Volumen 11 número 3; 2026

# Ciencia y Deporte

Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz"

Ciencia y Deporte
ISSN 2223-1773, RNPS: 2276
Vol. 11. No. 3, septiembre-diciembre, 2026 p-e403

*Artículo original*

# *Actividad física y metabolómica urinaria en población adulta: estudio observacional en Getxo*

[*Exercise and urine metabolomics in adults: an observational study in Getxo*]

[*Atividade física e metabolómica urinária na população adulta: estudo observacional em Getxo*]

*Gorka Zabala Lasa*[1*], *Beatriz Sánchez Córdova*[1]

[1]Universidad Internacional Iberoamericana. UNINI México.

[*]Autor para la correspondencia: gorkazabalalasa@gmail.com

***Recibido***: *30/09/2026.*
***Aceptado***: *16/11/2026*

***RESUMEN***

**Introducción**: el síndrome metabólico y las alteraciones cardiometabólicas asociadas representan actualmente uno de los principales desafíos para la salud pública mundial. Entre los factores modificables relacionados con su desarrollo, la actividad física desempeña un papel relevante debido a su influencia sobre múltiples procesos fisiológicos y metabólicos. En los últimos años, la metabolómica urinaria basada en resonancia magnética nuclear ha emergido como una herramienta útil para estudiar modificaciones metabólicas relacionadas con los hábitos de vida y el estado de salud.

**Objetivo**: analizar la relación entre el nivel de actividad física y el perfil metabolómico urinario en población adulta físicamente activa del municipio de Getxo.

**Materiales y métodos**: se realizó un estudio observacional, descriptivo y correlacional en personas adultas mayores de 17 años vinculadas a actividades físicas organizadas en Getxo. La muestra estuvo constituida por 189 participantes. Se recogieron variables sociodemográficas, antropométricas y relacionadas con hábitos de vida mediante cuestionarios estructurados. El nivel de actividad física fue evaluado mediante un índice compuesto (PA_score) elaborado a partir de la frecuencia de ejercicio, actividad ocupacional y modalidad deportiva practicada. El perfil metabolómico urinario se obtuvo mediante espectroscopía de resonancia magnética nuclear de protones (^1H-RMN). Los datos metabolómicos fueron sometidos a procedimientos de control de calidad, normalización, transformación logarítmica y análisis estadístico multivariante y univariante.

**Resultados**: la cohorte presentó un perfil predominantemente activo, con elevada frecuencia semanal de ejercicio y predominio de actividades de fuerza y componentes aeróbicos. El análisis exploratorio mediante PCA mostró tendencias de agrupación parcial según el nivel de actividad física. Se identificaron asociaciones nominales entre el PA_score y determinados metabolitos urinarios relacionados con rutas energéticas y metabolismo oxidativo, aunque con tamaños de efecto moderados. Los modelos ajustados sugirieron asociaciones metabólicas independientes vinculadas al nivel de actividad física habitual.

**Conclusiones**: los resultados evidenciaron la existencia de variaciones metabolómicas urinarias asociadas al nivel de actividad física en población adulta físicamente activa. Aunque las asociaciones detectadas fueron moderadas y de carácter exploratorio, los hallazgos respaldan el potencial de la metabolómica urinaria como herramienta complementaria para el estudio de la relación entre actividad física y salud metabólica.

**Palabras clave**: actividad física; espectroscopía de resonancia magnética nuclear; metabolómica urinaria; población adulta; síndrome metabólico.

## *ABSTRACT*

**Introduction**: Metabolic syndrome and its associated cardiometabolic disorders currently represent one of the major challenges to global public health. Among the modifiable factors associated with their development, physical activity plays a key role due to its influence on multiple physiological and metabolic processes. In recent years, nuclear magnetic resonance (NMR)-based urinary metabolomics has emerged as a valuable tool for investigating metabolic alterations associated with lifestyle behaviors and health status.

**Objective**: To analyze the relationship between the level of physical activity and the urinary metabolomic profile in a physically active adult population from the municipality of Getxo.

**Materials and methods**: An observational, descriptive, and correlational study was conducted in adults aged over 17 years who participated in organized physical activity programs in Getxo. The study sample comprised 189 participants. Sociodemographic, anthropometric, and lifestyle-related variables were collected using structured questionnaires. Physical activity level was assessed using a composite index (PA_score) based on exercise frequency, occupational physical activity, and the type of sport practiced. The urinary metabolomic profile was determined using proton nuclear magnetic resonance (^1H-NMR) spectroscopy. Metabolomic data underwent quality control procedures, normalization, logarithmic transformation, and both multivariate and univariate statistical analyses.

**Results**: The cohort exhibited a predominantly active profile, characterized by a high weekly exercise frequency and a predominance of strength training and aerobic activities. Exploratory principal component analysis (PCA) revealed partial clustering trends according to physical activity level. Nominal associations were identified between the PA_score and specific urinary metabolites involved in energy pathways and oxidative metabolism, although effect sizes were moderate. Adjusted models suggested independent metabolic associations related to habitual physical activity levels.

**Conclusions**: The results demonstrated the presence of urinary metabolomic variations associated with physical activity levels in a physically active adult population. Although the observed associations were moderate and exploratory in nature, the findings support the potential of urinary metabolomics as a complementary tool for investigating the relationship between physical activity and metabolic health.

**Keywords**: Physical activity; nuclear magnetic resonance spectroscopy; urinary metabolomics; adult population; metabolic syndrome.

## *RESUMO*

**Introdução**: A síndrome metabólica e as alterações cardiometabólicas associadas representam atualmente um dos principais desafios para a saúde pública mundial. Entre os fatores modificáveis associados ao seu desenvolvimento, a atividade física desempenha um papel relevante devido à sua influência sobre múltiplos processos fisiológicos e metabólicos. Nos últimos anos, a metabolómica urinária baseada em ressonância magnética nuclear (RMN) tem

emergido como uma ferramenta útil para estudar alterações metabólicas associadas aos hábitos de vida e ao estado de saúde.

**Objetivo**: Analisar a relação entre o nível de atividade física e o perfil metabolómico urinário numa população adulta fisicamente ativa do município de Getxo.

**Materiais e métodos**: Foi realizado um estudo observacional, descritivo e correlacional em adultos com idade superior a 17 anos participantes em atividades físicas organizadas no município de Getxo. A amostra foi constituída por 189 participantes. Foram recolhidas variáveis sociodemográficas, antropométricas e relacionadas com os hábitos de vida através de questionários estruturados. O nível de atividade física foi avaliado através de um índice composto (PA_score), elaborado com base na frequência de exercício, na atividade física ocupacional e na modalidade desportiva praticada. O perfil metabolómico urinário foi obtido por espectroscopia de ressonância magnética nuclear de protão (^1H-RMN). Os dados metabolómicos foram submetidos a procedimentos de controlo de qualidade, normalização, transformação logarítmica e análises estatísticas multivariadas e univariadas.

