



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

**Universidad de la República (Udelar)**  
Instituto Superior de Educación Física (ISEF)  
Programa de Maestría en Educación Física (ProMEF)

Analía Cecilia Acuña Acuña

---

**Eficiencia del Consumo de Oxígeno (OUES) en Pruebas de Esfuerzo  
Cardiopulmonar: *análisis de la relación con otros marcadores de  
respuesta cardio-respiratoria y componentes de la condición física***

Laboratorio de Investigación y Evaluación Biomédica en Reposo y Ejercicio (LIEBRE). Instituto Superior de Educación Física (ISEF) - Facultad de Medicina; Universidad de la República (<https://imagenologiachpr.edu.uy/liebre/>). Depto. de Imagenología, Centro Hospitalario Pereira-Rossell, Dirección: Bvar. Artigas 1590 / Lord Ponsomby 2410, Montevideo, Uruguay.  
Noviembre, 2023

Anaía Cecilia Acuña Acuña  
**Eficiencia del Consumo de Oxígeno (OUES) en Pruebas de Esfuerzo  
Cardiopulmonar: *análisis de la relación con otros marcadores de respuesta  
cardio-respiratoria y componentes de la condición física***



# UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

**Directora Académica:** Prof. Adj. Dr. Yanina Zócalo  
**Co-Directores Académicos:** Prof. Agdo. Dr. Daniel Bia &  
Prof. Agdo. Dr. Carlos Magallanes

## FICHA DE CATALOGACIÓN DEL TRABAJO

Autorizo, solo con fines académicos y científicos, la reproducción total o parcial de esta tesis.



Firma

20 de noviembre 2023

Fecha

Analia Cecilia Acuña Acuña  
**Eficiencia del Consumo de Oxígeno (OUES) en Pruebas de Esfuerzo  
Cardiopulmonar: *análisis de la relación con otros marcadores de respuesta  
cardio-respiratoria y componentes de la condición física***

Tesis presentada al Programa de Maestría en  
Educación Física de la Universidad de la  
República, como requisito parcial para obtener  
el título de Magíster en Educación Física.  
Área de concentración: Educación Física y Salud

Aprobada en.....del .....

Tribunal compuesto por:

---

**Prof. Dr. Nombre Completo (Director)(a)**  
Universidad de la República

---

**Prof. Dr. Nombre Completo (Co-Director)(a)**  
Universidad de la República

---

**Prof. Dr. Nombre Completo (miembro externo)**  
Universidad de la República

## **Dedicatoria**

Para toda mi familia, papá, mamá y hermanos por siempre estar ahí. En especial a Gerta, mi compañero de vida por su acompañamiento y aliento incondicional en los momentos más difíciles. Te amo. Gracias por ser ese motor.

## **Agradecimientos**

Agradezco enormemente, en primera instancia a mis compañeras y compañeros de LIEBRE. Especialmente a mis tutores Yanina, Daniel y Carlos, por acompañarme en este largo proceso de maestría desde el comienzo, sin ellos no hubiese sido posible llevar adelante la investigación. También a mis amigas del equipo Mariana y Adela por el trabajo a diario y el compromiso.

A la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) de la Universidad de la República, por el apoyo económico al proyecto.

A las y los compañeros de Imagenología del Centro Hospitalario Pereira-Rossell, por el espacio compartido.

