extracción de la muestra.
- El voluntario no ha bebido durante la hora previa a la extracción de la muestra.
- El voluntario no ha fumado en la hora previa a la extracción de la muestra.
- El voluntario no ha mascado chicle durante la hora previa a la extracción de la muestra.

Los pasos a seguir para realizar el test son los siguientes:

- 1) **Completar, leer y firmar la documentación pertinente.** El test comercial "all-in-one" incluye una hoja de información al participante, así como una hoja de consentimiento. Por lo tanto, se le pedirá al voluntario que firme dicho consentimiento y que permita el acceso a sus datos genéticos.
- 2) **Ponerse los guantes.** La utilización de este elemento de protección es indispensable para mantener las condiciones asépticas de la muestra y evitar posibles contaminaciones.
- 3) **Extraer el tubo y el embudo colector.**

- 4) **Comprobar que el líquido contenido en el tubo se encuentra en la línea de 2mL.** Es necesario desenroscar la tapa con precaución para no derramar el líquido que se encuentra en el tubo.
- 5) **Enroscar el embudo colector en el tubo.**
- 6) **Llenar el tubo de saliva hasta la línea de 4mL.** No se deben tener en cuenta las burbujas de saliva que pudieran formarse.
- 7) **Desenroscar el embudo colector y cerrar el tubo con la tapa.** Para evitar posibles vertidos, se comprueba que el tubo quede bien cerrado.
- 8) **Agitar el tubo colector en varias ocasiones.** De esta manera, se consigue mezclar la saliva con el líquido estabilizante.
- 9) **Pegar las etiquetas correspondientes en la documentación para el cliente y la empresa.**
- 10) **Registrar el kit en la página web de la empresa 24genetics.** El código del kit de ADN se encuentra en las pegatinas.
- 11) **Seleccionar una opción para el envío o la recogida de la muestra de ADN.** Las instrucciones de envío se localizan en la parte trasera del kit.

Una vez la muestra ha sido tomada, la empresa realiza el análisis pertinente y envían los resultados del test nutrigenético a los investigadores responsables.

### 3.2.2 Selección de SNPs

De todos los SNPs incluidos en el archivo en crudo, se han seleccionado 24 SNPs que guardan relación con el metabolismo de las vitaminas y los minerales. Se proporcionó un documento de Excel que recopilaba más de 700,000 SNPs analizados por la compañía. Posteriormente, se llevaron a cabo búsquedas de artículos científicos relacionados con el metabolismo de micronutrientes. En estos artículos se identificaron SNPs implicados en estos procesos y su posible relación con desequilibrios en los niveles de vitaminas y minerales, así como con enfermedades causadas por dichas desregulaciones.

Estas búsquedas se realizaron en plataformas como *PubMed* y *Google Scholar*, utilizando palabras clave específicas. Generalmente, la búsqueda inicial se realizaba empleando el nombre de la vitamina o el mineral de interés por lo que algunas de las palabras clave utilizadas fueron “*Vitamina D*”, “*Vitamina A*”, “*Hierro*”, “*Calcio*” o “*Cobre*”. Cuando se profundizó un poco más en cada uno de los micronutrientes buscados, se utilizaron palabras clave más específicas en relación a su metabolismo como, por ejemplo, “*Receptor de vitamina D (VDR)*” o “*Receptor*

*Sensor de Calcio (CASR)*". También se utilizaron palabras clave relacionadas con enfermedades producidas por desregulaciones en el metabolismo de estos micronutrientes como "*Hemocromatosis*". Una vez identificados los SNPs relevantes, se verificó su presencia en el archivo original. Si se confirmaba su aparición, se procedía a la búsqueda de información adicional para cada uno de ellos.

La información recopilada, que generalmente provenía de los mismo artículos donde se habían encontrado inicialmente los SNPs, se organizó en una serie de tablas a modo de resumen. Esta tabla recoge información referente a la posición en el cromosoma de los SNPs, el gen afectado, el micronutriente afectado y la ruta metabólica afectada (Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13). Asimismo, se incluyen citas relacionadas con los artículos de los que se extrajo dicha información. También fue de gran importancia la determinación de alelo de riesgo para cada SNP. La información referente a la posición cromosómica, el alelo de riesgo y el gen afectado pudo ser encontrada en la SNPedia, una base de datos en línea que recopila información sobre polimorfismos de un solo nucleótido. El enlace a la SNPedia es el siguiente: <https://snpedia.com/>

Finalmente, se relacionó la ruta metabólica en la que estaba implicado cada SNP con el genotipo del voluntario, considerando el alelo de riesgo para analizar la manera en la que influía específicamente en él. Esta información permitió elaborar, posteriormente, un informe personalizado basado en los resultados obtenidos.

### 3.3 Evaluación de la dieta y la actividad física

Se elaboró un cuestionario dietético (recuerdo de 24 horas) vía telemática para poder valorar la calidad de la dieta del voluntario. Además, se realizó un cuestionario de actividad y condición física.

#### 3.3.1 Recuerdo de 24 horas y análisis de la dieta

Se solicitó al voluntario que recordase y describiera con la mayor exactitud posible todos aquellos alimentos y bebidas que había consumido el día anterior. Con la información recabada a partir de este informe, se procedió al análisis de la dieta del voluntario seleccionado para el estudio. El recuerdo dietético de 24 horas en relación al voluntario NHA0 se recoge en este trabajo en el Anexo III.

Una vez el voluntario NHA0 realizó el recuerdo dietético de 24 horas, se introdujeron todos los alimentos consumidos en cada una de las comidas del día en un programa *on line* llamado Alimentador que permitió valorar nutricionalmente la dieta del sujeto.

Además, el programa Alimentador proporciona tablas sobre la composición de los alimentos a partir de las cuales se pueden calcular los niveles tanto de los macronutrientes como de los micronutrientes. Se tiene en cuenta que todos los valores obtenidos en relación a los niveles de vitaminas y minerales en la dieta del voluntario se compararon con valores de ingestas de referencia dictaminadas por el Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) (Calleja et al., 2024).

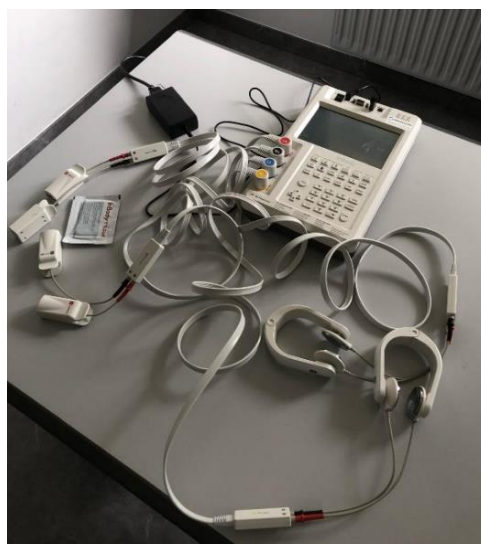
El acceso a este programa es posible a partir del siguiente enlace: <https://www.alimentador.es/ficha.asp>

### 3.3.2 Cuestionario sobre la actividad física

Con el fin de calcular el gasto energético total (GET) del voluntario seleccionado, se realizaron una serie de preguntas en relación a los distintos tipos de actividades físicas que realiza de manera habitual el voluntario. Las preguntas fueron respondidas de manera telemática a través de un cuestionario previamente elaborado que se recoge en este trabajo como Anexo II.

## 3.4 Bioimpedancia

En este trabajo se ha utilizado el equipo de bioimpedancia InBody S10 (Microcaya, Bilbao). Es un dispositivo destinado al estudio de la composición corporal y de las alteraciones hídricas. Realiza 30 mediciones de impedancia mediante el uso de 6 frecuencias diferentes y 15 de reactancia y ángulo de fase mediante el uso de 3 frecuencias en los 5 segmentos (brazo derecho, brazo izquierdo, tronco, pierna derecha y pierna izquierda). Para poder realizar las mediciones correctamente, el sujeto ha de estar en una postura adecuada, puede estar acostado, sentado o de pie. A continuación, se aplican electrodos táctiles o adhesivos en aquellos lugares indicados por las instrucciones del equipo. Esto electrodos se colocaron en el dedo pulgar y en el dedo corazón de cada mano.



**Figura 5.** Equipo de bioimpedancia InBody S10

Además, se colocaron dos electrodos en los pies. Antes de utilizar el equipo, se introducen datos tales como el peso, la altura y el sexo del sujeto.

En este caso, la prueba se realizó con el sujeto en posición sentada, con la espalda erguida y recta. Sus brazos deben estar separados del tronco en un ángulo de 15 grados y sus piernas deben estar abiertas y extendidas hacia delante. El sujeto no debe estar en contacto con ningún objeto metálico ya que, de lo contrario, podrían producirse alteraciones en los resultados de la conductancia eléctrica y, consecuentemente, los resultados de la prueba podrían verse alterados.

El sujeto debe permanecer en la misma posición durante 15 minutos antes de la realización de la prueba para favorecer la estabilización de los líquidos corporales y garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos.

### 3.4.1 Mediciones antropométricas

Se recogen datos de peso, altura, perímetro de cintura, perímetro branquial y pliegue tricipital. Para llevar a cabo estas medidas se utilizarán los siguientes equipos:

- **Cinta métrica:** usada para medir la circunferencia de la cintura y del brazo.
- **Plicómetro:** usado para medir el pliegue tricipital.
- **Báscula:** usada para medir el peso.
- **Tallímetro:** usado para medir la altura.

En el caso del peso y de la talla, solo será necesaria una medida. Para la obtención del perímetro del brazo y la cintura se realizarán dos medidas y, en el caso del pliegue tricipital, se realizarán tres medidas.

## 3.5 Gasto Energético Total

Para poder calcular el Gasto Energético Total o GET, es preciso el cálculo del coeficiente de actividad física PAL (*Physical Activity Level*). Para ello, se considera el cuestionario adjuntado al voluntario relacionado con su actividad y condición física. Dicho coeficiente ha de ser calculado en función de los días semanales y también durante el fin de semana. Este coeficiente es usado para expresar el nivel de actividad física en términos relativos al metabolismo basal y su valor proporciona una medida de la intensidad de la actividad física diaria de una persona.

Para el cálculo del Gasto Energético Total (GET) de una forma precisa, se tienen en cuenta los siguientes componentes:

- **Metabolismo basal.** Se puede calcular usando la fórmula de Harris-Benedict, que es distinta para hombres y para mujeres (Arthur Harris & Benedict, 1914).

$$MB=66,47+(13,75\times P)+(5\times T)-(6,74\times E)$$

- **Actividad física (AF).** Se calculó el PAL medio de toda la semana. Se ha de tener en cuenta que un PAL de 1,7 equivale a un 50% de la actividad física.

$$PAL = \frac{PAR \times tiempo}{24}$$

$$PAL_m = \frac{(PAL_{\text{día de semana}} \times 5 \text{ días}) + (PAL_{\text{fin de semana}} \times 2 \text{ días})}{7 \text{ días}}$$

- **Efecto termogénico de los alimentos.**

$$\text{Efecto termogénico de los alimentos} = MB \times 0,1$$

- **Influencia del sueño.**

$$\text{Influencia del sueño} = 0,1 \text{ kcal/kg/hora} \times \text{Peso} \times \text{Media de sueño semanal}$$

### 3.6 Implicaciones bioéticas y protección de datos

La realización de estudios de genotipado en voluntarios implica una serie de consideraciones éticas y legales para garantizar la protección de derechos y la privacidad de los participantes.

Así pues, todos los estudios que involucren a seres humanos deben contar con la aprobación de un comité de ética en investigación que se encarga de evaluar la metodología del estudio para corroborar que cumple con las normas éticas y que los riesgos para los participantes son mínimos. El informe favorable del Comité de Bioética de la USC se recoge como Anexo IV.

La identidad del voluntario seleccionado será mantenida en el anonimato en todo momento en toda aquella documentación pública que pueda derivar de esta investigación. La identidad del voluntario únicamente será conocida por la persona solicitante del informe, así como sus

tutores. El consentimiento informado de la empresa 24Genetics para la realización de la prueba nutrigenética en saliva se adjunta como Anexo V y el consentimiento informado del voluntario para su participación en este trabajo se adjunta como Anexo I.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Valoración del estado nutricional

#### 4.1.1 Mediciones antropométricas

Los resultados de las mediciones antropométricas del voluntario NHA0 se recogen en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Mediciones antropométricas del voluntario NHA0

	1º MEDIDA	2º MEDIDA	3º MEDIDA	MEDIA	SD
<b>Peso (Kg)</b>	88	-	-	88	0
<b>Talla (cm)</b>	178	-	-	178	0
<b>Pliegue tricipital (mm)</b>	10	9	10	9,67	0,47
<b>Perímetro de brazo (cm)</b>	31,5	31,4	-	31,45	0,05
<b>Perímetro de cintura (cm)</b>	96	96,2	-	96,1	0,1

El valor del pliegue tricipital medio de las tres medidas tomadas es de 9,67 mm y se encuentra dentro de los valores normales, que van desde 9 mm hasta 33 mm (Durnin & Womersley, 1974). El perímetro del brazo medio presenta un valor de 31,4 cm y se encuentra incrementado con respecto al rango asociado con la normalidad, de 4 cm a 23 cm (Durnin & Womersley, 1974). En relación al perímetro de cintura, el valor resultante (96,1 cm) se asocia con un mayor riesgo de obesidad ya que el límite está establecido en 95 cm para varones (Martínez-Larrad et al., 2011).