**Resultados**: A coorte apresentou um perfil predominantemente ativo, caracterizado por uma elevada frequência semanal de exercício e pelo predomínio de atividades de força e componentes aeróbios. A análise exploratória por análise de componentes principais (PCA) revelou tendências de agrupamento parcial em função do nível de atividade física. Foram identificadas associações nominais entre o PA_score e determinados metabolitos urinários relacionados com vias energéticas e metabolismo oxidativo, embora com magnitudes de efeito moderadas. Os modelos ajustados sugeriram associações metabólicas independentes relacionadas com o nível habitual de atividade física.

**Conclusões**: Os resultados evidenciaram a existência de variações metabolómicas urinárias associadas ao nível de atividade física numa população adulta fisicamente ativa. Embora as associações observadas tenham sido moderadas e de natureza exploratória, os resultados sustentam o potencial da metabolómica urinária como uma ferramenta complementar para o estudo da relação entre a atividade física e a saúde metabólica.

**Palavras-chave:** Atividade física; espectroscopia de ressonância magnética nuclear; metabolómica urinária; população adulta; síndrome metabólica.

## *INTRODUCCIÓN*

El síndrome metabólico constituye una de las alteraciones metabólicas de mayor relevancia clínica y epidemiológica en la actualidad debido a su estrecha asociación con enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus tipo 2 y el aumento de la mortalidad prematura. Este trastorno se caracteriza por la coexistencia de diferentes factores de riesgo cardiometabólico, entre los que destacan la obesidad abdominal, las alteraciones del metabolismo glucídico, la hipertensión arterial y las dislipidemias. La elevada prevalencia observada durante las últimas décadas ha convertido al síndrome metabólico en un importante problema de salud pública a nivel internacional (Fragozo-Ramos, 2022; Martínez, 2021; Ibarra *et al.,* 2021; Espinoza-Rivera *et al.,* 2023).

Diversas investigaciones han señalado que los cambios producidos en los estilos de vida modernos han favorecido el incremento progresivo de factores relacionados con el desarrollo de alteraciones metabólicas. Entre ellos, el sedentarismo y la disminución de los niveles habituales de actividad física representan algunos de los determinantes modificables más relevantes. El aumento del tiempo dedicado a actividades sedentarias, junto con patrones de comportamiento menos activos, ha sido asociado con un mayor riesgo cardiometabólico y con modificaciones fisiológicas capaces de alterar múltiples vías metabólicas (Moscoso, 2020; Ugarriza, 2022; Arsentales-Montalva *et al.,* 2019; Cristi-Montero *et al.,* 2019).

En contraste, la práctica regular de actividad física ha mostrado efectos beneficiosos sobre diferentes parámetros relacionados con la salud metabólica. La evidencia científica disponible indica que el ejercicio físico contribuye a mejorar la regulación glucémica, el metabolismo lipídico, la función cardiovascular y el equilibrio energético general. Además, la actividad física ha sido descrita como un factor protector frente al desarrollo de enfermedades metabólicas y cardiovasculares, independientemente de otros factores sociodemográficos y conductuales (González-Chávez *et al.,* 2019; Ugarriza, 2022; Carrera *et al.,* 2020; Arsentales-Montalva *et al.,* 2019; Ramírez *et al.,* 2012).

En los últimos años, el desarrollo de técnicas ómicas ha permitido ampliar el estudio de los mecanismos biológicos implicados en la relación entre actividad física y salud metabólica. En este contexto, la metabolómica ha emergido como una herramienta de gran interés para la identificación de cambios metabólicos asociados con diferentes estados fisiológicos y conductuales. La metabolómica urinaria, en particular, permite obtener una visión integrada del metabolismo sistémico mediante el análisis simultáneo de múltiples metabolitos de bajo peso molecular presentes en la orina (Aguilar & Carballo, 2020; López, 2021).

La utilización de espectroscopía de resonancia magnética nuclear de protones (^1H-RMN) ha facilitado la caracterización reproducible y no invasiva de perfiles metabolómicos complejos. Esta aproximación analítica permite detectar variaciones relacionadas con procesos energéticos, metabolismo de aminoácidos, estrés oxidativo y otras rutas bioquímicas potencialmente moduladas por la actividad física habitual. Por ello, la integración de variables conductuales y perfiles metabolómicos representa actualmente una línea de investigación relevante dentro del ámbito de la salud cardiometabólica y la fisiología del ejercicio (López, 2021).

A pesar del creciente número de investigaciones sobre actividad física y riesgo metabólico, continúan existiendo limitaciones relacionadas con el estudio de poblaciones específicas y con la identificación de biomarcadores metabólicos asociados a hábitos de vida en contextos locales concretos. En el ámbito municipal y comunitario, la evidencia disponible sigue siendo limitada, especialmente en estudios que integran información epidemiológica y análisis metabolómicos urinarios en población adulta físicamente activa (Torres *et al.,* 2021; García *et al.,* 2022; Pacheco & Altamirano, 2023; Flores & Ureta, 2023; Ramírez *et al.,* 2020).

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar la relación entre el nivel de actividad física y el perfil metabolómico urinario en población adulta del municipio de Getxo, mediante la utilización de espectroscopía de resonancia magnética nuclear y herramientas de análisis estadístico multivariante.

## *MATERIALES Y MÉTODOS*

### *Diseño del estudio*

Se desarrolló una investigación observacional, descriptiva y correlacional con enfoque cuantitativo, orientada al análisis de la relación entre la actividad física habitual y el perfil metabolómico urinario en población adulta. El estudio presentó un diseño transversal y se llevó a cabo durante un periodo aproximado de ocho meses.

### *Participantes y contexto de estudio*

La población de estudio estuvo constituida por personas adultas vinculadas a actividades físicas organizadas en el municipio de Getxo. Participaron hombres y mujeres mayores de 17 años que realizaban actividad física de manera habitual en diferentes entornos deportivos y recreativos del municipio.

La muestra final estuvo integrada por 189 participantes, seleccionados mediante un procedimiento de inclusión voluntaria. Todos los participantes fueron informados previamente sobre las características generales del estudio y aceptaron participar de forma voluntaria.

### *Variables de estudio*

Las principales variables analizadas fueron el nivel de actividad física y el perfil metabolómico urinario. Adicionalmente, se recogieron variables sociodemográficas, antropométricas y relacionadas con hábitos de vida.