## Resumen

**Fundamentación:** La capacidad de respuesta cardio-respiratoria al ejercicio se relaciona con la salud, el nivel de entrenamiento físico al realizarlo, y con el riesgo de enfermedad o eventos cardio-respiratorios futuros. Poder caracterizar en una prueba cardiopulmonar de ejercicio (CPET, del inglés Cardio Pulmonary Exercise Test) esta respuesta, con indicadores reproducibles, operador-independientes, y de fácil cálculo, es fundamental. Adicionalmente, dado que en diferentes contextos y/o por diversas razones (ejemplo, voluntad del evaluado, limitaciones motoras, identificación de factores o condiciones consideradas criterios de suspensión) no se realiza o no se alcanza un test máximo, es importante contar con índices validados y robustos, que para su cálculo no requieran necesariamente que las pruebas (test) sean máximas (hasta que la persona agote física y/o mentalmente su capacidad). En este contexto, diversos índices 'sub-máximos' (no requieren test máximo) se han propuesto para caracterizar la capacidad cardio-respiratoria; cada uno con fortalezas y debilidades. Entre ellos destaca el 'Oxygen Uptake Efficiency Slope' (OUES), por su potencial valor como herramienta diagnóstica. Sin embargo, resta caracterizar si el OUES se asocia con otros índices, así como identificar sus potenciales factores determinantes y/o explicativos.

**Objetivos:** Determinar en qué medida el OUES se relaciona: (1) con otros índices sub-máximos (derivados del CPET), y (2) con el nivel de (i) flexibilidad, (ii) condición muscular de miembros, (iii) composición corporal, y (iv) nivel de actividad física semanal. Además, (3) identificar si existe un nivel jerárquico de variables biológicas explicativas del nivel de OUES.

**Metodología:** Se incluyeron 143 personas saludables (edad: 8-54 años; 61% varones). En cada persona se evaluó: (i) historia biomédica, (ii) talla, masa y composición corporal; masa grasa y muscular global y segmentaria (balanza multi-frecuencia de bioimpedancia), (iii) flexibilidad (Sit-&-Reach), (iv) condición muscular de miembros superiores (Handgrip) e inferiores (salto con contra-movimiento; alfombra de salto), (v) actividad física semanal (auto-reporte; International Physical Activity Questionnaire), y (vi) CPET, test incremental, máximo, continuo, en rampa, realizado en cicloergómetro, con análisis de gases de intercambio ventilatorio, y valoración hemodinámica (cardiografía de impedancia). Entre las variables obtenidas del CPET destacamos: tasa de trabajo (WR), consumo de oxígeno ( $VO_2$ ), eliminación de dióxido de carbono ( $VCO_2$ ), ventilación pulmonar minuto (VE), frecuencia cardíaca (HR). Las variables descritas permitieron cuantificar índices (sub-máximos) de respuesta al ejercicio y recuperación del ejercicio: OUES ( $=VO_2/LogVE$ ),  $VO_2/WR$ ,  $VE/VCO_2$ , recuperación post-esfuerzo de HR (HR Decay). Se analizaron relaciones entre variables (correlaciones simples y parciales, regresiones lineales múltiples).

**Resultados:** (1) El OUES presentó relaciones (leves-moderadas) estadísticamente significativas con  $VO_2/WR$  ( $r=0.43$ ),  $VE/VCO_2$  ( $r=-0.48$ ) y HR Decay ( $r=-0.39$ ), indicando que presentan determinantes comunes, pero no idénticos. (2) El OUES se asoció con la edad y el sexo, pero no presentó relación independiente con otros factores asociados a aumento de riesgo cardiovascular y/o respiratorio. (3) Los principales factores explicativos del OUES fueron el sexo, el nivel de salto y la masa muscular total; en ese orden.

**Conclusiones:** La información provista por el OUES, se asocia, pero no equivale, a la reportada por otros índices de capacidad cardio-respiratoria. En general, todos los componentes de la condición y actividad física presentaron relación bivariada significativa con el OUES. Los principales factores explicativos de la variabilidad interindividual del OUES, fueron el sexo, la fuerza de miembros inferiores y la masa muscular total.