#### 4.1.2 Resultados de bioimpedancia

Todos los valores de la composición corporal del voluntario se recogen en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Datos sobre la composición corporal del voluntario NHA0

<b>COMPOSICIÓN CORPORAL</b>	
<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>	27,8
<b>Porcentaje de grasa corporal (%)</b>	20,2
<b>Masa grasa corporal (kg)</b>	17,8
<b>Masa musculoesquelética (kg)</b>	40,7

El valor del Índice de Masa Corporal del sujeto voluntario fue de 27,8 kg/m<sup>2</sup>. En función del informe de bioimpedancia, el voluntario NHA0 presenta sobrepeso de grado II (preobesidad) ya que el rango de valores de sobrepeso de grado II según la SEEDO se encuentra entre 27,0 kg/m<sup>2</sup> y 29,9 kg/m<sup>2</sup> (SEEDO, 2016). Así todo, esta fórmula no tiene en cuenta la masa grasa ni la masa musculoesquelética por lo que no es totalmente representativa.

En relación al análisis músculo-grasa, según el análisis de bioimpedancia el porcentaje de grasa corporal es 20,2% y se encuentra ligeramente incrementado con respecto a la normalidad (20%), por lo tanto, se considera normal. La masa grasa corporal presenta un valor de 17,8 kg y se considera normal. La masa musculoesquelética es elevada con respecto al límite de la normalidad y presenta un valor de 40,7 kg. Por lo tanto, aunque el peso del sujeto voluntario sea mayor de lo normal para un individuo de su estatura, la masa musculoesquelética es la principal responsable de dicho valor (Montserrat et al., 2017).

Los resultados de la bioimpedancia en relación a la composición corporal del voluntario NHA0 se recogen como Anexo VI. Los valores referentes a la cantidad de agua corporal se recogen en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Datos sobre el agua corporal del voluntario NHA0

<b>AGUA CORPORAL TOTAL (ACT)</b>	
<b>Agua intracelular (AIC)</b>	32,7 L
<b>Agua extracelular (AEC)</b>	18,4 L
<b>Agua corporal total (ACT)</b>	51,1 L

El contenido de agua corporal total es de 51,1 L, siendo el agua intracelular total el dato que se encuentra mayormente incrementado. Dicho valor es de 32,7 L. Si este aumento es leve, puede ser debido a cambios positivos en la composición corporal tales como un incremento en el consumo de energía, un incremento de la fuerza o una mejora del sistema inmunitario (Hayashida et al., 2014).

Una distribución de fluidos saludable se ha estimado en 3:2 de AIC: AEC y, en el caso de que dicha relación se encuentre fuera de ese balance, puede ser una señal de cambios en la salud y en la composición corporal (Hayashida et al., 2014). Los valores del agua corporal del voluntario NHA0 se encuentra dentro de dicho balance por lo que se concluye que presenta una distribución saludable de los fluidos en su organismo.

Los resultados de la bioimpedancia en relación al agua corporal se recogen como Anexo VII.

### 4.1.3 Resultados del Gasto Energético Total

El Gasto Energético Total o GET hace referencia a la cantidad total de energía consumida por una persona en un día para poder mantener todas sus funciones corporales y así, poder realizar diferentes actividades físicas (Blasco Redondo, 2015).

Para poder calcular el coeficiente de actividad física PAL de toda la semana, se calcula para un día entre semana (de lunes a viernes) y para un día del fin de semana (sábado o domingo). En la Tabla 7 y en la Tabla 8 se recoge la información extraída del cuestionario sobre la actividad y condición física que fue usada para el cálculo del PAL de un día semanal y el PAL del fin de semana, respectivamente.

**Tabla 7.** Datos utilizados para el cálculo del PAL entre semana

LUNES A VIERNES			
Actividad	PAR	Tiempo (h)	PAR x Tiempo
Sueño	1	7	7
Aseo personal	1,5	0,5	0,75
Desayunar	1,5	0,5	0,75
Labores domésticas	2,5	1,5	3,75
Comer	1,5	1	1,5
Caminar a 4,5 km/h	2,5	0,5	1,25
Trabajar sentado	1,5	8	12
Cenar	1,5	1	1,5
Sentado en tiempo libre	1,5	4	6
			34,5

**Tabla 8.** Datos utilizados para el cálculo del PAL del fin de semana

FIN DE SEMANA			
Actividad	PAR	Tiempo (h)	PAR x Tiempo
Sueño	1	7	7
Aseo personal	1,5	0,5	0,75
Desayunar	1,5	0,5	0,75
Labores domésticas	2,5	3	7,5
Comer	1,5	1	1,5
Estar sentado	1,5	10	15
Caminar	2,5	1	2,5
Cenar	1,5	1	1,5
			36,5

Para poder calcular el PAL, se precisa conocer el PAR (*Physical Activity Ratio*), un índice que se utiliza para expresar el coste energético de una actividad física concreta en relación con el metabolismo basal.

El resultado para el PAL de un día de semana fue de 1,4 y, en el caso del fin de semana, el resultado fue de 1,5.

A continuación, se muestran los cálculos para obtener el PAL medio de la semana:

$$PAL_m = \frac{(1,4 \times 5) + (1,5 \times 2)}{7} = 1,43 \cong 1,4$$

En función de las fórmulas comentadas en el apartado de Material y Métodos, se procede al cálculo de los componentes del Gasto Energético Total. El resultado del metabolismo basal fue de 1958,07 kcal/día. Dado que el PAL medio de la semana fue de 1,4, la actividad física en relación al metabolismo basal fue de 802,8 kcal/día. El efecto termogénico de los alimentos en relación al metabolismo basal fue de 195,81 kcal/día y el efecto que tiene el sueño en el Gasto Energético Total fue de 63.

Una vez obtenidos todos los componentes del Gasto Energético Total, se procede al cálculo del mismo. Hay que tener en cuenta que al metabolismo basal hay que restarle la influencia del sueño, sumarle el efecto termogénico de los alimentos y, finalmente, sumarle el valor correspondiente a la actividad física (Tontisirin, 2002). El resultado fue de 2893,68 kcal/día.

Además de los niveles de vitaminas y minerales del voluntario NHA0 a lo largo del día, el programa Alimentador también proporcionó un valor referente a la cantidad de calorías consumidas a lo largo del día por parte del voluntario. Dicho valor fue de 3046 kcal/día. En relación con el Gasto Energético Total, el voluntario debería de reducir su ingesta calórica en 152,32 kcal.

A continuación, se comparó el valor obtenido con los requerimientos promedios de energía que se utilizan como referencia. En este caso, los valores de referencia son proporcionados por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y Nutrición (Calleja et al., 2024). Los requerimientos promedios de energía que son necesarios para un varón de entre 30 y 39 años y con un estilo de vida moderadamente activo son de 2579 kcal/día. Por lo tanto, el voluntario NHA0 cumple con los requerimientos energéticos que son necesarios atendiendo a sus características.

#### 4.1.4 Análisis de la dieta

##### 4.1.4.1 Análisis de la dieta: vitaminas

Los niveles de vitamina A, vitamina D, vitamina K1, vitamina B3 y vitamina C resultaron bajos al final del día en comparación con las ingestas de referencia proporcionadas por la AESAN (tabla 9) (Calleja et al., 2024).

Ya que la vitamina A es un micronutriente relacionado con funciones fisiológicas esenciales tales como la visión, su deficiencia está relacionada con diversas manifestaciones clínicas. Algunas de ellas son la xeroftalmía, las cicatrices corneales y las manchas de Bitot. Hay que prestar especial atención a los niveles de esta vitamina ya que, una deficiencia acentuada puede ocasionar ceguera permanente (Fawzi & Wang, 2021).

La vitamina D es crucial para la absorción del calcio en el intestino y su déficit se asocia con raquitismo en niños y con osteomalacia, en niños y en adultos (Munns et al., 2006). Por lo tanto, los niveles de vitamina D del voluntario NHA0 han de ser vigilados para evitar la aparición de problemas.

Aunque la deficiencia de vitamina K no es habitual, puede ocurrir en el caso de que las fuentes dietéticas de esta vitamina sean insuficientes. Los síntomas de esta deficiencia vitamínica incluyen problemas gastrointestinales, epistaxis y otro tipo de hemorragias (Mladěnka et al., 2022). Ya que las fuentes de vitamina K son escasas, el riesgo del voluntario NHA0 de padecer la sintomatología comentada anteriormente es mayor.

La vitamina B3 ha sido estudiada para reducir el riesgo de ataque cardíaco y accidente cerebrovascular en personas con aterosclerosis. Esta vitamina, en cantidades elevadas, puede reducir los niveles de colesterol LDL en sangre y puede aumentar las concentraciones de colesterol HDL. Además, puede reducir la concentración de triglicéridos (National Institutes of Health, 2024g). Ya que los niveles de esta vitamina son bajos en relación al voluntario NHA0, no se producen estos efectos favorables relacionados con los lípidos.

Un déficit corporal de vitamina C tiene diversas manifestaciones clínicas entre las cuales se encuentra el escorbuto, un síndrome que refleja en la piel y en las mucosas la inestabilidad y la debilidad del colágeno no hidroxilado incorporado al déficit de esta vitamina (Agriello et al., 2010). Por lo tanto, el riesgo del voluntario NHA0 de padecer esta sintomatología es más elevado con respecto a un individuo cuyos niveles de vitamina C sean adecuados.

Por el contrario, los niveles de vitamina E, vitamina B9 y vitamina B12 son más altos de lo esperado en relación a los valores de referencia. En el caso de la vitamina E, su consumo a partir de alimentos no resulta peligroso ni perjudicial. Sin embargo, las dosis elevadas de esta vitamina producidas por el consumo excesivo de suplementos vitamínicos sí podrían ocasionar problemas de salud como, por ejemplo, el aumento del riesgo de sangrado (National Institutes of Health, 2024j). Dado que el sujeto voluntario no ha consumido ningún suplemento vitamínico, los niveles elevados de vitamina E no son preocupantes.

De igual manera, dosis elevadas de vitamina B9 procedente de los alimentos no son perjudiciales. El mismo caso resulta para la vitamina B12.

Los niveles vitamínicos restantes se asemejan mucho a las ingestas recomendadas por la AESAN.

Los niveles de vitaminas en la dieta del voluntario NHA0 en comparación con las ingestas de referencia marcadas por la AESAN (Calleja et al., 2024) se recogen en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Niveles vitamínicos en la dieta del voluntario NHA0 (Elaboración propia a partir de Calleja et al., 2024)

Vitaminas		
Clasificación	Valor obtenido (µg/mg)	Ingestas de referencia AESAN (µg o mg/día)
Vitamina A	409,69	750
Vitamina D	4,02	12,5
Vitamina E	15,89	13
Vitamina K1	0,01	70
Vitamina B1	1,05	1,2
Vitamina B2	1,57	1,5
Vitamina B3	8,11	17
Vitamina B6	2,17	1,7
Vitamina B12	32,67	2,4
Vitamina C	46,1	75
Folatos	650	330

#### 4.1.4.2 Análisis de la dieta: minerales

Una vez analizados los niveles vitamínicos en la dieta del voluntario NHA0, se procede al estudio de los niveles minerales (Tabla 10). Todos los niveles minerales resultan elevados al final del día con respecto a las ingestas de referencia de la AESAN (Calleja et al., 2024).

No hay evidencia de que niveles elevados de potasio procedente de los alimentos resulten nocivos en personas sanas que presentan una función renal normal ya que el exceso de potasio puede ser eliminado por la orina. Sin embargo, las personas con una enfermedad renal crónica o que consumen ciertos medicamentos pueden presentar concentraciones anormalmente altas de potasio en la sangre (National Institutes of Health, 2024a). No hay constancia de que el sujeto voluntario presente una enfermedad renal crónica por lo que los niveles elevados de potasio podrían explicarse en base a la dieta y podrían ser corregidos a partir de ella.

La sintomatología asociada con niveles elevados de sodio (hipernatremia) está mayoritariamente relacionada con el sistema nervioso central por la contracción de las células cerebrales. Estos niveles resultan preocupantes cuando se encuentran muy incrementados o cuando dicho incremento se produce muy rápidamente (Yun et al., 2023). Los niveles de este mineral son muy elevados por lo que el voluntario presenta un riesgo muy elevado de padecer problemas con respecto al sistema nervioso central.

Las ingestas elevadas de fósforo rara vez causan problemas en las personas sanas (National Institutes of Health, 2024c). Dado que el voluntario NHA0 se define como una persona sana, los niveles de fósforo no deberían de ser preocupantes.

El selenio puede ser peligroso en el caso de que se ingiera en exceso. Algunos síntomas relacionados con niveles elevados de selenio incluyen diarrea, irritabilidad, náuseas o problemas del sistema nervioso. Asimismo, el consumo de cantidades muy elevadas de selenio puede ocasionar dificultad respiratoria, temblores, fallos renales o ataques cardíacos (National Institutes of Health, 2024e). Si el sujeto voluntario no ha experimentado esta sintomatología, presenta un riesgo muy elevado de experimentarla en el caso de que no se reduzcan los niveles de este mineral.