Entre las variables registradas se incluyeron sexo, edad, peso corporal, talla, tabaquismo, consumo de alcohol, actividad laboral y frecuencia de actividad física semanal. Asimismo, se recopilaron datos relacionados con la modalidad deportiva practicada por cada participante.

### *Evaluación de la actividad física*

La caracterización de la actividad física se realizó mediante cuestionarios estructurados orientados a recoger información sobre frecuencia semanal de ejercicio, actividad ocupacional y modalidades deportivas practicadas.

Debido a la ausencia de variabilidad en la variable dicotómica de actividad física, se elaboró un índice compuesto denominado PA_score, diseñado para representar de manera más precisa el fenotipo conductual asociado a la actividad física habitual. Este índice integró información relativa a la frecuencia semanal de ejercicio, el nivel de actividad física ocupacional y el tipo de actividad deportiva realizada.

El PA_score tuvo una media de 3,80 con una desviación estándar de 1,18 y una mediana de 4, lo que indica un perfil de actividad física general en la cohorte que fue de moderado a vigoroso. El rango detectado fue de 2 a 6, siendo el primer cuartil (Q1) 3 y el tercer cuartil (Q3) 5, lo que indica una variabilidad significativa y una amplia distribución del fenotipo físico entre los participantes.

*Obtención y procesamiento de muestras biológicas*

Se recogieron muestras de orina de todos los participantes siguiendo procedimientos estandarizados de almacenamiento y conservación. El análisis metabolómico urinario se realizó mediante espectroscopía de resonancia magnética nuclear de protones (^1H-RMN).

El panel metabolómico incluyó aproximadamente 150 metabolitos urinarios correspondientes a diferentes grupos funcionales y rutas metabólicas. Las concentraciones obtenidas fueron previamente normalizadas mediante creatinina con el objetivo de reducir la variabilidad asociada a la dilución urinaria y mejorar la comparabilidad entre muestras.

*Preprocesamiento de datos metabolómicos*

Antes del análisis estadístico, los datos metabolómicos fueron sometidos a procedimientos de control de calidad y depuración analítica. Los metabolitos con elevada proporción de valores faltantes fueron excluidos del análisis.

Los valores ausentes restantes fueron imputados utilizando procedimientos basados en valores mínimos relativos. Posteriormente, las concentraciones metabolómicas fueron transformadas mediante logaritmo en base 10 con el objetivo de reducir la asimetría de las distribuciones y estabilizar la varianza.

Finalmente, se aplicó un procedimiento de *autoscaling* para centrar las variables y estandarizar las diferencias de escala entre metabolitos antes de realizar los análisis multivariantes.

### *Análisis estadístico*

El análisis estadístico se desarrolló mediante estadística descriptiva, análisis inferencial y técnicas multivariantes. Las variables continuas se expresaron mediante media y desviación estándar, mientras que las variables categóricas se presentaron mediante frecuencias absolutas y porcentajes.

La distribución del PA_score entre grupos se evaluó mediante pruebas no paramétricas tras comprobar la ausencia de normalidad mediante el *test de Shapiro-Wilk*. Para las comparaciones entre variables categóricas se utilizaron tablas de contingencia y pruebas $\chi^2$.

El análisis metabolómico exploratorio se realizó mediante análisis de componentes principales (PCA) utilizando matrices previamente transformadas y estandarizadas. Posteriormente, se aplicaron modelos de regresión lineal simple para estudiar la asociación entre metabolitos urinarios individuales y el PA_score.

Los valores de significación estadística fueron corregidos por comparaciones múltiples utilizando el método de Benjamini-Hochberg para controlar la tasa de descubrimiento falso (FDR). Además, se ajustaron modelos multivariantes incorporando covariables potencialmente confusoras como edad, sexo, índice de masa corporal, tabaquismo y consumo de alcohol.

El procesamiento estadístico y metabolómico se realizó mediante software estadístico especializado y hojas de cálculo electrónicas para la organización y trazabilidad de los datos.

### *Consideraciones éticas*

La investigación se desarrolló respetando los principios éticos aplicables a estudios en seres humanos y garantizando la confidencialidad de la información recopilada. La

participación fue voluntaria y los datos obtenidos fueron tratados de forma anonimizada exclusivamente con fines científicos y académicos.

## *RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

*Caracterización general de la muestra y perfil de actividad física*

La cohorte analizada estuvo compuesta por 189 participantes adultos físicamente activos, con representación de ambos sexos y una distribución etaria amplia. Desde el punto de vista descriptivo, la muestra presentó un perfil predominantemente activo, caracterizado por una elevada frecuencia semanal de práctica física y por una importante participación en modalidades deportivas relacionadas tanto con el entrenamiento de fuerza como con actividades aeróbicas.

La mayoría de los participantes informó realizar actividad física dos o tres veces por semana o casi diariamente, observándose además una notable diversidad de modalidades deportivas practicadas. Entre las actividades más frecuentes destacaron el entrenamiento de fuerza, la natación, el running, el ciclismo y la marcha, lo que refleja la coexistencia de diferentes patrones de comportamiento físico dentro de la población estudiada.

En relación con los hábitos de vida, predominó la población no fumadora y el consumo de alcohol en contextos sociales. Asimismo, se observó una proporción considerable de participantes con actividad laboral predominantemente sedentaria, coexistiendo con un subgrupo que desarrollaba actividades ocupacionales de esfuerzo físico moderado o elevado (Tablas 1 y 2).

***Tabla 1.*** *- Caracterización sociodemográfica y de hábitos descriptiva de la muestra del estudio*

| Variable.1 | level | Overall |
|---|---|---|
| n | | 189 |
| gender (%) | Female | 83 (43.9) |
| | Male | 106 (56.1) |
| age (mean (SD)) | | 39.00 (11.77) |
| weight (mean (SD)) | | 70.82 (12.84) |

| | | |
|---|---|---|
| height (mean (SD)) | | 171.70 (9.00) |
| smoker (%) | no | 173 (91.5) |
| | yes | 16 (8.5) |
| cigarettes_day (%) | Between 11 and 20 | 2 (12.5) |
| | Between 21 and 30 | 1 (6.2) |
| | Less than 10 | 13 (81.2) |
| work_activity (%) | Medium-high physical effort | 57 (30.2) |
| | Sedentary | 132 (69.8) |
| physical_activity (%) | Yes | 189 (100.0) |
| frecuency_activity (%) | Almost every day | 84 (44.4) |
| | Once a week | 12 (6.3) |
| | Two or three times a week | 93 (49.2) |
| drink_alcohol (%) | Every day | 2 (1.1) |
| | Never | 33 (17.5) |
| | Several times a day | 1 (0.5) |
| | Social drinker | 153 (81.0) |