**Palabras clave:** Índices sub-máximos, Condición física, Prueba cardiopulmonar de ejercicio, OUES.

## Summary

**Introduction:** Cardio-respiratory responses to exercise are associated with health, the level of physical fitness during exercise, and the risk of future cardiovascular and respiratory events. It is crucial to characterize this response in a Cardio Pulmonary Exercise Test (CPET) using reproducible, operator-independent, and relatively easy-to-calculate indicators. Additionally, for various reasons (e.g., individual willingness, motor limitations, identification of criteria for test suspension), maximal tests are not always feasible. Therefore, validated and robust sub-maximal indices, not necessarily requiring maximal efforts (until physical and/or mental exhaustion), are important. In this context, various sub-maximal indices have been proposed to characterize cardio-respiratory capacity, each with its strengths and weaknesses. Among them, the Oxygen Uptake Efficiency Slope (OUES) stands out due to its potential diagnostic value. However, it is necessary to determine the extent to which OUES is associated with other indices and identify potential determining factors.

**Objectives:** The objectives of this study are: (1) to determine the extent to which OUES is related to other sub-maximal indices, and (2) to assess its relationship with (i) flexibility, (ii) muscle condition of limbs, (iii) body composition, and (iv) weekly physical activity level. Additionally, we aim to (3) identify if there is a hierarchical level of biological variables explaining OUES levels.

**Methodology:** We included 143 healthy individuals (age: 8-54 years; 61% males). Each individual underwent: (i) biomedical history assessment, (ii) measurements of height, weight, and body composition, including total and segmental fat and muscle mass (multi-frequency bioimpedance scale), (iii) flexibility assessment (Sit-&-Reach), (iv) upper and lower limb muscle condition evaluation (Handgrip and counter-movement jump; jump mat), (v) weekly physical activity assessment (self-report; International Physical Activity Questionnaire), and (vi) CPET, which was an incremental, maximal, continuous, ramp exercise test performed on a cycle ergometer, with gas exchange analysis and hemodynamic evaluation using impedance cardiography. Key CPET variables included workload rate (WR), oxygen consumption ( $VO_2$ ), carbon dioxide elimination ( $VCO_2$ ), minute ventilation (VE), and heart rate (HR). The collected information enabled the quantification of sub-maximal exercise response and recovery indices: OUES ( $=VO_2/LogVE$ ),  $VO_2/WR$ ,  $VE/VCO_2$ , post-exertion HR recovery (HR Decay). Relationships between variables were analyzed using simple and partial correlations and multiple linear regressions.

**Results:** (1) OUES showed statistically significant (moderate) relationships with  $VO_2/WR$  ( $r=0.434$ ),  $VE/VCO_2$  ( $r=-0.482$ ), and HR Decay ( $r=-0.390$ ), indicating that they share common determinants but are not identical. (2) OUES was associated with age and gender but did not have an independent relationship with other factors associated with increased cardiovascular and respiratory risk. (3) The main explanatory factors for OUES variability were gender, jumping ability, and total muscle mass, in that order.

**Conclusions:** The information provided by OUES is associated with but not equivalent to that reported by other indices of cardio-respiratory capacity. Overall, all components of physical fitness and activity showed significant bivariate relationships with OUES. The primary explanatory factors for interindividual variability in OUES were gender, lower limb strength, and total muscle mass.