El resto de minerales se encuentra incrementado ligeramente con respecto a las ingestas de referencia, por lo que no suponen un problema en la salud del voluntario. Dichos niveles podrían ser explicados a partir del consumo elevado de alimentos que actúan como fuentes dietéticas de los mismos.

**Tabla 10.** Niveles minerales en la dieta del voluntario NHA0 (Elaboración propia a partir de Calleja et al., 2024)

Minerales		
Clasificación	Valor obtenido (µg/mg)	Ingestas de referencia AESAN (µg o mg/día)
Sodio	3399	1500
Potasio	6729	3500
Calcio	1176	950
Magnesio	587	350
Fósforo	3081	700
Hierro	16	9,1
Cobre	1	1,3
Zinc	17	11
Selenio	209	70
Iodo	178	150

## 4.2 Análisis de polimorfismos

Para una mejor valoración del estado nutricional del voluntario NHA0, se analizaron los resultados de su genotipo en relación a los polimorfismos de nucleótido único que fueron estudiados en este trabajo. Todos los SNPs tratados se recogen en la Tabla 11, en la Tabla 12 y en la Tabla 13.

A continuación, se tratará cada uno de los polimorfismos de manera específica, indicando su posición en el cromosoma, el alelo de riesgo, el gen que resulta afectado y su importancia nutrigenética. Además, se indica el genotipo correspondiente al voluntario para cada uno de los SNPs. Para mayor facilidad en la discusión de dichas modificaciones, se separarán los SNPs en función del micronutriente afectado.

Tal y como se comentó con anterioridad, las vitaminas pueden ser divididas en función de su solubilidad. A continuación, se analizarán los SNPs que afectan a las **vitaminas hidrosolubles**, a las **vitaminas liposolubles** y a los **minerales**.

Para una mayor claridad en los resultados, todos los SNPs se recogen en la Tabla 11, en la Tabla 12 y en la Tabla 13.

**Tabla 11.** SNPs que afectan a vitaminas liposolubles y genotipo del paciente voluntario NHA0; función del gen e importancia nutricional. AR:alelo de riesgo.

SNP	Gen	Cromosoma	AR	NHA0	Función del gen	Importancia nutrigenética	Referencia
rs9923231	VKORC1	16:31096368	T	T/C	Enzima encargada de llevar a cabo la reducción de 2,3-epóxido de vitamina K para la formación de ciertos factores de coagulación	Portadores del alelo T requieren dosis más reducidas de Warfarina para el tratamiento del tromboembolismo venoso	(Iluț et al., 2023)
rs6564851	BCO1	16:81230992	T	G/G	Enzima llamada betacaroteno 15,15'-dioxigenasa que lleva a cabo una reacción de escisión del β-caroteno para la generación de dos moléculas de retinal	El alelo G está relacionado con niveles elevados de β-carotenos. Niveles bajos de carotenoides y tocoferoles se encuentran relacionados con un mayor riesgo de padecer enfermedades crónicas y otras discapacidades. El alelo G se asocia con una menor actividad enzimática de la enzima betacaroteno 15,15'-dioxigenasa	(Yabuta et al., 2016)
rs964184	ZPR1	11:116778201	G	C/C	Implicada en la regulación del ciclo celular	El alelo G se asocia con hipertrigliceridemia. Esto es, niveles elevados de triglicéridos en sangre.	(Major et al., 2012)
rs2108622	CYP4F2	19:15879621	T	T/C	Primera enzima que interviene en el metabolismo de la vitamina E	El alelo de riesgo se asocia con dosis más elevadas de Warfarina en el caso de pacientes tratados con medicamentos anticoagulantes o antiplaquetarios	(Major et al., 2012) (Alvarellos et al., 2015)

<b>rs10882272</b>	<i>RBP4</i>	10:93588425	C	T/T	Proteína de unión al retinol 4, uno de los principales transportadores de retinol en suero	El alelo de riesgo se asocia con niveles más bajos de retinol en sangre ya que los niveles séricos elevados de retinol se asocian con una mayor protección frente al cáncer de cabeza y cuello. Así todo, no se comprende completamente el papel de la vitamina A en la oncogénesis	(K. C. Chen et al., 2015)
<b>rs2282679</b>	<i>GC</i>	4:71742666	C	T/T	Enzima implicada en la regulación de los niveles de vitamina D	El alelo de riesgo (C) se asocia con niveles bajos de vitamina D. El voluntario presenta un genotipo que no incluye el alelo de riesgo por lo que sus niveles de vitamina D son normales	(Asghari et al., 2023)
<b>rs3829251</b>	<i>NADSYN1 / DHC R7</i>	11:71483513	A	G/G	Enzima 7-Dehidrocolesterol reductasa que metaboliza el 7-dehidrocolesterol, precursor del colecalfiferol	El alelo de riesgo (A) se asocia con niveles bajos de vitamina D. El voluntario presenta un genotipo homocigoto el cual no incluye el alelo de riesgo por lo que presenta niveles de vitamina D normales	(Jaroenlapno pparat et al., 2022) (Lu et al., 2012)
<b>rs1544410</b>	<i>VDR</i>	12:47846052	A	A/G	Receptor de vitamina D que se une con el calcitriol para la formación de un heterodímero con el receptor de retinoide X	El alelo A está asociado con un riesgo mayor de densidad mineral ósea baja mientras que el genotipo homocigoto para el alelo G se ha relacionado con un riesgo reducido de osteoporosis. El voluntario presenta un genotipo heterocigoto por lo que presenta un riesgo intermedio de padecer algún desorden con respecto a la densidad mineral ósea	(Li et al., 2012) (Voltan et al., 2023)
<b>rs12272004</b>	<i>APOA5</i>	11:116733008	C	C/C	Este gen está relacionado con los niveles de $\alpha$ -tocoferol y está correlacionado con la variante	El alelo A está relacionado con una mayor concentración de $\alpha$ -tocoferol. El voluntario presenta el genotipo común y es homocigoto	(Ferrucci et al., 2008)

				S19W en el gen <i>APOA5</i> . Este gen altera las concentraciones de quilomicrones y triglicéridos. Se sabe que los niveles de vitamina E están afectados por los lípidos circulantes	para el alelo de riesgo lo cual se relaciona con niveles normales de $\alpha$ -tocoferol	
--	--	--	--	---	--	--

**Tabla 12.** SNPs que afectan a vitaminas hidrosolubles y genotipo del participante voluntario NHA0; función del gen e importancia nutricional. AR:alelo de riesgo.

SNP	Gen	Cromosoma	AR	NHA0	Función del gen	Importancia nutrigenética	Referencia
rs4654748	NBPF3/ALPL	1:21459575	C	C/C	Isoenzima de la fosfatasa alcalina no específica de tejido, la cual elimina grupos fosfato de varios tipos de moléculas, incluida la vitamina B6	El genotipo C/C presentado por el voluntario se asocia con niveles bajos de vitamina B6 en sangre	(Iluț et al., 2023)
rs1697421	ALPL	1:21496799	A	C/C	Isoforma de la fosfatasa alcalina no específica de tejido, la cual elimina grupos fosfato de varios tipos de moléculas, incluida la vitamina B6	El alelo de riesgo puede suponer problemas con respecto al proceso de mineralización. El voluntario presenta un genotipo que no incluye el alelo de riesgo	(Keene et al., 2014)

SNP	Gen	Cromosoma	AR	NHAO	Función del gen	Importancia nutrigenética	Referencia
rs1051266	<i>SLC19A1</i>	21:45537880	A	T/T	Proteína llamada RCF1 que actúa como un transportador transmembrana involucrado en el transporte activo de 5-metiltetrahidrofolato desde el plasma hasta el citosol. También interviene en la regulación de la concentración de folato intracelular	El alelo de riesgo está asociado con niveles reducidos de folato en el plasma. Un genotipo que carece de dicho alelo no debería suponer variaciones negativas en los niveles de folato en el plasma	(Yi et al., 2021)
rs602662	<i>FUT2/</i> <i>LOC105447645</i>	19:48703728	G	A/A	Enzima llamada fucosiltransferasa 2 que media la fucosilación de oligosacáridos para la formación de antígenos de superficie. Estos antígenos median la adhesión de diversos patógenos gástricos a la mucosa gástrica y duodenal. El crecimiento excesivo de bacterias gástricas se ha asociado con una deficiencia de la vitamina B12	Actividad reducida de la enzima en portadores del alelo G puede aumentar la susceptibilidad a la infección bacteriana e indirectamente, maslabción de vitamina B12	(Tanaka et al., 2009)
rs1801133	<i>MTHFR</i>	1:11796321	A	G/G	Enzima metilentetrahidrofolato reductasa dependiente de vitaminas. Cataliza el paso de 5,10-metilentetrahidrofolato a 5-metiltetrahidrofolato. Está involucrada en el paso de homocisteína a metionina	Una actividad reducida de esta enzima está relacionada con niveles elevados de homocisteína	Tanaka et al., 2009) (Białecka et al., 2012) (Pita Rodríguez, 1998)

SNP	Gen	Cromosoma	AR	NHAO	Función del gen	Importancia nutrigenética	Referencia
rs1801131	COMT/MIR4761	22:19963748	C	G/G	Enzima catecol-o-metiltransferasa encargada de degradar las catecolaminas. Esta enzima cataliza la transferencia de un grupo metilo de la S-adenosilmetionina a cualquier molécula que tenga un grupo catecol	Alteración del metabolismo del folato. Alelos de riesgo se han relacionado con una posibilidad ligeramente mayor de padecer varios tipos de cáncer cerebral	(Pita Rodríguez, 1998) (Białecka et al., 2012)
rs4680	COMT/MIR4761	22:19963748	A	A/G	Enzima catecol-o-metiltransferasa encargada de degradar las catecolaminas. Esta enzima cataliza la transferencia de un grupo metilo de la S-adenosilmetionina a cualquier molécula que tenga un grupo catecol	El alelo de riesgo provoca un cambio de aminoácido que da lugar a una proteína con una actividad reducida del 25%. Los portadores del alelo A presentan niveles más elevados de dopamina en el córtex prefrontal lo cual puede estar relacionado con diferentes condiciones neurofisiológicas	(Pita Rodríguez, 1998) (Białecka et al., 2012)
rs6269	COMT/MIR4761	22:199622429	A	A/A	Enzima catecol-o-metiltransferasa encargada de degradar las catecolaminas. Esta enzima cataliza la transferencia de un grupo metilo de la S-adenosilmetionina a cualquier molécula que tenga un grupo catecol	El voluntario es homocigoto para el alelo de riesgo. Se sintetiza una proteína con el aminoácido metionina y la actividad de la enzima es menor y los niveles de dopamina son mayores.	(Pita Rodríguez, 1998) (Białecka et al., 2012)

**Tabla 13.** SNPs que afectan a minerales y genotipo del participante voluntario NHA0; función del gen e importancia nutricional. AR:alelo de riesgo.

SNP	Gen	Cromosoma	AR	NHA0	Función del gen	Importancia nutrigenética	Referencia
rs1570669	CYP24A1	20:54157888	A	A/A	Enzimas del citocromo P450. Esta enzima es una monooxigenasa mitocondrial que cataliza reacciones de hidroxilación que conducen a la degradación de 1,25-dihidroxitamina D (forma activa de la vitamina D)	La forma activa de la vitamina D y, por lo tanto, su actividad se encuentra aumentada en el caso de presentar el alelo de riesgo.	(Jaroenlapnopparat et al., 2022) (O'Seaghda et al., 2013)
rs780094	GCKR	2:27518370	G/C/T/A	T/C	Proteína reguladora de la glucoquinasa. Esta proteína se une y mueve a la glucoquinasa y, de esta manera, controla su actividad y ubicación intracelular. Por lo tanto, es clave en el metabolismo de la glucosa. No se conoce claramente la relación de la proteína codificada por este fen con los niveles de calcio	El polimorfismo de este gen está asociado con una mayor susceptibilidad a la diabetes tipo II, niveles reducidos de glucosa plasmática en ayunas y niveles elevados de triglicéridos, así como de calcio	(Chang et al., 2015) (O'Seaghda et al., 2013)
rs1800562	HFE/ LOC108783645	6:26092913	A	G/G	Proteína que interviene en la captación de hierro a nivel intestinal	Un individuo con dos alelos de riesgo puede estar afectado por hemocromatosis. Un individuo heterocigoto es	(Katsarou et al., 2019)

						portador de dicha enfermedad, pero no es habitual que se encuentre afectado por la misma	
<b>rs855791</b>	<i>TMPRSS6</i>	22:37066896	A	A/G	Proteína transmembrana de tipo II que está unida a la superficie celular. A través de la escisión del HJV (regulador de la expresión de la hormona hepcidina), juega un papel importante en la homeostasis del hierro. La hepcidina es la principal hormona que controla las reservas corporales de hierro a través de su capacidad de unión con la ferroportina	El alelo de riesgo está relacionado con un mal funcionamiento de la enzima TMPR226 lo que deriva en cantidades insuficientes de hierro. De esta manera, el organismo es incapaz de sintetizar suficiente hemoglobina y no llegue suficiente oxígeno a las células	(Urbaszek et al., 2021)
<b>rs1175550</b>	<i>SMIM1</i>	1:3774964	A	A/A	Proteína que participa en la formación de glóbulos rojos. Esta proteína se encuentra en la membrana celular y es el antígeno para el grupo sanguíneo Vel. Esta proteína podría estar implicada en la captación de cobre por parte de las células	El alelo de riesgo para este gen supone una leve reducción en la cantidad de glóbulos rojos	(Evans et al., 2013) (Evans et al., 2000)

<b>rs921943</b>	<i>DMGDH</i>	5:79020653	<b>T</b>	<b>T/T</b>	Enzima dimetilglicina deshidrogenasa que cataliza la reacción por la que se pasa de N, N-dimetilglicina, un aceptor y agua a sarcosina, formaldehído y un aceptor reducido	El voluntario es homocigoto para el alelo de riesgo. Parece probable que las variaciones producidas en este locus afecten al metabolismo de los selenoaminoácidos y, por lo tanto, a la concentración de selenio en los eritrocitos	(Evans et al., 2013) (Evans et al., 2000)
<b>rs1550532</b>	<i>DGKD</i>	2:233356202	<b>C</b>	<b>C/C</b>	Enzima diacilglicerol quinasa delta que fosforila el diacilglicerol para la producción de ácido fosfatídico	El voluntario presenta un genotipo homocigoto para el alelo de riesgo, que se ha asociado con niveles elevados de calcio sérico. Así todo, no se ha observado relación entre dichos niveles y la densidad mineral ósea o un mayor riesgo de fracturas	(Cerani et al., 2019)

### 4.3 Informe nutrigenético

Para establecer una dieta personalizada, ha sido preciso tener en cuenta sus hábitos dietéticos previos, su gasto energético diario, su composición corporal y una serie de polimorfismos genéticos.