***Tabla 2***. - *Descripción de la muestra en función de la actividad física y variables relacionadas*

| **Variable** | **level** | **Overall** | **Total** |
|---|---|---|---|
| n | | 189 | |
| age (mean (SD)) | | 39.00 (11.77) | |
| gender (%) | Female | 83 (43.9) | |
| | Male | 106 (56.1) | |
| work_activity (%) | Medium-high physical effort | 57 (30.2) | |
| | Sedentary | 132 (69.8) | |
| physical_activity (%) | Yes | 189 (100.0) | |
| frecuency_activity (%) | Almost every day | 84 (44.4) | |
| | Once a week | 12 (6.3) | |
| | Two or three times a week | 93 (49.2) | |
| Type of activity (multiple response) | | | |
| Type of activity: strength training | | | 114 (60.3%) |
| Type of activity: swimming | | | 34 (18%) |
| Type of activity: running | | | 32 (16.9%) |
| Type of activity: cycling | | | 29 (15.3%) |
| Type of activity: walking | | | 29 (15.3%) |
| Type of activity: rugby | | | 23 (12.2%) |
| Type of activity: padel | | | 13 (6.9%) |
| Type of activity: pilates | | | 10 (5.3%) |
| Type of activity: voleyball | | | 7 (3.7%) |
| Type of activity: yoga | | | 7 (3.7%) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Type of activity: field hockey | | | 6 (3.2%) |
| Type of activity: spinning | | | 6 (3.2%) |
| Type of activity: athletics | | | 5 (2.6%) |
| Type of activity: surf | | | 5 (2.6%) |
| Type of activity: basketball | | | 4 (2.1%) |
| Type of activity: ping-pong | | | 4 (2.1%) |
| Type of activity: ultimate frisbee | | | 4 (2.1%) |
| Type of activity: climbing | | | 3 (1.6%) |
| Type of activity: mountaineering | | | 3 (1.6%) |
| Type of activity: soccer | | | 3 (1.6%) |
| Type of activity: tennis | | | 3 (1.6%) |
| Type of activity: waterpolo | | | 3 (1.6%) |
| Type of activity: hiking | | | 2 (1.1%) |
| Type of activity: hockey | | | 2 (1.1%) |
| Type of activity: indoor soccer | | | 2 (1.1%) |
| Type of activity: trail | | | 2 (1.1%) |
| Type of activity: trail running | | | 2 (1.1%) |
| Type of activity: zumba | | | 2 (1.1%) |
| Type of activity: alpinism | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: aqaugym | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: badminton | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: ballet | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: beach voley | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: beach voleyball | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: boxing | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: calisthenics | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: capoeria | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: crossfit | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: dance | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: fitboxing | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: functional training | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: hitt | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: martial arts | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: paddel | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: race walking | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: skate | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: skating | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: ski mountaineering | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: skiing | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: strenght training | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: strength | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: strength trainig | | | 1 (0.5%) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Type of activity: swmming | | | 1 (0.5%) |
| Type of activity: tai chi | | | 1 (0.5%) |

La construcción del índice compuesto de actividad física (PA_score) permitió integrar diferentes dimensiones conductuales relacionadas con la frecuencia de ejercicio, la actividad ocupacional y las modalidades deportivas practicadas. La distribución observada del índice mostró suficiente variabilidad interindividual para permitir el análisis gradual de los niveles de actividad física y su asociación con el perfil metabolómico urinario.

La ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres en la distribución del PA_score sugirió una relativa homogeneidad del comportamiento físico entre ambos grupos dentro de esta cohorte. Este hallazgo resulta metodológicamente relevante debido a que reduce la posibilidad de sesgos conductuales importantes relacionados con el sexo en los análisis metabolómicos posteriores.

La estratificación del PA_score en cuartiles permitió además identificar gradientes conductuales consistentes relacionados con la frecuencia de actividad física y el nivel de esfuerzo ocupacional. Los participantes con valores más elevados del índice presentaron mayores frecuencias de ejercicio semanal y una mayor proporción de actividad laboral físicamente demandante, lo que respalda la coherencia interna del índice construido.

Estos resultados descriptivos muestran que la cohorte estudiada presentó un fenotipo conductual físicamente activo y heterogéneo, adecuado para el análisis exploratorio de asociaciones metabolómicas relacionadas con la actividad física habitual.

Desde una perspectiva interpretativa, los hallazgos obtenidos son consistentes con investigaciones previas que describen la actividad física como un comportamiento complejo y multidimensional, influenciado por factores ocupacionales, recreativos y conductuales. Asimismo, la elevada presencia de modalidades de fuerza y actividades aeróbicas observada en la cohorte coincide con patrones actuales de práctica física descritos en poblaciones adultas urbanas.

La existencia de variabilidad interindividual en los niveles de actividad física reviste especial importancia en el contexto metabolómico, debido a que las adaptaciones fisiológicas inducidas por el ejercicio no suelen manifestarse de forma dicotómica, sino como un continuo biológico dependiente de la intensidad, frecuencia y regularidad de la práctica física.

En este sentido, el empleo de un índice compuesto como el PA_score representa una aproximación metodológica útil para capturar de manera más precisa la complejidad del fenotipo de actividad física, evitando limitaciones asociadas a clasificaciones binarias tradicionales. Esta estrategia permitió establecer una base analítica más adecuada para el estudio de posibles modulaciones metabólicas asociadas con diferentes niveles de exposición física habitual (Figuras 1 y 2).