**Keywords:** Sub-maximal indices, Physical fitness, Cardio-pulmonary exercise test, OUES.

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Sistemas bioenergéticos en la producción de ATP. Tomado de (López Chicharro & Vaquero Fernández, 2006).....	23
<b>Figura 2.</b> Protocolos de pruebas de esfuerzo tomado de (Manonelles, 2016). .....	24
<b>Figura 3.</b> Variables derivadas del CPET, imagen tomada de (Wasserman, 1996). Variables derivadas directamente del analizador de gases, o derivadas (calculadas) primariamente o secundariamente. CO <sub>2</sub> : dióxido de carbono. O <sub>2</sub> : oxígeno. VT. volumen corriente. VE: ventilación minuto. VCO <sub>2</sub> : producción de dióxido de carbono (medido en la ventilación). VO <sub>2</sub> : consumo de oxígeno (medido en la ventilación). PET: presión de fin de espiración Spo <sub>2</sub> : saturación de oxígeno en sangre. WR: tasa de trabajo). R: relación VCO <sub>2</sub> /VO <sub>2</sub> .....	25
<b>Figura 4.</b> Relación entre ventilación pulmonar minuto (VE) y carga (esfuerzo) realizada en prueba realizada en cicloergómetro, empleando test de rampa. Las tres fases (en esta figura denominadas "intensidad ligera-moderada" (Fase 1), "intensidad moderada-alta" (Fase 2) e "intensidad alta- muy alta" (Fase 3), son delimitadas por los llamados umbrales ventilatorios uno y dos (VT1 y VT2), identificados (entre otras cosas) por los cambios de pendiente de la relación VE/Carga. Imagen obtenida de: <a href="https://www.sportlife.es/entrenar/mejora-tu-forma-con-modelo-trifasico_211660_102.html">https://www.sportlife.es/entrenar/mejora-tu-forma-con-modelo-trifasico_211660_102.html</a> .....	27
<b>Figura 5.</b> (A) Determinación de la masa y composición corporal en balanza de bioimpedancia InBody 120, imágenes tomadas en el Laboratorio de investigación y evaluación biomédica en reposo y ejercicio (LIEBRE). (B) vista superior de la balanza de bioimpedancia Inbody 120. ....	37
<b>Figura 6.</b> Ejecución del test de sentarse y alcanzar en el laboratorio de LIEBRE. ....	38
<b>Figura 7.</b> (A) Dinamómetro Takei 5401. (B) Ejecución de la prueba de presión manual, tomada en LIEBRE. ....	39
<b>Figura 8.</b> (A)Ejecución del salto con contra-movimiento (LIEBRE). (B) Imagen del software Cronojump, luego de la ejecución de dos saltos. ....	40
<b>Figura 9.</b> (A) Máscara del analizador de gases. (B) Máscara del analizador de gases instrumentada en el sujeto en LIEBRE (C) Dispositivo Córtex (D) Pantalla del software Metasoft durante la espirometría en reposo. ....	41
<b>Figura 10.</b> (A) Dispositivo para electrocardiograma, Cardiosoft-V7. (B) Electrocardiograma de reposo.....	42
<b>Figura 11.</b> (A) Equipo de cardiografía de impedancia para monitoreo hemodinámico (PhysioFlow). (B) Sujeto instrumentado en posición parado (LIEBRE) (C) Esquema de colocación de electrodos del equipo PhysioFlow.....	42
<b>Figura 12.</b> Escala de percepción del esfuerzo (Borg, 1998) .....	43

**Figura 13.** (A) Imagen del software Metasoft durante el CPET. (B) Sujeto realizando CPET en LIEBRE, pantallas de obtención de datos del electrocardiograma (izquierda) y de ergoespirometría (derecha)..... 45

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Características descriptivas del grupo de personas evaluado .....	49
<b>Tabla 2.</b> Variables cardio-respiratorias obtenidas en reposo y durante el CPET .....	50
<b>Tabla 3.</b> Correlaciones simples y parciales (ajuste: edad, sexo) entre los Índices.....	51
<b>Tabla 4.</b> Correlaciones parciales (ajuste: edad, sexo) entre OUES y factores de riesgo .....	52
<b>Tabla 5.</b> Correlaciones simples y parciales (ajuste: edad, sexo) entre OUES e índices de condición muscular y flexibilidad .....	53
<b>Tabla 6.</b> Correlaciones simples y parciales (ajuste: edad, sexo) entre OUES y composición corporal.....	54
<b>Tabla 7.</b> Correlaciones simples y parciales (ajuste: edad, sexo) entre OUES y actividad física. ....	55
<b>Tabla 8.</b> Modelos explicativos del nivel de OUES (variable dependiente): análisis individuales para diferentes variables de condición física.....	56
<b>Tabla 9.</b> Modelos explicativos del nivel de OUES (variable dependiente) .....	56