Dado que existen diversos desequilibrios en los niveles de vitaminas y minerales presentados por el voluntario NHA0, la dieta diseñada para él debe conseguir un reajuste de dichos desequilibrios. Para ello, se deberán consumir alimentos que contribuyan a reducir los niveles de minerales e incrementar o reducir algunos niveles de vitaminas.

El voluntario debería aumentar el consumo de alimentos tales como verduras, legumbres, nueces y semillas. Todos estos alimentos consiguen aumentar los niveles de vitamina A, vitamina D, vitamina K1 y vitamina B3. El voluntario ha de moderar el consumo de aceite de oliva y frutos secos para evitar un incremento de los niveles de vitamina C. Todos los alimentos mencionados actúan como fuente importante de fibra que contribuye a la absorción de ciertos minerales (Carbajal Azcona, 2001).

Asimismo, el consumo de pescado, marisco, carne roja y productos lácteos es moderado para favorecer la regulación de los niveles de vitamina B12, que se encuentran incrementados con respecto a los valores de referencia proporcionados por la AESAN (Calleja et al., 2024).

Así todo, es necesario prestar atención a posibles desequilibrios que puedan deberse en parte a un factor genético. Después de realizar un análisis de la dieta del voluntario se observó que el consumo de vitamina B6 del voluntario estaba ligeramente por encima de los valores de ingesta recomendada por la AESAN (Calleja et al., 2024). Aunque este dato podría indicar que NHA0 no tiene problema con los niveles de esta vitamina, el genotipo del individuo podría indicar otra cosa. El alelo de riesgo del SNP rs4654748 está asociado con niveles reducidos de vitamina B6 circulante en la sangre (Tanaka et al., 2009). El voluntario es homocigoto C/C para ese alelo de riesgo. Por lo tanto, es necesario que el voluntario asegure una buena ingesta de vitamina B6 a través de su alimentación, incluyendo alimentos que son fuente de esta vitamina, como es el caso de legumbres o frutos secos.

El consumo de vitamina D del voluntario es 3 veces inferior a los valores recomendados por la AESAN (Calleja et al., 2024). Este dato en sí, ya supone un riesgo de deficiencia de vitamina D. Pero, además, el voluntario es homocigoto para el alelo de riesgo del SNP rs1570669. Este SNP se encuentra en el gen que codifica una enzima del citocromo P450. Esta enzima es una

monooxigenasa mitocondrial que cataliza reacciones de hidroxilación que conducen a la degradación de 1,25-dihidroxitamina D (forma activa de la vitamina D). Por lo tanto, una mayor actividad de esta enzima da lugar a menores niveles de la forma activa de la misma. La vitamina D juega un papel fundamental en diferentes procesos como la mineralización de los huesos o la regulación del sistema inmune (Delrue & Speeckaert, 2023). Por tanto, la baja ingesta en la dieta y la presencia de un SNP que acelera la eliminación de la forma activa de la vitamina D3 suponen un riesgo para el voluntario. Para evitar niveles bajos de esta vitamina, el voluntario debería incluir en su dieta alimentos ricos en este microelemento como pescados grasos, lácteos o productos fortificados. Los niveles de vitamina D también podrían ser incrementados con una mayor exposición solar.

El voluntario también presenta variantes genéticas de riesgo en cuanto a los niveles de minerales. NHA0 presenta un alelo de riesgo para el SNP rs85579 y esta variante da lugar a una menor actividad de la enzima TMPRSS2, la cual es clave en la homeostasis del hierro. Los individuos con el alelo de riesgo tienen menores niveles circulantes de hierro (Urbaszek et al., 2021). Aunque la ingesta de hierro del voluntario NHA0 se encuentra por encima de las recomendaciones de la AESAN (Calleja et al., 2024), deberá prestarse especial atención a este oligoelemento ya que la variante genética que porta puede dar lugar a una menor absorción del hierro. El voluntario debería consumir alimentos que sean fuentes de hierro como legumbres, carne o huevos.

## 5. CONCLUSIONES

---

En el marco de los objetivos de este Trabajo de Fin de Grado, se realizó un análisis nutrigenético a un voluntario identificado como NHA0. A partir de este análisis, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Las mediciones antropométricas del voluntario se ajustan mayoritariamente a los parámetros estándar, a excepción del peso y del pliegue tricípital, cuyos valores se encuentran aumentados en comparación con los valores habituales. El informe de bioimpedancia revela que el voluntario presenta un estado de sobrepeso de grado II (preobesidad). No obstante, se observa que el principal contribuyente a su peso es la masa musculoesquelética, y no la masa grasa, que se mantiene dentro de los valores normales.
- Los datos recogidos sobre la cantidad de agua corporal indican que el voluntario tiene una distribución de fluidos saludable. Sin embargo, es necesario que el voluntario reduzca su ingesta calórica diaria para que se ajuste al consumo energético reportado por el programa Alimentador.
- Se detectaron desregulaciones en los niveles de ingesta de algunas vitaminas y minerales que pueden ser corregidas a través de una dieta adecuada. Los niveles de ingesta de vitamina A, vitamina D, vitamina K1, vitamina B3 y vitamina C fueron bajos, mientras que los niveles de vitamina E, vitamina B12 y folatos resultaron elevados. Además, la mayoría de los minerales superaban la ingesta recomendada.
- Se estudiaron 24 SNPs relacionados con el metabolismo de los micronutrientes y se identificaron polimorfismos que afectan al equilibrio de las vitaminas y los minerales. El voluntario es homocigoto para el alelo de riesgo del SNP rs4654748, el cual está relacionado con niveles bajos de vitamina B6 en la sangre. Por ello, el voluntario ha de asegurar una buena ingesta de esta vitamina B6. Además, presenta el alelo de riesgo para el SNP rs1570669 lo que supone una mayor degradación de la forma activa de la vitamina D. La baja ingesta alimentaria de esta vitamina junto con la presencia de un SNP que acelera su degradación requiere la inclusión de fuentes dietéticas de vitamina D en la dieta del voluntario. Además, el voluntario debe consumir alimentos que actúen como fuentes de hierro ya que porta un alelo de riesgo para el SNP rs85579, que se asocia con una menor absorción de este mineral.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

---

- Agriello, M. F., Buonsante, M. E., Franco, C., Abeldaño, A., Neglia, V., Zylberman, M., Pellerano, G., Florencia Agriello, M., & Pellerano Escorbuto, G. (2010). *Casos Clínicos Escorbuto: una entidad que aún existe en la medicina moderna. Scurvy still exists in modern medicine. In Med Cutan Iber Lat Am, 38(2).* [www.mediagraphic.org.mx](http://www.mediagraphic.org.mx)
- Alvarellos, M. L., Sangkuhl, K., Daneshjou, R., Whirl-Carrillo, M., Altman, R. B., & Klein, T. E. (2015). *PharmGKB summary: Very important pharmacogene information for CYP4F2. In Pharmacogenetics and Genomics, 25(1), 41–47.* <https://doi.org/10.1097/FPC.000000000000100>
- Antonio Checa Caratachea, M. (2007). *Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas mediagraphic.com. Polimorfismos genéticos: Importancia y aplicaciones. In Segunda Época, 20.* [www.iner.gob.mx](http://www.iner.gob.mx)
- Arthur Harris, B. J., & Benedict, F. G. (1914). *Grundzilge der Mengenlehre. In Bulletin of the American Mathematical Society, 23.* Veit & Co.
- Asghari, G., Yuzbashian, E., Najd-Hassan-Bonab, L., Mirmiran, P., Daneshpour, M. S., & Azizi, F. (2023). *Association of rs2282679 polymorphism in vitamin D binding protein gene (GC) with the risk of vitamin D deficiency in an iranian population: season-specific vitamin D status. BMC Endocrine Disorders, 23(1).* <https://doi.org/10.1186/s12902-023-01463-7>
- Bautista-García, P. B. (2021). *El efecto de la microbiota sobre la fisiología de las barreras hematotisulares. In Revista Médica Del Instituto Mexicano Del Seguro Social, 58(4).* <https://doi.org/10.24875/rmimss.m20000073>
- Białecka, M., Kurzawski, M., Roszmann, A., Robowski, P., Sitek, E. J., Honczarenko, K., Gorzkowska, A., Budrewicz, S., Mak, M., Jarosz, M., GołÄ, M., Kozirowska-Gawron, E., Drożdżik, M., & Sławek, J. (2012). *Association of COMT, MTHFR, and SLC19A1(RFC-1) polymorphisms with homocysteine blood levels and cognitive impairment in Parkinson's disease. Pharmacogenetics and Genomics, 22(10), 716–724.* <https://doi.org/10.1097/FPC.0b013e32835693f7>
- Blasco Redondo, R. (2015). *Gasto energético en reposo. Métodos de evaluación y aplicaciones. In Revista Española de Nutrición Comunitaria, 21, 243–251.* <https://doi.org/10.14642/RENC.2015.21.sup1.5071>
- Borel, P., Dangles, O., & Kopec, R. E. (2023). *Fat-soluble vitamin and phytochemical metabolites: Production, gastrointestinal absorption, and health effects. In Progress in Lipid Research, 90.* <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2023.101220>
- Brookes, A. J. (1999). *The essence of SNPs. In Gene, 234.* [www.elsevier.com/locate/gene](http://www.elsevier.com/locate/gene)

- Brown, L., & Challem, Jack. (2007). *Vitaminas y minerales esenciales para la salud: los nutrientes fundamentales para potenciar tu energía y aumentar tu vitalidad*. Nowtilus.
- Calleja, C. A., Hurtado, C., Daschner, Á., Fernández Escámez, P., Manuel, C., Abuín, F.-C., María, R., Pons, G., Fandos, E. G., José González Muñoz, M., García, E. L., Mañes Vinuesa, J., Sillué, S. M., Alfredo Martínez Hernández, J., José, F., Navas, M., More-No Arribas, V., Del Puy, M., Baquedano, P., ... Blanco, C. (2024). *Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre Ingestas Nutricionales de Referencia para la población española* Miembros del Comité Científico Colaboradores externos Ramón Estruch Riba. [https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad\\_alimentaria/evaluacion\\_riesgos/informes\\_comite/INR.pdf](https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/evaluacion_riesgos/informes_comite/INR.pdf)
- Carbajal Azcona, Á. (2012). La “dieta mediterránea” como ejemplo de dieta prudente y saludable. Importancia de los alimentos de origen vegetal y de sus componentes bioactivos. In *Revista Chilena de Nutrición*, 28(2), 224-236. <http://hdl.handle.net/20.500.14352/45932>
- Castillo Velarde, E. R. (2019). Vitamina C en la salud y en la enfermedad. In *Revista de La Facultad de Medicina Humana*, 19(4), 95–100. <https://doi.org/10.25176/rfmh.v19i4.2351>
- Cerani, A., Zhou, S., Forgetta, V., Morris, J. A., Trajanoska, K., Rivadeneira, F., Larsson, S. C., Michaëlsson, K., & Richards, J. B. (2019). Genetic predisposition to increased serum calcium, bone mineral density, and fracture risk in individuals with normal calcium levels: Mendelian randomisation study. In *The BMJ*, 366. <https://doi.org/10.1136/bmj.l4410>
- Chang, X., Li, J., Guo, Y., Wei, Z., Mentch, F. D., Hou, C., Zhao, Y., Qiu, H., Kim, C., Sleiman, P. M. A., & Hakonarson, H. (2015). Genome-wide association study of serum minerals levels in children of different ethnic background. In *PLoS ONE*, 10(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123499>
- Chen, J., & Tian, W. (2016). Explaining the disease phenotype of intergenic SNP through predicted long-range regulation. In *Nucleic Acids Research*, 44(18), 8641–8654. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw519>
- Chen, K. C., Hsueh, W. T., Ou, C. Y., Huang, C. C., Lee, W. T., Fang, S. Y., Tsai, S. T., Huang, J. S., Wong, T. Y., Wu, J. L., Yen, C. J., Wu, Y. H., Lin, F. C., Yang, M. W., Chang, J. Y., Liao, H. C., Wu, S. Y., Hsiao, J. R., Lin, C. L., ... Chang, J. S. (2015). Alcohol drinking obliterates the inverse association between serum retinol and risk of head and neck cancer. In *Medicine (United States)*, 94(26). <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000001064>