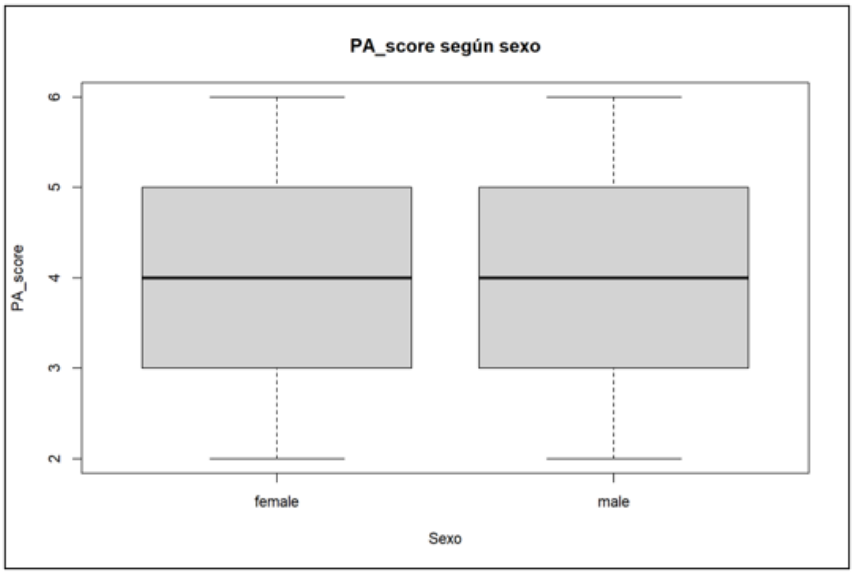



***Figura 1.*** *- Distribución del índice compuesto de actividad física (PA_score) por género*

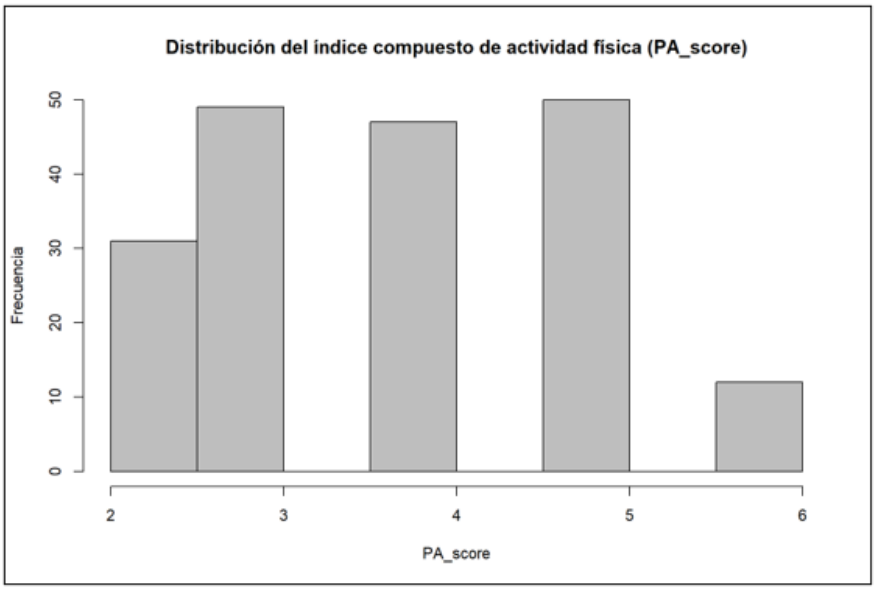



***Figura 2.*** *- Distribución del índice compuesto de actividad física (PA_score)*

*Perfil metabolómico urinario y análisis exploratorio multivariante*

El análisis metabolómico urinario realizado mediante espectroscopía de resonancia magnética nuclear permitió caracterizar un amplio conjunto de metabolitos relacionados con diferentes rutas bioquímicas y procesos fisiológicos. El panel metabolómico incluyó aproximadamente 150 metabolitos pertenecientes a grupos funcionales diversos, entre ellos aminoácidos y derivados, ácidos orgánicos, carbohidratos, compuestos nitrogenados, metabolitos energéticos y sustancias relacionadas con el metabolismo oxidativo (Tabla 3).

***Tabla 3.*** *- Clasificación funcional aproximada del panel metabolómico urinario*

| **Tabla_Clasificacion_Panel_Metabolomico** | |
|---|---|
| **Class** | **Number_of_metabolites** |
| Ácidos orgánicos | 69 |
| Aminoácidos y derivados | 47 |
| Otros | 19 |
| Carbohidratos y polioles | 8 |
| Metabolitos exógenos | 4 |
| Purinas y pirimidinas | 2 |

La amplitud del panel analizado proporcionó una representación global del metabolismo sistémico de los participantes, permitiendo explorar posibles asociaciones entre los niveles habituales de actividad física y modificaciones detectables en el metaboloma urinario.

Desde el punto de vista descriptivo, los metabolitos cuantificados mostraron una considerable heterogeneidad interindividual, tanto en sus valores absolutos como en las medidas de dispersión observadas. Este comportamiento es habitual en estudios metabolómicos poblacionales debido a la influencia simultánea de múltiples factores fisiológicos, conductuales, nutricionales y ambientales sobre las concentraciones urinarias de metabolitos.

Con el objetivo de minimizar el impacto de fuentes técnicas de variabilidad, los datos fueron sometidos a procedimientos de control de calidad, normalización por creatinina, transformación logarítmica y *autoscaling* antes de los análisis estadísticos. La aplicación de estas estrategias metodológicas permitió mejorar la comparabilidad entre muestras y reducir el efecto desproporcionado de metabolitos altamente abundantes sobre los modelos multivariantes.

El análisis exploratorio mediante análisis de componentes principales (PCA) permitió evaluar la estructura global de los datos metabolómicos y explorar posibles patrones de agrupación asociados al nivel de actividad física. La representación de los individuos en el espacio multivariante definido por los primeros componentes principales mostró una distribución continua de los perfiles metabolómicos, sin observarse agrupaciones completamente diferenciadas entre niveles de actividad física (Figura 3).

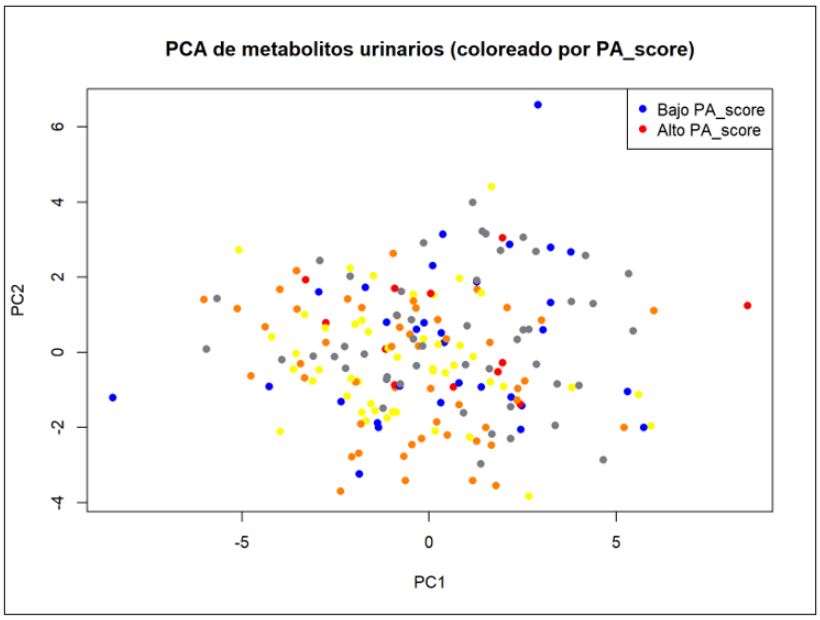



***Figura 3.*** *- Análisis de componentes principales (PCA) de los metabolitos urinarios coloreado según el índice compuesto de actividad física (PA_score)*

No obstante, al incorporar el PA_score como gradiente de color dentro de la representación multivariante, se identificaron tendencias parciales de organización metabólica relacionadas con los niveles de actividad física habitual. Los participantes con valores similares del índice tendieron a localizarse relativamente próximos dentro del espacio metabolómico, sugiriendo la existencia de modulaciones metabólicas graduales asociados al comportamiento físico.