## Lista de abreviaturas y siglas

<b>AF</b>	Actividad Física
<b>BIA</b>	Análisis de Impedancia Bioeléctrica (del inglés, Bioimpedance Analysis)
<b>CF</b>	Condición Física
<b>CRF</b>	Capacidad cardio-respiratoria (del inglés, Cardio-Respiratory Fitness)
<b>CMJ</b>	Salto con Contra-Movimiento (del inglés, Counter Movement Jump)
<b>CPET</b>	Prueba Cardiopulmonar de Ejercicio (del inglés, Cardio Pulmonary Exercise Test)
<b>DSM</b>	Medición Segmental Directa (del inglés, Direct Segment Measurement)
<b>ECV</b>	Enfermedades Cardiovasculares
<b>HR</b>	Frecuencia Cardíaca (del inglés, Heart Rate)
<b>IPAQ</b>	Cuestionario Internacional de Actividad Física (del inglés, International Physical Activity Questionnaire)
<b>OUES</b>	Pendiente de la eficiencia de captación de oxígeno (del inglés, Oxigen Uptake Efficiency Slope)
<b>VCO<sub>2</sub></b>	Eliminación ventilatoria/minuto de dióxido de carbono
<b>VE</b>	Ventilación pulmonar minuto
<b>VO<sub>2</sub></b>	Consumo de oxígeno
<b>WR</b>	Carga de trabajo (del inglés, WorkRate)

## Tabla de contenido

Introducción .....	13
1. Marco teórico .....	16
1.1 Condición física y nivel de actividad física asociado con la salud .....	16
Composición corporal.....	17
Condición muscular.....	18
Flexibilidad .....	19
Condición cardio-respiratoria.....	20
Actividad física semanal.....	20
1.2 Respuesta cardio-respiratoria al ejercicio: CPET como herramienta para su evaluación .....	21
Vías energéticas y ejercicio.....	21
CPET .....	23
1.3 Índices sub-máximos: el OUES indicador válido para evaluar la CRF .....	31
2. Preguntas .....	32
3. Hipótesis.....	33
4. Objetivos de investigación.....	34
4.1 Objetivo General .....	34
4.2 Objetivos específicos .....	34
5. Diseño metodológico.....	35
5.1. Personas evaluadas.....	35
5.2. Procedimiento .....	36
5.3. Evaluaciones.....	36
Evaluación antropométrica y de composición corporal .....	37
Flexibilidad .....	38
Condición muscular.....	38
Condición cardio-respiratoria.....	40
5.4. Análisis de datos y estadístico.....	45
6. Resultados.....	49
6.1 Características de las personas evaluadas .....	49

6.2 Variables obtenidas durante el CPET (cicloergómetro).....	51
6.3 Relación entre OUES y otros índices de respuesta y/o recuperación cardio-respiratoria .....	52
6.4 Relación entre OUES, sexo, edad y factores de riesgo cardio-respiratorios.....	52
6.5 Relación entre OUES, y nivel de flexibilidad y de condición muscular .....	53
6.6 Relación entre OUES, y composición corporal global y segmentaria .....	54
6.7 Relación entre OUES, y nivel auto-reportado de actividad física semanal.....	55
6.8. OUES e índices de condición y actividad física: jerarquía en capacidad explicativa.	56
7. Discusión .....	60
7.1. Principales resultados .....	60
7.2. Fortalezas y limitaciones .....	65
8. Conclusión .....	67

## Introducción

La condición física (CF) es un concepto y un objeto de estudio multi e interdisciplinario. Si la definimos como el estado que refleja la capacidad de un sujeto de realizar una función o actividad física particular, resulta fácilmente comprensible su importancia en el desempeño (ej. deportivo o laboral) y en la salud de los individuos. De igual manera resulta evidente que su evaluación es de singular valor, tanto para un especialista en ciencias del deporte, docente de educación física, entrenador deportivo, médico o fisiólogo. La divergencia se da en la forma de abordaje, interpretación y usos de la información obtenida por parte de cada profesional.