- Chen, R., Davydov, E. V., Sirsota, M., & Butte, A. J. (2010). *Non-synonymous and synonymous coding SNPs show similar likelihood and effect size of human disease association*. In *PLoS ONE*, 5(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013574>
- Corbalán, M., Cuervo, M., Baladia, E., Alfredo Martínez, J., Cabrerizo, L., Gargallo, M., Iglesias, C., Lorenzo, H., Planas, M., Polanco, I., Quiles, J., Romero De Ávila, L., Russolillo, G., & Villarino, A. (2024). *Capítulo 2: Ingestas Dietéticas de referencia: Conceptos y evolución histórica* Autores: Junta directiva FESNAD Nutricionistas (GREP-AED-N) 4 Sociedad Española de Endocrinología y Nutrición (SEEN) 5 Sociedad Española para el Estudio de la Obesidad (SEEDO) 6 Sociedad Española de Nutrición Básica y Aplicada (SENBA). [https://sennutricion.org/media/Docs\\_Consenso/4-IDR\\_Poblacion\\_Espanola-FESNAD\\_2010\\_C2-IDR](https://sennutricion.org/media/Docs_Consenso/4-IDR_Poblacion_Espanola-FESNAD_2010_C2-IDR).
- Defagó, M. D., & Eynard, A. R. (2022). *Potenciales de la nutrigenética en el abordaje y tratamiento de enfermedades cardiovasculares y factores de riesgo asociados*. In *Revista de La Facultad de Ciencias Médicas de Córdoba*, 79(2), 168–180. <https://doi.org/10.31053/1853.0605.v79.n2.30289>
- Dekker, M. (1991). *Handbook of Vitamins: Nutritional, Biochemical and Clinical Aspect*.
- Delrue, C., & Speeckaert, M. M. (2023). *Vitamin D and Vitamin D-Binding Protein in Health and Disease*. In *International Journal of Molecular Sciences*, 24(5). <https://doi.org/10.3390/ijms24054642>
- *Dietary Reference Values for nutrients Summary report*. (2017). *EFSA Supporting Publications*, 14(12). <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2017.e15121>
- Durnin, J. V. G. A., & Womersley, J. (1974). *Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 Years*. In *British Journal of Nutrition*, 32(01), 77–97. <https://doi.org/10.1079/bjn19740060>
- Evans, D. M., Zhu, G., Dy, V., Heath, A. C., Madden, P. A. F., Kemp, J. P., McMahon, G., Pourcain, B. S., Timpson, N. J., Golding, J., Lawlor, D. A., Steer, C., Montgomery, G. W., Martin, N. G., Smith, G. D., & Whitfield, J. B. (2013). *Genome-wide association study identifies loci affecting blood copper, selenium and zinc*. In *Human Molecular Genetics*, 22(19), 3998–4006. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddt239>
- Evans, D. M., Zhu, G., Dy, V., Heath, A. C., Madden, P. A. F., Kemp, J. P., McMahon, G., Pourcain, B. S., Timpson, N. J., Golding, J., Lawlor, D. A., Steer, C., Montgomery, G. W., Martin, N. G., Smith, G. D., & Whitfield, J. B. (2013). *Genome-wide association study*

- identifies loci affecting blood copper, selenium and zinc. *Human Molecular Genetics*, 22(19), 3998–4006. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddt239>
- Fawzi, W. W., & Wang, D. (2021). *When should universal distribution of periodic high-dose vitamin A to children cease?* In *American Journal of Clinical Nutrition*, 113(4), 769–771. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa428>
  - Fenech, M., El-Soheby, A., Cahill, L., Ferguson, L. R., French, T. A. C., Tai, E. S., Milner, J., Koh, W. P., Xie, L., Zucker, M., Buckley, M., Cosgrove, L., Lockett, T., Fung, K. Y. C., & Head, R. (2011). *Nutrigenetics and nutrigenomics: Viewpoints on the current status and applications in nutrition research and practice.* In *Journal of Nutrigenetics and Nutrigenomics*, 4(2), 69–89. <https://doi.org/10.1159/000327772>
  - Fernández Falcón, L. D., García González, G., Creagh Banderas, I. M., Fernández Betancourt, Y., & Figueras Savón, A. (2013). *Algunas consideraciones acerca de la tiamina o vitamina B1.* In *Revista Información Científica*, 81(5). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6146104>
  - Ferrucci, L., Perry, J. R. B., Matteini, A., Perola, M., Tanaka, T., Silander, K., Rice, N., Melzer, D., Murray, A., Cluett, C., Fried, L. P., Albanes, D., Corsi, A. M., Cherubini, A., Guralnik, J., Bandinelli, S., Singleton, A., Virtamo, J., Walston, J., ... Frayling, T. M. (2008). *Common variation in the  $\beta$ -carotene 15,15'-monooxygenase 1 gene affects circulating levels of carotenoids: A genome-wide association study.* In *American Journal of Human Genetics*, 84(2), 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2008.12.019>
  - Floris, M., Cano, A., Porru, L., Addis, R., Cambedda, A., Idda, M. L., Steri, M., Ventura, C., & Maioli, M. (2020). *Direct-to-consumer nutrigenetics testing: An overview.* In *Nutrients*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/nu12020566>
  - Godínez-Rubí, M., Valle-Anaya, M. G., & Anaya-Prado, R. (2012). *Vitaminas hidrosolubles y su efecto sobre la expresión génica Water-soluble vitamins and their effect on genic expression.* In *Revista Latinoamericana de Cirugía*, 2(1). [www.mediagraphic.org.mxwww.mediagraphic.org.mx](http://www.mediagraphic.org.mxwww.mediagraphic.org.mx)
  - Hayashida, I., Tanimoto, Y., Takahashi, Y., Kusabiraki, T., & Tamaki, J. (2014). *Correlation between muscle strength and muscle mass, and their association with walking speed, in community-dwelling elderly Japanese individuals.* In *PLoS ONE*, 9(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111810>
  - Iluț, S., Vesa, Ș. C., Văcăraș, V., Șipoș-Lascu, D., Bârsan, C., Pop, R. M., Crișan, S., MacArie, A. E., Coadă, C. A., Perju-Dumbravă, L., Muresanu, D. F., & Buzoianu, A. D. (2023). *Association among VKORC1 rs9923231, CYP4F2 rs2108622, GGCX rs11676382*

- polymorphisms and acute ischemic stroke. In Medicine (United States), 102(34).*  
<https://doi.org/10.1097/MD.00000000000034836>
- Jaroenlapnopparat, A., Suppakitjanusant, P., Ponvilawan, B., & Charoenngam, N. (2022). *Vitamin D-Related Genetic Variations and Nonalcoholic Fatty Liver Disease: A Systematic Review. In International Journal of Molecular Sciences, 23(16).*  
<https://doi.org/10.3390/ijms23169122>
  - Jiménez, R., Martos, E., & Díaz, M. (2005). *Metabolismo del hierro. In Anales de Pediatría Continuada, 3(6), 352–356.* [https://doi.org/10.1016/S1696-2818\(05\)74773-9](https://doi.org/10.1016/S1696-2818(05)74773-9)
  - Katsarou, M. S., Papasavva, M., Latsi, R., & Drakoulis, N. (2019). *Hemochromatosis: Hereditary hemochromatosis and HFE gene. In Vitamins and Hormones, 10, 201–222.*  
<https://doi.org/10.1016/bs.vh.2019.01.010>
  - Keene, K. L., Chen, W. M., Chen, F., Williams, S. R., Elkhatib, S. D., Hsu, F. C., Mychaleckyj, J. C., Doheny, K. F., Pugh, E. W., Ling, H., Laurie, C. C., Gogarten, S. M., Madden, E. B., Worrall, B. B., & Sale, M. M. (2014). *Genetic associations with plasma B12, B6, and folate levels in an ischemic stroke population from the vitamin intervention for stroke prevention (VISP) trial. In Frontiers in Public Health, 2(AUG).*  
<https://doi.org/10.3389/fpubh.2014.00112>
  - Kraissid Tontisirin & MacLean, William C., 1940- & Warwick, Penny & Food and Agriculture Organization of the United Nations & Technical Workshop on Food Energy - Methods of Analysis and Conversion Factors, (2002: Rome, Italy). (2003). *Food energy - methods of analysis and conversion factors: report of a technical workshop, Rome, 3-6 December 2002. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations* Urbaszek, K., Drabińska, N., Szaflarska-Popławska, A., & Jarocka-Cyrta, E. (2021). *Tmprss6 rs855791 polymorphism status in children with celiac disease and anemia. Nutrients, 13(8).*  
<https://doi.org/10.3390/nu13082782>
  - Kris-Etherton, P. M., Petersen, K. S., Hibbeln, J. R., Hurley, D., Kolick, V., Peoples, S., Rodriguez, N., & Woodward-Lopez, G. (2021). *Nutrition and behavioral health disorders: Depression and anxiety. In Nutrition Reviews, 79(3), 247–260.*  
<https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa025>
  - Lahoda Brodska, H., Klempir, J., Zavora, J., & Kohout, P. (2023). *The Role of Micronutrients in Neurological Disorders. In Nutrients, 15(19).* <https://doi.org/10.3390/nu15194129>
  - Li, Y., Xi, B., Li, K., & Wang, C. (2012). *Association between vitamin D receptor gene polymorphisms and bone mineral density in Chinese women. In Molecular Biology Reports, 39(5), 5709–5717.* <https://doi.org/10.1007/s11033-011-1380-3>

- Lipner, S. R. (2018). *Rethinking biotin therapy for hair, nail, and skin disorders*. In *Journal of the American Academy of Dermatology*, 78(6), 1236–1238. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2018.02.018>
- Lu, L., Sheng, H., Li, H., Gan, W., Liu, C., Zhu, J., Loos, R. J. F., & Lin, X. (2012). *Associations between common variants in GC and DHCR7/NADSYN1 and vitamin D concentration in Chinese Hans*. In *Human Genetics*, 131(3), 505–512. <https://doi.org/10.1007/s00439-011-1099-1>
- Major, J. M., Yu, K., Chung, C. C., Weinstein, S. J., Yeager, M., Wheeler, W., Snyder, K., Wright, M. E., Virtamo, J., Chanock, S., & Albanes, D. (2012). *Genome-wide association study identifies three common variants associated with serologic response to Vitamin E supplementation in men*. In *Journal of Nutrition*, 142(5), 866–871. <https://doi.org/10.3945/jn.111.156349>
- Marcum, J. A. (2020). *Nutrigenetics/Nutrigenomics, Personalized Nutrition, and Precision Healthcare*. In *Current Nutrition Reports*, 9(4), 338–345. <https://doi.org/10.1007/s13668-020-00327-z>
- Marti, A, Moreno-Aliaga, M.<sup>ª</sup> J, Zulet, M.<sup>ª</sup> A, & Martínez, J. A. (2005). *Avances en nutrición molecular: nutrigenómica y/o nutrigenética*. In *Nutrición Hospitalaria*, 20(3), 157-164. Recuperado en 22 de junio de 2024, de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0212-16112005000400001&lng=es&tlng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112005000400001&lng=es&tlng=es)
- Martínez de Victoria, E. (2016). *El calcio, esencial para la salud*. In *Nutrición Hospitalaria*, 33, 26–31. <https://doi.org/10.20960/nh.341>
- Martínez-Larrad, M. T., Fernández-Pérez, C., Corbatón-Anchuelo, A., Gabriel, R., Lorenzo, C., & Serrano-Ríos, M. (2011). *Revised waist circumference cut-off points for the criteria of abdominal obesity in the Spanish population: Multicenter nationwide Spanish population-based study*. In *Avances En Diabetologia*, 27(5), 168–174. <https://doi.org/10.1016/j.avdiab.2011.09.003>
- Mehdi, Y., Hornick, J. L., Istasse, L., & Dufrasne, I. (2013). *Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions*. In *Molecules*, 18(3), 3292–3311. <https://doi.org/10.3390/molecules18033292>
- Mierziak, J., Kostyn, K., Boba, A., Czemplik, M., Kulma, A., & Wojtasik, W. (2021). *Influence of the bioactive diet components on the gene expression regulation*. In *Nutrients*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/nu13113673>