La ausencia de separaciones completamente definidas entre grupos resulta coherente con la naturaleza fisiológica de la actividad física como exposición continua y multifactorial. A diferencia de determinadas enfermedades metabólicas o intervenciones clínicas intensivas, los efectos derivados de la actividad física habitual suelen manifestarse mediante modificaciones metabólicas discretas distribuidas a través de múltiples rutas bioquímicas, más que mediante alteraciones extremas de un número reducido de metabolitos.

Desde una perspectiva metodológica, la relativa homogeneidad observada en la distribución general de la cohorte también puede estar relacionada con las características propias de la muestra estudiada, compuesta exclusivamente por individuos físicamente activos. La ausencia de un grupo claramente sedentario limita la posibilidad de detectar contrastes metabólicos extremos, aunque permite explorar variaciones internas dentro de diferentes grados de actividad física habitual.

A pesar de ello, el PCA confirmó la existencia de una señal metabolómica asociada al fenotipo de actividad física, respaldando la hipótesis de que el ejercicio habitual puede influir sobre el metabolismo urinario incluso en poblaciones relativamente homogéneas desde el punto de vista conductual.

Estos hallazgos son coherentes con investigaciones metabolómicas previas que describen la actividad física como un modulador sistémico del metabolismo energético, del equilibrio oxidativo y de diversas rutas relacionadas con la adaptación fisiológica al ejercicio. Estudios recientes han señalado que los cambios inducidos por la actividad física suelen reflejarse en modificaciones sutiles pero coordinadas de múltiples metabolitos, especialmente aquellos vinculados con procesos mitocondriales, metabolismo de aminoácidos y regulación redox.

Asimismo, la organización parcial observada en el espacio multivariante respalda la utilidad de las aproximaciones metabolómicas no dirigidas como herramientas complementarias para el estudio de la fisiología del ejercicio y de los efectos metabólicos asociados a diferentes patrones de actividad física en población general.

En conjunto, el análisis exploratorio multivariante proporcionó evidencia de una modulación metabolómica asociada al nivel habitual de actividad física, estableciendo una base sólida para el análisis posterior de asociaciones específicas entre metabolitos urinarios individuales y el índice compuesto de actividad física.

*Asociación entre metabolitos urinarios y el índice compuesto de actividad física*

Con el objetivo de identificar metabolitos urinarios potencialmente asociados con el nivel habitual de actividad física, se realizaron análisis univariantes utilizando modelos

de regresión lineal simple, considerando cada metabolito como variable dependiente y el índice compuesto de actividad física (PA_score) como variable independiente.

Los resultados obtenidos mostraron que diversos metabolitos presentaron asociaciones nominales con el PA_score, observándose tanto relaciones positivas como negativas. Aunque tras la corrección estricta por comparaciones múltiples no se identificaron asociaciones robustas de gran magnitud, el patrón general observado sugiere la existencia de modulaciones metabólicas sutiles relacionadas con la actividad física habitual (Tablas 4 y 5).

***Tabla 4.*** *- Metabolitos urinarios asociados al índice compuesto de actividad física (PA_score) (p < 0,05).*

| **Metabolitos_significativos_p005** |
|---|
| metabolite,"beta","pval","fdr" |
| number_of_vaccines,0.128,0.037,0.319 |
| Fumaric acid, -0.122, 0.045, 0.32 |
| Oxypurinol, 0.138, 0.030, 0.32 |
| Pantothenic acid, -0.15, 0.01, 0.32 |
| Theobromine, -0.132, 0.03, 0.31 |

***Tabla 5.*** *- Asociación entre metabolitos urinarios seleccionados y el índice compuesto de actividad física (PA_score) tras ajuste multivariable.*

| **Modelos_Ajustados_Metabolitos_PA_score** | | |
|---|---|---|
| **metabolite** | **beta_PA** | **p_value** |
| number_of_vaccines | 0,14 | 0,09 |
| Fumaric.acid | -0,11 | 0,15 |
| Oxypurinol | 0,23 | 0,01 |
| Pantothenic.acid | -0,14 | 0,07 |
| Theobromine | -0,12 | 0,16 |

Entre los metabolitos con asociaciones más destacadas se identificaron compuestos implicados en rutas metabólicas relacionadas con el metabolismo energético, el equilibrio oxidativo, el metabolismo de purinas y la disponibilidad de cofactores metabólicos.

En particular, algunos metabolitos vinculados al metabolismo mitocondrial y a la producción energética mostraron asociaciones consistentes con el índice de actividad física. Este hallazgo resulta fisiológicamente coherente, ya que la práctica regular de ejercicio implica adaptaciones bioenergéticas sostenidas, aumento de la eficiencia oxidativa y modificaciones en la utilización de sustratos energéticos.

Sin embargo, la magnitud de las asociaciones observadas en esta investigación fue relativamente moderada. Este comportamiento puede explicarse por diversos factores metodológicos y biológicos. En primer lugar, la naturaleza transversal del estudio limita la capacidad para detectar modificaciones dinámicas relacionadas con cambios temporales en la actividad física. En segundo lugar, la cohorte analizada presentó un perfil predominantemente activo, reduciendo el contraste entre grupos extremos de comportamiento físico.

A pesar de ello, la existencia de asociaciones graduales y coherentes desde el punto de vista fisiológico aporta consistencia interna a los hallazgos obtenidos y respalda la hipótesis de que la actividad física habitual puede modular parcialmente el perfil metabolómico urinario.

La representación gráfica mediante *volcano plot* permitió visualizar de forma integrada tanto el tamaño del efecto como la significación estadística de las asociaciones detectadas. La distribución observada confirmó que la mayoría de los metabolitos presentaron coeficientes próximos a cero, mientras que un número reducido de compuestos mostró tendencias más alejadas, reflejando posibles asociaciones biológicamente relevantes (Figura 4).