Al hablar de CF, frecuentemente se consideran en forma separada los aspectos o componentes de la misma que se han asociado con la salud y aquellos que se identifican como relacionados con el desempeño deportivo (Morrow et al., 2022). Si bien se reconoce que los diferentes aspectos de la CF están estrechamente relacionados e interconectados esa división resulta útil en diferentes contextos y para diferentes objetivos (ej. con fines didácticos). Teniendo en cuenta lo anterior, podemos hablar de CF asociada con la salud, la cual sería resultante de diferentes componentes, interrelacionados entre los que se encuentran la composición corporal, capacidad cardio-respiratoria, la condición músculo-esquelética y la flexibilidad (Gibson et al., 2018).

La capacidad cardio-respiratoria (CRF, del inglés Cardio-Respiratory Fitness), es la capacidad del corazón, los pulmones y el sistema circulatorio para suministrar eficazmente oxígeno y nutrientes a los músculos activos, garantizando al mismo tiempo la eliminación de sus "residuos" metabólicos. Para demostrar esta capacidad es necesario "estresar significativamente" el sistema cardio-respiratorio, por lo tanto, se define a la CRF como la capacidad de realizar ejercicios dinámicos que impliquen a grandes grupos musculares a una intensidad de moderada a alta durante periodos prolongados (Sietsema, 2020).

La prueba cardiopulmonar de ejercicio (CPET, por su denominación en inglés Cardio Pulmonary Exercise Test) es una prueba que evalúa objetiva y cuantitativamente la CRF a partir de la integración de la respuesta de variables cardiovasculares, ventilatorias y del intercambio de gases respiratorios (ej. captación o consumo de oxígeno [ $VO_2$ ] y excreción de dióxido de carbono [ $VCO_2$ ]) al ejercicio progresivo realizado hasta el límite de tolerancia (Manonelles, 2016; Pritchard et al., 2021). En la actualidad, el CPET es el método internacionalmente reconocido como referencia para evaluar la CRF (Pritchard et al., 2021), siendo el  $VO_2$  máximo obtenido, el indicador de la máxima cantidad de oxígeno que se puede captar, transportar y utilizar por unidad de tiempo. Consecuentemente, el  $VO_2$  máximo (o el

pico en determinadas situaciones) es considerado indicador (estándar oro) de la CRF (Balady, 2010; Manonelles, 2016; Guazzi et. al., 2017; Pritchard et al., 2021).

Teniendo en cuenta lo anterior, podría decirse que el  $\text{VO}_2$  máximo describe la limitación neta de la capacidad de ejercicio, siendo necesario para su obtención la realización de pruebas máximas. Sin embargo, cabe señalar que, en distintas poblaciones, situaciones y/o contextos, con frecuencia es necesaria la evaluación de la CRF, pero no es posible la realización de pruebas máximas. Eso ha dado lugar a la búsqueda de indicadores derivados del CPET que pudieran obtenerse en evaluaciones sub-máximas y brindaran información válida acerca de la CRF (Balady, 2010; Guazzi et. al., 2017; Wagner et. al., 2020).

En este contexto, Baba y colaboradores (1996) introdujeron como índice complementario derivado del CPET a la pendiente de la eficiencia de captación de oxígeno (OUES, por denominación en inglés Oxigen Uptake Efficiency Slope) que corresponde a la pendiente de la relación entre la ventilación pulmonar minuto (VE) transformada logarítmicamente (LogVE, eje x) y el  $\text{VO}_2$  (eje y), considerando datos obtenidos durante el ejercicio incremental (Baba, 1999). Se trata de un índice cuya determinación no requiere de un esfuerzo máximo y que refleja la función y capacidad integrada de los sistemas pulmonar, cardiovascular y músculo-esquelético (Baba, 1999; Hollenberg, 2000; Balady, 2010; Coeckelberghs et al., 2016). A partir del trabajo inicial de Baba y col. (en niños y adolescentes), diferentes trabajos han analizado la validez y utilidad del OUES en distintas poblaciones y condiciones, habiéndose identificado, por ejemplo, como marcador pronóstico en personas con enfermedades cardiopulmonares. Por otra parte, se ha propuesto su utilización para controlar y evaluar la CRF en deportistas, particularmente fuera de temporada o competición, o en caso de reintegro post lesión (Coeckelberghs et al., 2016; Onofre et al., 2017). En este contexto, el OUES ha cobrado relevancia en el campo de la fisiología del esfuerzo debido a su potencial utilidad como herramienta válida para la evaluación de la CFR, por ser un índice de relativa fácil aplicabilidad en poblaciones de diversas características, con la ventaja de poder ser obtenido en pruebas sub-máximas. Sin embargo, una amplia aplicación (o utilización) del OUES se ha visto limitada, lo que podría explicarse por la existencia de escasa información y/o controversias en relación a algunos aspectos relacionados con el parámetro (ej. factores explicativos, determinantes, asociación con otros parámetros sub-máximos).