- Mladěnka, P., Macáková, K., Kujovská Krčmová, L., Javorská, L., Mrštná, K., Carazo, A., Protti, M., Remião, F., & Nováková, L. (2022). *Vitamin K - sources, physiological role, kinetics, deficiency, detection, therapeutic use, and toxicity*. In *Nutrition Reviews*, 80(4), 677–698. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuab061>
- Monserrat, P., Camacho, R., Dolores, M., Serrano, M., Francisco, J., & Collazos, R. (2017). *Universidad Complutense de Madrid. Facultad de ciencias biológicas departamento de zoología y antropología física. Tesis doctoral. Valores de referencia de composición corporal para población española adulta, obtenidos mediante antropometría, impedancia eléctrica (BIA) tetrapolar e interactancia de infrarrojos*.
- Munns, C., Zacharin, M. R., Rodda, C. P., Batch, J. A., Morley, R., Cranswick, N. E., Craig, M. E., Cutfield, W. S., Hofman, P. L., Taylor, B. J., Grover, S. R., Pasco, J. A., Burgner, D., & Cowell, C. T. (2006). *Prevention and treatment of infant and childhood vitamin D deficiency in Australia and New Zealand: A consensus statement*. In *Medical Journal of Australia*, 185(5), 268–272. <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.2006.tb00558.x>
- Mustacich, D. J., Bruno, R. S., & Traber, M. G. (2007). *Vitamin E*. In *Vitamins and Hormones*, 76, 1–21. [https://doi.org/10.1016/S0083-6729\(07\)76001-6](https://doi.org/10.1016/S0083-6729(07)76001-6)
- National Institutes of Health. (2024a). *Datos sobre el potasio*. <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Potassium-DatosEnEspanol/>
- National Institutes of Health. (2024b). *¿Qué es el folato? ¿Para qué sirve?* <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Folate-DatosEnEspanol/>
- National Institutes of Health. (2024c). *¿Qué es el fósforo? ¿Para qué sirve?* <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Phosphorus-DatosEnEspanol/>
- National Institutes of Health. (2024d). *¿Qué es el hierro? ¿Para qué sirve?* <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Iron-DatosEnEspanol/>
- National Institutes of Health. (2024e). *¿Qué es el selenio? ¿Para qué sirve?* <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Selenium-DatosEnEspanol/>
- National Institutes of Health. (2024f). *¿Qué es el zinc y qué beneficios aporta?* <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Zinc-DatosEnEspanol/>
- National Institutes of Health. (2024g). *¿Qué es la niacina? ¿Para qué sirve?* <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Niacin-DatosEnEspanol/>
- National Institutes of Health. (2024h). *¿Qué es la riboflavina? ¿Para qué sirve?* <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Riboflavin-DatosEnEspanol/>
- National Institutes of Health. (2024i). *¿Qué es la vitamina B12? ¿Para qué sirve?* <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminB12-DatosEnEspanol/>

- National Institutes of Health. (2024j). ¿Qué es la vitamina E? ¿Para qué sirve? <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminE-DatosEnEspanol/>
- National Institutes of Health. (2024k). ¿Qué son la vitamina A y los carotenoides y para qué sirven? <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminA-DatosEnEspanol/>
- Ordovas, J. M., Ferguson, L. R., Tai, E. S., & Mathers, J. C. (2018). Personalised nutrition and health. In *BMJ (Online)*, 361. <https://doi.org/10.1136/bmj.k2173>
- O'Seaghda, C. M., Wu, H., Yang, Q., Kapur, K., Guessous, I., Zuber, A. M., Köttgen, A., Stoudmann, C., Teumer, A., Kutalik, Z., Mangino, M., Dehghan, A., Zhang, W., Eiriksdottir, G., Li, G., Tanaka, T., Portas, L., Lopez, L. M., Hayward, C., ... Bochud, M. (2013). Meta-Analysis of Genome-Wide Association Studies Identifies Six New Loci for Serum Calcium Concentrations. In *PLoS Genetics*, 9(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1003796>
- Palou, A. (2007). From nutrigenomics to personalised nutrition. In *Genes and Nutrition*, 2(1), 5–7. <https://doi.org/10.1007/s12263-007-0022-9>
- Pervjakova, N., Moen, G. H., Borges, M. C., Ferreira, T., Cook, J. P., Allard, C., Beaumont, R. N., Canouil, M., Hatem, G., Heiskala, A., Joensuu, A., Karhunen, V., Kwak, S. H., Lin, F. T. J., Liu, J., Rifas-Shiman, S., Tam, C. H., Tam, W. H., Thorleifsson, G., ... Mägi, R. (2022). Multi-ancestry genome-wide association study of gestational diabetes mellitus highlights genetic links with type 2 diabetes. In *Human Molecular Genetics*, 31(19), 3377–3391. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddac050>
- Pita Rodríguez, G. (1998). Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos. Ácido Fólico y vitamina B12 en la nutrición humana. In *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 12(2). [https://www.academia.edu/31260002/Instituto\\_de\\_Nutrici%C3%B3n\\_e\\_Higiene\\_de\\_lo\\_s\\_Alimentos\\_%C3%81CIDO\\_F%C3%93LICO\\_Y\\_VITAMINA\\_B\\_12\\_EN\\_LA\\_NUTRICI%C3%93N\\_HUMANA](https://www.academia.edu/31260002/Instituto_de_Nutrici%C3%B3n_e_Higiene_de_lo_s_Alimentos_%C3%81CIDO_F%C3%93LICO_Y_VITAMINA_B_12_EN_LA_NUTRICI%C3%93N_HUMANA)
- Portin, P., & Wilkins, A. (2017). The evolving definition of the term “Gene.” In *Genetics*, 205(4), 1353–1364. <https://doi.org/10.1534/genetics.116.196956>
- Ramensky, V., & Sunyaev, S. (2002). Human non-synonymous SNPs: server and survey. <http://strand.imb.ac.ru/PSIC/>
- Ramírez-Bello, J., Vargas-Alarcón, G., Tovilla-Zárate, C., Fragoso, J. M., & Badiano, J. (2013). Polimorfismos de un solo nucleótido (SNP): implicaciones funcionales de los SNP reguladores (rSNP) y de los SNP-ARN estructurales (srSNP) en enfermedades complejas *Gaceta Médica de México*. 2013; 149:220-8 Artículo de Revisión correspondencia. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/projects/>

- Rosenberg, J., Ischebeck, T., & Commichau, F. M. (2017). *Vitamin B6 metabolism in microbes and approaches for fermentative production*. In *Biotechnology Advances*, 35(1), 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.11.004>
- Sánchez, A., Puché, R., Zeni, S., Oliveri, B., Galich, A. M., Maffei, L., Plantalech, L., Poudes, G., & Bregni, C. (2002). *Revista española de enfermedades metabólicas óseas*. In *REEMO*, 11(6). <http://www.elsevier.es/es-revista-reemo-70-articulo-papel-calcio-vitamina-dsalud-osea-parte-13043393>
- SEEDO. (2016). *ConsensoSEEDO2016*.
- Shastry, B. S. (2009). *SNPs: impact on gene function and phenotype*. In *Methods in molecular biology (Clifton, N.J.)*, 578, 3–22. [https://doi.org/10.1007/978-1-60327-411-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-60327-411-1_1)
- Song, P., Adeloje, D., Li, S., Zhao, D., Ye, X., Pan, Q., Qiu, Y., Zhang, R., & Rudan, I. (2023). *The prevalence of vitamin A deficiency and its public health significance in children in low and middle-income countries: A systematic review and modelling analysis*. In *Journal of Global Health*, 13. University of Edinburgh. <https://doi.org/10.7189/JOGH.13.04084>
- Stabler, S. P. (2013). *Clinical practice. Vitamin B12 deficiency*. In *The New England Journal of Medicine*, 368(2), 149–160. <https://doi.org/10.1056/NEJMcp1113996>
- Stevenazzi, D. M. (2010). *Metabolismo del hierro*, 32, 11-20. <https://biblat.unam.mx/hevila/Archivosdemedicinainterna/2010/vol32/supl2/2.pdf>
- Szydłowska, I., Nawrocka-Rutkowska, J., Brodowska, A., Marciniak, A., Starczewski, A., & Szczuko, M. (2022). *Dietary Natural Compounds and Vitamins as Potential Cofactors in Uterine Fibroids Growth and Development*. In *Nutrients*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/nu14040734>
- Taboada Lugo, N. (2017). *El zinc y el cobre: micronutrientes esenciales para la salud humana*. In *Acta Médica del Centro*, 11(2). <http://www.revactamedicacentro.sld.cu>
- Tanaka, T., Scheet, P., Giusti, B., Bandinelli, S., Piras, M. G., Usala, G., Lai, S., Mulas, A., Corsi, A. M., Vestri, A., Sofi, F., Gori, A. M., Abbate, R., Guralnik, J., Singleton, A., Abecasis, G. R., Schlessinger, D., Uda, M., & Ferrucci, L. (2009). *Genome-wide Association Study of Vitamin B6, Vitamin B12, Folate, and Homocysteine Blood Concentrations*. In *American Journal of Human Genetics*, 84(4), 477–482. <https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2009.02.011>
- Tipton, K. D. (2015). *Nutritional Support for Exercise-Induced Injuries*. In *Sports Medicine*, 45,93–104. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0398-4>

- Kraisd Tontisirin & MacLean, William C., 1940- & Warwick, Penny & Food and Agriculture Organization of the United Nations & Technical Workshop on Food Energy - Methods of Analysis and Conversion Factors, (2002: Rome, Italy). (2003). *Food energy - methods of analysis and conversion factors: report of a technical workshop, Rome, 3-6 December 2002*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations Urbaszek, K., Drabińska, N., Szaflarska-Popławska, A., & Jarocka-Cyrta, E. (2021). *Tmprss6 rs855791 polymorphism status in children with celiac disease and anemia*. *Nutrients*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/nu13082782>
- Vaquero Rodrigo, M. P., & Navarro Martos, M. P. (2013). *Libro blanco de la nutrición en España*. [https://www.academia.edu/9625722/Libro\\_Blanco\\_Nutricion\\_Esp\\_2013](https://www.academia.edu/9625722/Libro_Blanco_Nutricion_Esp_2013)
- Vicedecano, D., Ramón Mejía, O., Ruiz, M., Clavijo Grimaldi, D., Alfonso García, G. M., Lorena Ruiz, A., García Cardona, A., & Alfonso Casadiego, C. (2006). *Bases biológicas y patobiológicas humanas del metabolismo del cobre*. In *Universitas Medica*, 47(1). <https://www.imbiomed.com.mx/articulo.php?id=43898>
- Voltan, G., Cannito, M., Ferrarese, M., Ceccato, F., & Camozzi, V. (2023). *Vitamin D: An Overview of Gene Regulation, Ranging from Metabolism to Genomic Effects*. In *Genes*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/genes14091691>
- Voutsadakis, I. A. (2020). *Vitamin D receptor (VDR) and metabolizing enzymes CYP27B1 and CYP24A1 in breast cancer*. In *Molecular Biology Reports*, 47(12), 9821–9830. <https://doi.org/10.1007/s11033-020-05780-1>
- Yabuta, S., Urata, M., Kun, R. Y. W., Masaki, M., & Shidoji, Y. (2016). *Common SNP rs6564851 in the BCO1 gene affects the circulating levels of β-Carotene and the daily intake of carotenoids in healthy Japanese women*. In *PLoS ONE*, 11(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168857>
- Yi, K., Ma, Y. H., Wang, W., Zhang, X., Gao, J., He, S. E., Xu, X. M., Ji, M., Guo, W. F., & You, T. (2021). *The roles of reduced folate carrier-1 (RFC1) A80G (rs1051266) polymorphism in congenital heart disease: A meta-analysis*. In *Medical Science Monitor*, 27. <https://doi.org/10.12659/MSM.929911>
- Yun, G., Baek, S. H., & Kim, S. (2023). *Evaluation and management of hypernatremia in adults: clinical perspectives*. In *Korean Journal of Internal Medicine*, 38(3), 290–302. <https://doi.org/10.3904/kjim.2022.346>
- Zeng, Z., Cen, Y., Wang, L., & Luo, X. (2023). *Association between dietary inflammatory index and Parkinson's disease from National Health and Nutrition Examination Survey*

(2003–2018): a cross-sectional study. *Frontiers in Neuroscience*, 17.  
<https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1203979>

## 7. ANEXOS

### ANEXO I: CONSENTIMIENTO INFORMADO AL VOLUNTARIO



#### **DOCUMENTO INFORMATIVO**

Actividade de investigación: Traballo Fin de Grao "Estudio dos polimorfismos xenéticos implicados no balance de micronutrientes".

Responsable: María Rodríguez Padrón, alumna do Grao en Bioquímica da USC.

#### **Breve descripción do proxecto:**

Neste proxecto realizarase un test nutrixenético comercial da empresa 24genetics ao suxeito. A continuación, interpretaranse os resultados mediante o uso de bases de datos xenéticas e ferramentas de visualización de datos. A finalidade última é elaborar un informe nutrixenético para optimizar a súa nutrición e mellorar, así, a súa saúde. Os resultados serán utilizados para a elaboración do Traballo de Fin de Grao de María Rodríguez Padrón, sendo esta unha materia de cuarto curso do Grao en Bioquímica. A consulta do programa da materia pode facerse no seguinte enlace web: <https://www.usc.gal/gv/estudos/graos/ciencias/grao-bioquimica/20232024/traballo-grao-17866-17089-2-99249>.