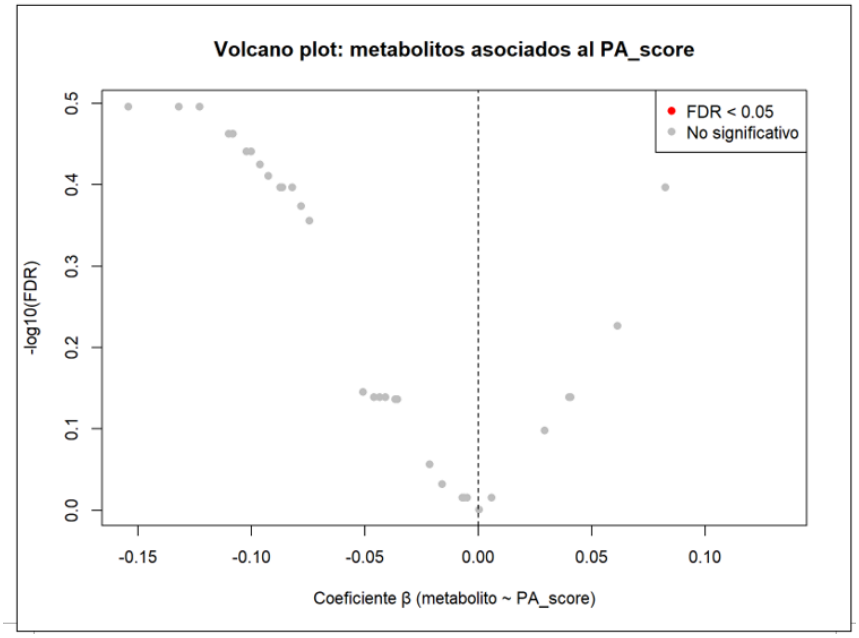



***Figura 4***. - *Volcano plot de metabolitos urinarios asociados al índice compuesto de actividad física (PA_score)*

Por otro lado, el análisis mediante *heatmap* y agrupamiento jerárquico mostró patrones parciales de coexpresión metabólica, sugiriendo que algunos metabolitos asociados al PA_score tienden a variar de forma coordinada. Este comportamiento refuerza la idea de que la actividad física no actúa sobre un único proceso metabólico aislado, sino sobre múltiples rutas bioquímicas interconectadas (Figura 5).

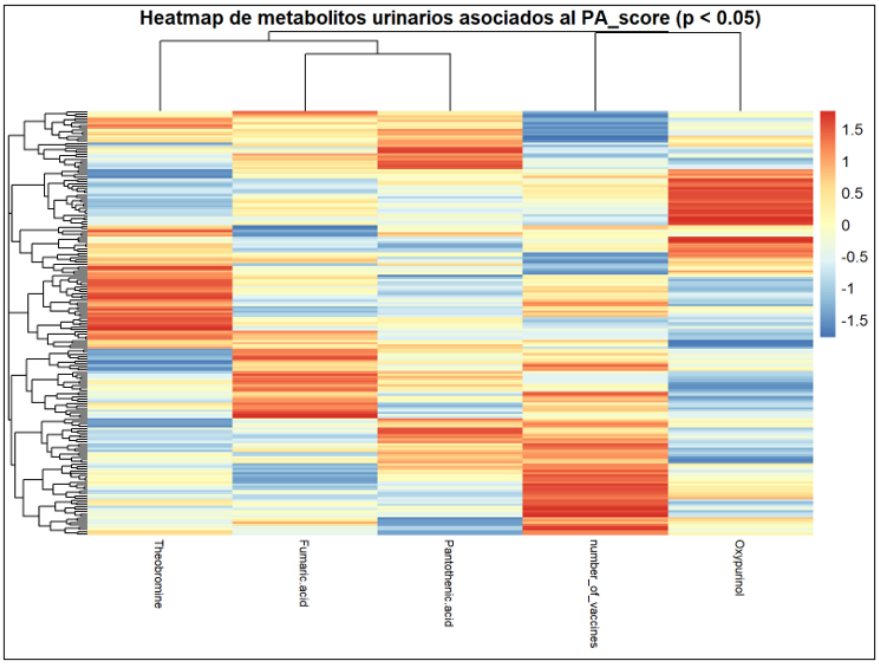



***Figura 5.*** *- Heatmap de metabolitos urinarios asociados al índice compuesto de actividad física (PA_score) (p < 0,05)*

Los modelos multivariantes ajustados por edad, sexo, índice de masa corporal, tabaquismo y consumo de alcohol permitieron evaluar si las asociaciones observadas eran independientes de posibles factores de confusión. Tras el ajuste, algunos metabolitos mantuvieron parcialmente su relación con el PA_score, mientras que otros perdieron consistencia estadística.

Este comportamiento indica que parte de la variabilidad metabolómica observada podría estar influida simultáneamente por variables demográficas y hábitos de vida coexistentes. No obstante, la persistencia de determinadas asociaciones tras el ajuste respalda la existencia de un efecto independiente, aunque discreto, de la actividad física sobre el metabolismo urinario.

En conjunto, los análisis univariantes y multivariantes desarrollados en esta investigación sugieren que el nivel habitual de actividad física se asocia con modificaciones metabolómicas urinarias de pequeña magnitud, pero fisiológicamente plausibles. Estos resultados contribuyen a ampliar el conocimiento existente sobre la interacción entre comportamiento físico y metabolismo humano, apoyando el potencial

de la metabolómica urinaria como herramienta complementaria en el estudio de adaptaciones metabólicas relacionadas con el ejercicio físico habitual.

## *CONCLUSIONES*

Las conclusiones que se presentan a continuación se derivan directamente de los objetivos planteados y de los resultados obtenidos en la investigación, permitiendo valorar el cumplimiento de las hipótesis formuladas y el aporte científico del estudio.

Se observaron asociaciones significativas entre el PA_score y variables relacionadas con el estilo de vida, especialmente con la frecuencia semanal de actividad física y el nivel de esfuerzo físico ocupacional, lo que aporta consistencia interna al índice desarrollado y respalda su utilidad metodológica para futuros análisis metabolómicos.

Los resultados mostraron una tendencia hacia una menor prevalencia de tabaquismo en los grupos con mayores niveles de actividad física, sugiriendo la coexistencia de patrones de comportamiento más saludables en individuos con perfiles de actividad física elevados.

El análisis exploratorio multivariante mediante PCA evidenció patrones graduales de organización metabolómica asociados al nivel de actividad física, aunque sin observar agrupaciones completamente diferenciadas entre individuos, lo que sugiere una modulación metabólica discreta y distribuida asociada al ejercicio físico habitual.