El presente trabajo busca contribuir al conocimiento de la Fisiología del Ejercicio, a partir de la determinación del OUES en pruebas de esfuerzo cardiopulmonar y el análisis de su relación con otros indicadores de la capacidad aeróbica y componentes de la CF.

Estaremos aportando al campo de estudio, en la producción de conocimiento sobre el OUES. El conocimiento generado podrá verse vertido en variados campos como la educación física, el deporte, el rendimiento, la rehabilitación, y las ciencias biomédicas y del deporte en general.

# 1. Marco teórico

En la presente sección se describen antecedentes, alcances y limitaciones de la información disponible en relación a la temática estudiada; se definen las variables analizadas y se conceptualiza el abordaje metodológico empleado. Además, se fundamenta la pertinencia, validez y confiabilidad del presente trabajo, a la vez que se establecen y delimitan las bases que sustentan el enfoque seleccionado para el estudio del tema.

## 1.1 Condición física y nivel de actividad física asociado con la salud

Se reconoce que la 'actividad física' (AF) ha tenido y tiene un rol de importancia creciente en el bienestar físico, mental y social, así como en la prevención, tratamiento y control de enfermedades crónicas y de los factores asociados con un aumento de riesgo de las mismas. En relación con lo anterior, cabe recordar que por AF se entiende todo movimiento corporal que resulta de la actividad del músculo esquelético y que supone un requerimiento energético por encima del basal (ACSM, 2022). Entre los diferentes tipos de AF se encuentra el 'ejercicio físico', que se define como aquella AF consistente en movimientos corporales planificados, estructurados, repetitivos, que se realizan para mantener, mejorar y/u optimizar uno o más componentes de la CF. Entre las diferentes definiciones que se han dado de ésta última, tal como fuera mencionado, consideramos aquella que la define como el estado (resultante del conjunto de características o atributos que un sujeto tiene o adquiere) que refleja la capacidad para realizar AF. Las características o atributos (componentes) que definen la CF clásicamente han sido separados en: (i) componentes relacionados con la salud, y (ii) componentes relacionados con destrezas o habilidades específicas (Gibson et al., 2018). Entre los primeros, se encuentran la composición corporal, CRF, condición muscular (fuerza muscular, resistencia y potencia) y flexibilidad. A su vez, entre los componentes de la CF relacionados con destrezas o habilidades específicas se incluyen la agilidad, coordinación, equilibrio, tiempo y velocidad de reacción. En relación con lo anterior, y tal como fuera mencionado, componentes relacionados con destrezas típicamente asociadas con el desempeño y rendimiento deportivo (ej. potencia y agilidad) han mostrado relación con la salud (ACSM, 2022). Eso quizá explique la inclusión de la potencia junto a la fuerza y resistencia en la categoría denominada condición muscular (componente de la CF relacionada con la salud).