#### **Información sobre as intervencións:**

Realización dun test nutrixenético comercial utilizando unha mostra de saliva, do que se extraerá información sobre as particularidades xenéticas do participante en relación a súa alimentación e nutrición. Este test, non é un test de diagnóstico médico. O documento de información ao participante e consentimento para este test de saliva será entregado ao participante no momento da toma de mostras para a súa sinatura por duplicado (con entrega de copia), e posteriormente enviado á empresa de xenotipado xunto coa mostra de saliva. Para complementar a información que nos proporcionan os datos xenéticos, realizaranse telematicamente un cuestionario dietético, para valorar a calidade da dieta do voluntario, e un cuestionario de actividade e condición física. Tamén se tomarán unha serie de medidas antropométricas básicas non invasivas (talla, peso, bioimpedancia eléctrica, perímetro do brazo, pliegue tricipital) durante unha cita presencial co/a voluntario/a na Aula de Valoración do Estado Nutricional da Facultade de Ciencias. As medidas serán dirixidas e supervisadas polos titores do traballo por non estar cualificado o estudante para a súa realización.

#### **Información sobre a voluntariedade e o dereito de revogación:**

A participación do individuo é totalmente voluntaria, polo tanto, pode retirarse do estudio cando queira sen ter que dar explicación.

#### **Información sobre o carácter altruísta da participación:**

A participación nesta investigación é altruísta e non existe compensación económica. O voluntario/a recibirá un informe nutricional personalizado froito do traballo desta investigación.

#### **Información sobre o destino dos datos e mostras unha vez finalizada a investigación:**

O destino dos datos é a elaboración do traballo fin de grao de María Rodríguez Padrón, e terán acceso tamén os profesores que a titorizan, Alexandre Lamas e Patricia Regal, da Universidade de Santiago de Compostela. Cando remate a investigación, os datos xenéticos do suxeito quedarán almacenados dixitalmente dunha forma anónima para posibles futuros usos en docencia desta universidade, baixo a custodia dos titores.

#### **Información sobre o dereito a coñecer os resultados:**

Entregaráselle ao suxeito un informe nutrixenético co obxectivo de poder mellorar a súa dieta e, polo tanto, a súa saúde.

#### **Información sobre protección de datos e deber de confidencialidade:**

Cabe mencionar o deber e compromiso de confidencialidade de calquera persoa que, en razón do seu traballo ou colaboración coa investigación, teña acceso a eles, e de que os seus datos están protexidos baixo a lei de protección de datos.

**Información sobre aprobación Comité de Ética na Investigación:**

Traballo académicamente dirixido sometido a informe favorable do centro responsable e do Comité de Bioética da USC.

**CONSENTIMENTO INFORMADO**

Actividade de investigación: Traballo Fin de Grao "Estudio dos polimorfismos xenéticos implicados no balance de micronutrientes"

Responsable: María Rodríguez Padrón, alumna do Grao en Bioquímica da USC.

Para poder levar a cabo este proxecto é necesario que o paciente cubra as seguintes cuestións e asine o documento, para mostrar que está de acordo con todas as súas cláusulas.

<input type="checkbox"/>	Confirmo que lín e entendín o documento informativo que precede a este formulario, e que tiver a oportunidade de formular preguntas e dúbidas relativas ao mesmo.
<input type="checkbox"/>	Confirmo que recibín respostas e aclaracións satisfactorias ás miñas preguntas.
<input type="checkbox"/>	Entendo que son libre de abandonar o estudo en calquera momento, sen necesidade de explicar as razóns do meu abandono e sen ningún tipo de consecuencias para min.
<input type="checkbox"/>	Entendo que este estudo non ten finalidade diagnóstica, polo que non recibirei un informe individualizado dos meus resultados nas probas.
<input type="checkbox"/>	Consinto en participar no estudo arriba indicado.
<input type="checkbox"/>	Consinto que a información recollida nesta investigación poida ser empregada, con garantía do meu anonimato, en traballos futuros da mesma liña de investigación e en traballos académicos de estudantes dirixidos polos investigadores/as do equipo.
<input type="checkbox"/>	Consinto que a información recollida nesta investigación poida ser compartida, con garantía do meu anonimato, con outros equipos a través de redes ou repositorios de investigación colaborativa, con fins de investigación sen ánimo de lucro.
<input type="checkbox"/>	Consinto que se me poida contactar no futuro para propoñerme participar nunha eventual continuidade desta investigación
<input type="checkbox"/>	Consinto o acceso aos datos xenéticos obtidos nunha empresa externa á USC da miña mostra biolóxica, para a cal asinei un consentimento informado propio.
<input type="checkbox"/>	Recibo unha copia deste documento.

<b>O/A participante,</b>	<b>O/A investigador/a que recada o consentimento,</b>
<b>Data:</b>	<b>Data:</b>
<b>Sinatura:</b>	<b>Sinatura:</b>
<b>Nome:</b>	<b>Nome:</b>

**CLÁUSULA RELATIVA A PROTECCIÓN DE DATOS DE CARÁCTER PERSOAL**

De conformidade co Regulamento UE 2016/679 e coa Lei Orgánica 3/2018 de Protección de Datos e Garantías dos Dereitos Dixitais, os datos recadados serán incorporados pola Universidade de Santiago de Compostela (USC) no tratamento "*Xestión dos datos de investigación*", coa finalidade da *Xestión dos datos das investigacións en actividades científicas, históricas, culturais e lingüísticas para crear resultados de investigación con fins científicos*.

A responsable do dito tratamento é a Universidade de Santiago de Compostela, Praza do Obradoiro s/n, 15782 - Santiago de Compostela, correo-e [protecciondedatos@usc.gal](mailto:protecciondedatos@usc.gal)

O contacto do Delegado de Protección de Datos é [dgd@usc.gal](mailto:dgd@usc.gal)

A base de xustificación deste tratamento é o consentimento expresado polas persoas interesadas para un ou varios fins específicos.

Poderanse ceder datos a administracións públicas con competencias na materia, e nos supostos de obrigas legais.

As persoas interesadas poden exercer ante o responsable os dereitos de acceso, rectificación, supresión, limitación de tratamento, oposición e portabilidade a través da Sede Electrónica da USC: <https://sede.usc.gal/sede/publica/catalogo/procedemento/55/ver.htm>

Tamén poden dirixirse á Axencia Española de Protección de Datos para realizar a reclamación que consideren oportuna.

Os datos serán conservados durante o período no que se realice a finalidade para a que foron recollidos, ou o tempo necesario para cumprir coas obrigas legais.

A política de privacidade e protección de datos da USC pódese consultar en <https://www.usc.gal/gl/normativa/protecciondatos/index.html>

Dou o meu consentimento para o tratamento dos datos proporcionados de acordo coa lexislación vixente.

[Data, nome e sinatura]

## ANEXO II: RECUERDO DIETÉTICO DE 24 HORAS

### RECUERDO DIETÉTICO DE 24 HORAS

Con el objetivo de conocer su consumo diario de alimentos y bebidas, anote con la mayor exactitud posible todos los alimentos y las bebidas consumidos durante las últimas 24 horas. También deberá anotar los alimentos consumidos entre horas. Igualmente, deberá escribir la calidad de los alimentos consumidos, así como la cantidad ingerida.

Asimismo, deberá de anotar el tipo de aceite empleado en las elaboraciones culinarias, el pan, el azúcar y el tipo de bebida ingerido. También es conveniente anotar el método de preparación culinario.

TIPO DE COMIDA	ALIMENTOS CONSUMIDOS
<b>DESAYUNO</b> Hora: 8:00	<ul style="list-style-type: none"><li>Leche entera (250 mL) con una cucharada de café soluble sin azúcar.</li><li>Dos rebanadas de pan de molde multicereales con margarina (20g) con mermelada de arándanos (40 gramos).</li></ul>
<b>MEDIA MAÑANA</b> Hora: 11:30	<ul style="list-style-type: none"><li>Café solo sin azúcar</li></ul>
<b>COMIDA</b> Hora 13:00	<ul style="list-style-type: none"><li>Albóndigas de ternera y pollo (10 unidades) en salsa de tomate casera con cebolla y pimiento verde, patatas fritas en aceite de girasol (200 gramos)</li><li>Pan (40 gramos)</li><li>Natilla casera con una galleta maría de topping y canela</li><li>Café solo sin azúcar</li></ul>
<b>MERIENDA</b> Hora: 18:00	<ul style="list-style-type: none"><li>Mix de frutos secos (maíces, anacardos, cacahuetes) (50 gramos)</li></ul>
<b>CENA</b> Hora: 21:30	<ul style="list-style-type: none"><li>Bocadillo (bollito de 250 gramos) con pechuga de pollo a la plancha (3 filetes), tomate (1 unidad), lechuga (3 hojas), queso de Arzúa (30 gramos), ketchup, mostaza</li><li>2 mandarinas</li></ul>
<b>OTRA</b> Hora:	

FECHA: 07/04/2024

## ANEXO III: CUESTIONARIO SOBRE LA CONDICIÓN FÍSICA Y HáBITOS DIETÉTICOS

Cuestionario sobre la actividad física y hábitos dietéticos

11/5/24 11:34

### Cuestionario sobre la actividad física y hábitos dietéticos

Responde, con la mayor sinceridad posible, las siguientes preguntas tipo test o de respuesta corta sobre tu **actividad física**:

¿Qué ejercicio realizas más a menudo?

- Levantamiento de pesas
- Senderismo
- Carrera
- Natación
- Danza
- Pilates
- Deportes de equipo
- Caminar
- Otro:

¿Cuántas horas inviertes en tu aseo personal al día?

30

<https://docs.google.com/forms/u/0/d/1lhntKJP4vNXMMHmOSXtQix2Drgt1YkPplakxE1yEKI/printallresponses>

Página 1 de 11

¿Cuántas horas al día inviertes en ir andando al trabajo o pasear?

- 1 hora
- Entre 1 y 2 horas
- Entre 2 y 4 horas
- Más de 4 horas
- Menos de 1 hora

¿Cuántas horas caminas un día del fin de semana?

1

¿Cuánto tiempo dedicas a hacer tareas caseras o limpiar un día de la semana?

- Menos de 1h
- Entre 1 y 2h
- Más de 2h

¿Cuánto tiempo dedicas a hacer tareas de casa un día del fin de semana?

3

¿Cuántas horas inviertes en hacer actividades en el jardín un día del fin de semana?

- Menos de 2 horas
- Entre 2 y 4 horas
- Más de 4 horas
- No realizo actividades en el jardín

¿Cuántos días a la semana realizas alguna actividad física?

- Todos los días
- Entre 1 y 2 veces por semana
- Entre 3 y 4 veces por semana
- Entre 5 y 6 veces por semana
- No practico ningún tipo de ejercicio físico

¿Sueles utilizar las escaleras en vez ascensor?

- Sí
- No
- A veces

¿Cuántas horas duermes de manera habitual?

- Menos de 6 horas
- Entre 6 y 8 horas
- Más de 8 horas diarias

¿Cuántas horas duermes un día del fin de semana ?

- Menos de 6 horas
- Entre 6 y 8 horas
- Más de 8 horas

¿Cuántas horas pasas sentado en un día habitual?

- Menos de 5 horas
- Entre 5 y 8 horas
- Más de 8 horas

¿Cuántas horas aproximadamente pasas sentado un día del fin de semana?

10

¿Cuántas horas de tiempo libre tienes un día de semana? (sin contar trabajo, realización de ejercicio físico, cocinar, comer, tareas domésticas...?)

- Entre 1 y 2 horas
- Entre 2 y 4 horas
- Más de 4 horas
- Menos de 1 hora

¿Cuántas horas de tiempo libre tienes un día del fin de semana? (sin contar trabajo, realización de ejercicio físico, cocinar, comer, tareas domésticas...?)

- Entre 1 y 2 horas
- Entre 2 y 4 horas
- Entre 4 y 6 horas
- Más de 6 horas

Indica tres actividades que realices en tu tiempo libre (sin contar trabajo, dormir, hacer deporte...)

Leer, café con amigos, navegar por internet

Hábitos dietéticos del sujeto de estudio

Responde, con la mayor sinceridad posible, las siguientes preguntas tipo test o de respuesta corta sobre tus **hábitos dietéticos**:

Cantidad de sal que consumes diariamente

- Menos de una cucharadita (menos de 5g/día)
- Más de una cucharadita (más de 5g/día)

Normalmente, ¿haces tú la compra?

- Sí
- No

Normalmente, ¿preparas tú la comida?

- Sí
- No

¿Cómo definirías tu alimentación actual?

- Muy buena
- Buena
- Regular
- Mala

En una semana habitual ¿cuántos días incorporas verdura a tu dieta?

- Todos los días
- 1 o 2 días a la semana
- 3 o 4 días a la semana
- 5 o 6 días a la semana
- No suelo consumir verdura de manera habitual

¿Cuántas piezas de fruta ingieres diariamente?

- 1 pieza de fruta al día
- 2 o 3 piezas de fruta al día
- Más de 4 piezas de fruta al día
- No suelo comer fruta

¿Sueles comer fuera de las horas dedicadas a las comidas principales?

- Sí
- No

En caso afirmativo, indica cuál es el alimento que consumes con mayor frecuencia en esos casos

¿Cuántas veces a la semana consumes comida basura? (comida rápida, bollería...)