Las asociaciones observadas presentaron una magnitud moderada y un carácter principalmente exploratorio; sin embargo, mostraron coherencia fisiológica con mecanismos metabólicos previamente descritos en relación con la actividad física y las adaptaciones sistémicas inducidas por el ejercicio regular.

Los modelos multivariantes ajustados por variables sociodemográficas y hábitos de vida confirmaron parcialmente la persistencia de algunas asociaciones entre actividad física y metabolitos urinarios, lo que sugiere la existencia de un efecto independiente, aunque discreto, del comportamiento físico sobre el perfil metabolómico.

## *REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

Aguilar Fernández, E., & Carballo Alfaro, A. M. (2020). Proteína C reactiva, síndrome metabólico y riesgo cardiovascular en la población costarricense nacida entre 1945 y 1955. *UNED Research Journal*, 12(1), e2662. https://doi.org/10.22458/urj.v12i1.2662

Arsentales-Montalva, V., Tenorio-Guadalupe, M., & Bernabé-Ortiz, A. (2019). Asociación entre actividad física ocupacional y síndrome metabólico: Un estudio poblacional en Perú. *Revista chilena de nutrición*, 46(4), 392-399. https://doi.org/10.4067/S0717-75182019000400392

Carrera Valdés, C., Fuentes Martínez, C. M., & Calderín Milán, G. (2020). The physical activity in the control of the Metabolic Syndrome as factor of risk of the COVID-19. *Acción*, 16, 1-4.

Cristi-Montero, C., Sadarangani, K. P., Soc, M. S., Garrido-Méndez, A., Poblete-Valderrama, F., Educ, M., Díaz-Martínez, X., Educ, M., & Celis-Morales, C. (2019). Relación entre niveles de actividad física y sedentarismo con síndrome metabólico. ENS Chile 2009-2010. *Salud Pública de México*, 61(2), 8. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342019000200166

Espinoza-Rivera, S., Andrea Rivera, P., & Ballinas Sueldo, Y. (2023). Prevalencia y componentes del síndrome metabólico premórbido en trabajadores asegurados al seguro social de salud en una zona de altitud moderada en Perú. *Acta medica Peruana*, 39(4), 362-368. https://doi.org/10.35663/amp.2022.394.2505

Flores, C. Y. A., & Ureta, C. A.-O. (2023). Estilo de vida y síndrome metabólico en el personal de salud de un hospital, 2022. *Rev Esp Nutr Comunitaria*, 29(4), 1-7. https://www.renc.es/imagenes/auxiliar/files/RENC-D-23-0046_Final.pdf

Fragozo-Ramos, M. C. (2022). Síndrome metabólico: Revisión de la literatura. *Medicina y Laboratorio*, 26(1), 47-62. https://doi.org/10.36384/01232576.559

García, M. J. V., Oñate, J. A., Muñoz, N. L., & Leiva, I. R. (2022). Evaluación de la prevalencia del síndrome metabólico en jóvenes de 18 a 29 años que se atienden en el laboratorio blanco, de Santiago de chile en el año 2022. *Revista Confluencia*, 5(2), 46-50. https://revistas.udd.cl/index.php/confluencia/es/article/view/823

González-Chávez, A., Gómez-Miranda, J. E., Elizondo-Argueta, S., Rangel-Mejía, M. del P., & Sánchez-Zúñiga, M. de J. (2019). Guía de práctica clínica de síndrome metabólico. *Alad*, 9(4), 179-200. https://doi.org/10.24875/ALAD.19000381

Ibarra Gallardo, A., Lozada Hernánde, J., & López Mendoza, G. (2021). Frecuencia de factores de riesgo para síndrome metabólico en personal de salud. *Atención Familiar*, 29(1), 36. https://doi.org/10.22201/fm.14058871p.2022.1.81187

López, S. (2021). *Estudio metabolómico mediante Resonancia Magnética Nuclear de biomarcadores en suero de pacientes con cáncer colorrectal*. Universitat Oberta de Catalunya.

Martínez, M. P. (2021). Síndrome Metabólico en Adultos: Revisión Narrativa de la LiteraturaMetabolic Syndrome in Adults: A Narrative Review of the Literature. *ARCHIVOS DE MEDICINA*, 17(2:4), 1-5. https://www.archivosdemedicina.com/medicina-de-familia/siacutendrome-metaboacutelico-en-adultos-revisioacuten-narrativa-de-la-literatura.pdf

Moscoso Arpasi, L. (2020). Physical activity and metabolic syndrome: «A lifestyle». *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 20(4), 750-751. https://doi.org/10.25176/RFMH.v20i4.3051

Pacheco Quintana, C. C., & Altamirano Valladares, D. F. (2023). Factores de riesgo relacionados con síndrome metabólico en trabajadores del cuerpo de bomberos de la ciudad de Ibarra; 2021 – 2022. *La U Investiga*, 9(1), 93-107. https://doi.org/10.53358/lauinvestiga.v9i1.716

Ramírez, D. M. Á., Rosety, J. M., Marcos-Becerro, J., Rosety, I., Ordóñez, F., Rosety-Rodríguez, M., Rodríguez-Pareja, M., & Rosety, M. Á. (2012). El ejercicio y el síndrome metabólico. 4(28), *Revista Médica del Uruguay* 309-316. https://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-03902012000400007

Ramírez Iñiguez de la Torre, M. V., Vicente Herrero, M. T., López González, Á. A., & Capdevila García, L. (2020). Síndrome metabólico y diabetes tipo 2. Estimación de riesgo en trabajadores aparentemente sanos. *Medicina Balear*, 35(2), 34-40. https://doi.org/10.3306/MEDICINABALEAR.35.02.34

Torres Morales, D., Simancas-Racines, D., Pérez-Tasigchana, R., Gavilanez Morales, C., & Masson-Palacios, M. (2021). Síndrome metabólico en pacientes con lupus eritematoso sistémico en el servicio de medicina interna del Hospital Eugenio Espejo. *Práctica Familiar Rural*, 6(3), 1-8. https://doi.org/10.23936/pfr.v6i3.217

Ugarriza Hierro, L. (2022). *Intervención en pacientes con enfermedad por hígado graso no alcohólico (ehgna) y síndrome metabólico a través de dieta y actividad física personalizadas y valoración de su evolución*. Universitat de les Illes Balears. https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/675730/Ugarriza_Hierro_Lucia.pdf?sequence=1&isAllowed=y

***Conflicto de intereses*:**

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

***Contribución de los autores*:**

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial Compartir igual 4.0 Internacional
Copyright (c) 2026 *Gorka Zabala Lasa, Beatriz Sánchez Córdova*