- No consumo comida basura
- Entre 1 y 2 veces por semana
- Entre 3 y 4 veces por semana
- Entre 5 y 6 veces por semana
- Todos los días consumo comida basura

¿Cuántos días a la semana consumes algún tipo de bebida alcohólica?

- No consumo bebidas alcohólicas
- Entre 1 y 2 veces a la semana
- Entre 3 y 4 veces a la semana
- Entre 5 y 6 veces a la semana
- Todos los días consumo algún tipo de bebida alcohólica

¿Cuántas bebidas carbonatadas y/o azucaradas consumes a la semana?

- No consumo bebidas carbonatadas y/o azucaradas
- Entre 1 y 2 veces por semana
- Entre 3 y 4 veces por semana
- Entre 5 y 6 veces por semana
- Todos los días consumo bebidas carbonatadas y/o azucaradas

¿Cuántas veces a la semana consumes carne?

- No consumo carne de manera habitual
- Entre 1 y 2 veces por semana
- Entre 3 y 4 veces por semana
- Entre 5 y 6 veces por semana
- Todos los días consumo carne

En caso de consumir carne, ¿Varías entre carne roja y blanca?

- Sí
- No, solo como carne roja
- No, solo como carne blanca

¿Cuántos días a la semana consumes pescado?

- No consumo pescado de manera habitual
- Entre 1 y 2 veces por semana
- Entre 3 y 4 veces por semana
- Entre 5 y 6 veces por semana
- Todos los días consumo pescado

¿Cuántos días a la semana consumes algún tipo de cereal?

- No consumo cereales de manera habitual
- Entre 1 y 2 veces por semana
- Entre 3 y 4 veces por semana
- Entre 5 y 6 veces por semana
- Todos los días consumo algún tipo de cereal

¿Cuántos días a la semana consumes legumbres?

- No consumo legumbres de manera habitual
- Entre 1 y 2 veces por semana
- Entre 3 y 4 veces por semana
- Entre 5 y 6 veces por semana
- Todos los días consumo legumbres

¿Cuántos litros de agua consumes aproximadamente en un día?

2 .....

Observaciones referentes a la dieta (intolerancias, alimentación especial...)

No .....

Indica si consumes algún tipo de suplemento dietético

No .....

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

## ANEXO IV: INFORME FAVORABLE AL COMITÉ DE BIOÉTICA DE LA USC



VICERREITORÍA DE INVESTIGACIÓN  
E INNOVACIÓN  
Oficina de Investigación e Tecnoloxía  
Edificio CACTUS – Campus de Lugo  
27002 Lugo  
Tel. 982 822 851  
Correo electrónico: [comite.bioetica@usc.es](mailto:comite.bioetica@usc.es)

Visto o informe realizado por D./Da Asteria M<sup>a</sup> Luzardo Álvarez, responsable da Comisión de Título de Grao en Bioquímica da Facultade de Ciencias, órgano responsable da revisión e informe previo das propostas de traballos académicos do tipo proxecto de investigación e/ou intervención con seres humanos, as súas mostras e os seus datos das titulacións adscritas a este Centro en canto o cumprimento das condicións e requisitos esixidos para ser informado favorablemente polo Comité de Biética da USC

O Comité de Bioética da USC da o visto e prace a proposta titulada “Estudio dos polimorfismos xenéticos implicados no balande de micronutrientes” presentada por D./Da. María Rodríguez Padrón, baixo a titorización de D./Da. Alexandre Lamas Freire.

Lugo, 15 de abril de 2024  
O Presidente do Comité de Bioética da USC

Asdo. J. Manuel Cifuentes Martínez



# ANEXO VI: RESULTADOS DE BIOIMPEDANCIA EN RELACIÓN A LA COMPOSICIÓN CORPORAL



[InBodyS10]

ID	Altura	Edad	Género	Fecha / Hora del test
150324-1	178cm	34	Masculino	15.03.2024. 12:32

## Análisis de la composición corporal

	Valor	Agua corporal total	Masa Magra	Masa Libre de Grasa	Peso
Agua Corporal Total (L)	51,1 (39,2~47,8)	51,1	66,0 (50,3~61,5)	70,2 (53,3~65,2)	88,0 (59,2~80,2)
Proteínas (kg)	14,1 (10,5~12,9)				
Minerales (kg)	5,04 (3,63~4,43)	No óseo			
Masa Grasa Corporal (kg)	17,8 (8,4~16,7)				

## Análisis Músculo-Grasa

	Bajo	Normal	Alto
Peso (kg)	55 70 85 100 115 130 145 160 175 190 205 %		
Masa musculoesquelética (kg)	70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 %		
Masa Grasa Corporal (kg)	40 60 80 100 160 220 280 340 400 460 520 %		

## Análisis de obesidad

	Bajo	Normal	Alto
IMC Índice de Masa Corporal (kg/m <sup>2</sup> )	10,0 15,0 18,5 22,0 25,0 30,0 35,0 40,0 45,0 50,0 55,0		
Porcentaje de Grasa Corporal (%)	0,0 5,0 10,0 15,0 20,0 25,0 30,0 35,0 40,0 45,0 50,0		

## Análisis de magro por segmentos

	Bajo	Normal	Alto	Relación de AEC
Brazo Derecho (kg) (%)	55 70 85 100 115 130 145 160 175 %			0,369
Brazo Izquierdo (kg) (%)	55 70 85 100 115 130 145 160 175 %			0,368
Tronco (kg) (%)	70 80 90 100 110 120 130 140 150 %			0,358
Pierna Derecha (kg) (%)	70 80 90 100 110 120 130 140 150 %			0,354
Pierna Izquierda (kg) (%)	70 80 90 100 110 120 130 140 150 %			0,359

## Análisis de la proporción AEC

	Bajo	Normal	Alto
Relación de AEC	0,320 0,340 0,360 0,380 0,390 0,400 0,410 0,420 0,430 0,440 0,450		

## Historial de Composición Corporal

Peso (kg)	88,0
Masa musculoesquelética (kg)	40,7
Porcentaje de Grasa Corporal (%)	20,2
Relación de AEC	0,359
Reciente	15.03.24. 12:32

## Análisis de agua corporal segmental

Brazo Derecho	3,05 L ( 2,21~2,99 )
Brazo Izquierdo	2,94 L ( 2,21~2,99 )
Tronco	23,1 L ( 18,7~22,8 )
Pierna Derecha	8,31 L ( 6,51~7,95 )
Pierna Izquierda	8,09 L ( 6,51~7,95 )

## Parámetros de Investigación

Agua Intracelular	32,7 L ( 24,3~29,7 )
Agua Extracelular	18,4 L ( 14,9~18,1 )
Tasa metabólica basal	1887 kcal ( 1824~2147 )
Circunferencia de la cintura	91,8 cm
Area de Grasa Visceral	68,1 cm <sup>2</sup>
Contenido mineral óseo	4,20 kg ( 2,99~3,65 )
Masa celular corporal	46,9 kg ( 34,8~42,6 )
Circunferencia del Brazo	34,9 cm
ACT/MLG	72,7 %
IMME	9,1 kg/m <sup>3</sup>

## Reactancia

	BD	BI	TR	PD	PI
Xc(α) 5 kHz	14,8	15,5	1,3	16,3	16,6
50 kHz	32,3	34,1	3,5	29,5	31,0
250 kHz	28,8	30,8	3,3	16,2	15,9

## Ángulo de fase corporal completo

	BD	BI	TR	PD	PI
φ(°) 50 kHz	6,8	6,8	10,8	8,6	8,4

## Impedancia

	BD	BI	TR	PD	PI
Z(α) 1 kHz	319,0	335,4	22,8	247,3	265,1
5 kHz	314,3	328,7	22,4	239,7	257,7
50 kHz	272,6	287,9	18,7	197,5	212,5
250 kHz	239,4	252,8	15,0	168,8	182,7
500 kHz	227,6	240,2	13,4	162,4	176,1
1000 kHz	214,1	225,1	12,2	157,9	171,9

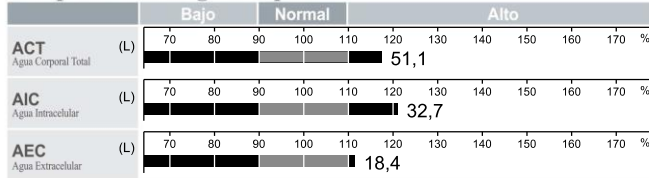
[ Tipo de toque , Sentado/a ]

# ANEXO VII: RESULTADOS DE BIOIMPEDANCIA EN RELACIÓN AL AGUA CORPORAL

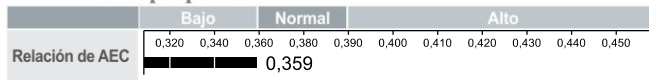
## InBody Hoja de resultados del agua corporal [InBodyS10]

ID	Altura	Edad	Género	Fecha / Hora del test
150324-1	178cm	34	Masculino	15.03.2024. 12:32

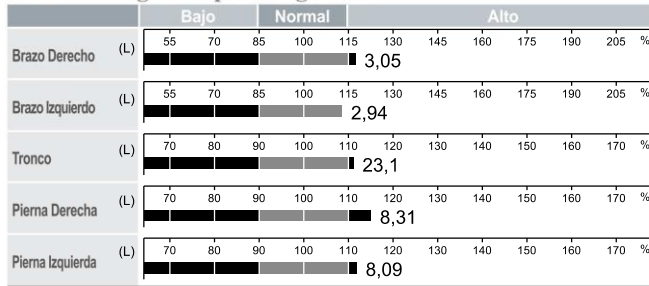
### Composición del agua corporal



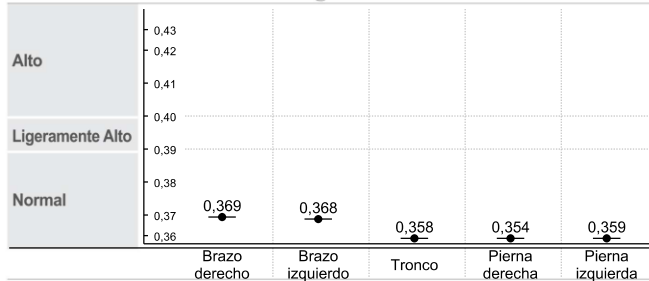
### Análisis de la proporción AEC



### Análisis de agua corporal segmental



### Análisis de la relación AEC segmental



### Historial de la composición del agua corporal

	15.03.24. 12:32
<b>Peso</b> (kg)	88,0
<b>ACT</b> (L) Agua corporal total	51,1
<b>AIC</b> (L) Agua Intracelular	32,7
<b>AEC</b> (L) Agua Extracelular	18,4
<b>Relación de AEC</b>	0,359

### Composición del agua corporal

Agua corporal total	51,1 L	( 39,2-47,8 )
Agua Intracelular	32,7 L	( 24,3-29,7 )
Agua Extracelular	18,4 L	( 14,9-18,1 )

### Análisis de agua corporal segmental

Brazo Derecho	3,05 L	( 2,21-2,99 )
Brazo Izquierdo	2,94 L	( 2,21-2,99 )
Tronco	23,1 L	( 18,7-22,8 )
Pierna Derecha	8,31 L	( 6,51-7,95 )
Pierna Izquierda	8,09 L	( 6,51-7,95 )

### Análisis de la Composición Corporal

Proteínas	14,1 kg	( 10,5-12,9 )
Minerales	5,04 kg	( 3,63-4,43 )
Masa Grasa Corporal	17,8 kg	( 8,4-16,7 )
Masa Libre de Grasa	70,2 kg	( 53,3-65,2 )
Contenido Mineral Óseo	4,20 kg	( 2,99-3,65 )

### Análisis Músculo-grasa

Peso	88,0 kg	( 59,2-80,2 )
Masa musculoesquelética	40,7 kg	( 29,9-36,5 )
Masa Magra Blanda	66,0 kg	( 50,3-61,5 )
Masa Grasa Corporal	17,8 kg	( 8,4-16,7 )

### Análisis de obesidad

IMC	27,8 kg/m <sup>2</sup>	( 18,5-25,0 )
PGC	20,2 %	( 10,0-20,0 )

### Parámetros de Investigación

Tasa metabólica basal	1887 kcat	( 1824-2147 )
Area de Grasa Visceral	68,1 cm <sup>2</sup>	
Masa celular corporal	46,9 kg	( 34,8-42,6 )
Circunferencia muscular del brazo	30,7 cm	
ACT/MLG	72,7 %	
IMME	9,1 kg/m <sup>2</sup>	

### Reactancia

	BD	BI	TR	PD	PI
<b>Xc(Ω)</b> 5 kHz	14,8	15,5	1,3	16,3	16,6
50 kHz	32,3	34,1	3,5	29,5	31,0
250 kHz	28,8	30,8	3,3	16,2	15,9

### Impedancia

	BD	BI	TR	PD	PI
<b>Z(Ω)</b> 1 kHz	319,0	335,4	22,8	247,3	265,1
5 kHz	314,3	328,7	22,4	239,7	257,7
50 kHz	272,6	287,9	18,7	197,5	212,5
250 kHz	239,4	252,8	15,0	168,8	182,7
500 kHz	227,6	240,2	13,4	162,4	176,1
1000 kHz	214,1	225,1	12,2	157,9	171,9

[ Tipo de toque , Sentado/a ]