La AF y la CF hacen referencia a aspectos diferentes de un sujeto, los que estarían relacionados y serían interdependientes. Así, mientras que la AF describe un comportamiento o hábito, la CF es el estado que refleja la capacidad del sujeto para realizar una función o AF particular (ACSM, 2022; Gibson et al., 2018; Wagner et al., 2020). A su vez, la AF de un sujeto impactaría sobre diferentes componentes de su CF, los que serían factores determinantes de

la AF posible de ser realizada por el sujeto, así como de la relación del sujeto con la AF (ej. consideración, definición, selección y/o participación). En este contexto, cabe señalar que la relación entre componentes de la CF, así como entre CF y AF es compleja y existen algunos aspectos que aún no han sido analizados o para los cuales la información disponible es controversial (ACSM, 2022; Gibson et al., 2018). Esto último podría explicarse, entre otros factores, por diferencias en la población estudiada, variables consideradas, abordaje metodológico y diferentes formas de analizar datos y resultados. A modo de ejemplo, diferencias en los resultados del análisis de la relación de la AF con componentes de la CF podrían estar asociados a diferencias en los niveles de AF (leve, moderada, vigorosa) considerados, y/o en las poblaciones estudiadas (ej. un mismo nivel de actividad definido en base a equivalentes metabólicos no representaría la misma intensidad de ejercicio para sujetos inactivos que para activos) (ACSM, 2022; Gibson et al., 2018). En relación con lo anterior, se acepta que el beneficio (ej. en términos de salud) asociado a la AF se observa dentro de ciertos límites de carga. Consecuentemente, una adecuada interpretación del impacto de la AF requiere tener en cuenta el volumen (particularmente la intensidad) de actividad considerado (ACSM, 2022; Gibson et al., 2018).

A continuación, se describen variables y herramientas de evaluación relacionadas con la CF y/o AF consideradas de interés para el presente trabajo.

### ***Composición corporal***

El concepto de composición corporal hace referencia a como está constituido nuestro cuerpo, definido de acuerdo a la cantidad absoluta y relativa de los diferentes componentes (ej. masa grasa y magra). Asimismo, en el análisis e interpretación de la composición corporal se considera la distribución de los diferentes componentes y otras variables antropométricas (ej. la altura y su relación con la masa corporal).

Tal como fue mencionado, la composición corporal se incluye entre los componentes de la CF asociados con la salud. Al respecto, se reconoce que el exceso de grasa corporal tiene impacto negativo en la salud, tanto directamente (ej. por ser factor de riesgo para diferentes enfermedades) como indirectamente (ej. por su agrupación con otros factores de riesgo). A su vez, una cantidad reducida de grasa corporal también supone un riesgo para la salud (Gibson et al., 2018). Por otra parte, el patrón de distribución es también indicador de salud y pronóstico. La disposición androide, caracterizada por localización de la adiposidad en el tronco (es decir, grasa abdominal), supone mayor riesgo que la disposición ginoide (localización predominante en cadera y muslo (ACSM, 2022)).

Actualmente no hay valores de referencia universalmente aceptados para la composición corporal, y no hay una opinión de consenso acerca de cuál sería, para diferentes componentes (ej. grasa, masa libre de grasa) el porcentaje asociado a riesgo óptimo para la salud (y/o a mejor CF). En este contexto, cabe señalar que a la hora de analizar la composición corporal e interpretar los resultados de su evaluación es importante tener en cuenta que factores como la edad, el sexo, la raza o la condición de activo (o no) podrían ser determinantes del nivel y distribución de componentes de la composición corporal, así como de lo que podría interpretarse como “adecuado”. Por otra parte, el método de evaluación también influye en los resultados y su interpretación (ACSM, 2022). Diferentes técnicas y abordajes han sido propuestos para valorar la composición corporal, cada uno con ventajas y limitaciones. En este trabajo, como se describe en el apartado destinado a la metodología, la composición corporal se evaluó mediante análisis de bio-impedancia (BIA, por su sigla en inglés Bioimpedance Analysis), herramienta previamente validada (Kriemler, 2009; Lim, 2009; Utter, 2010; Ling, 2011).

### **Condición muscular**

La condición o capacidad muscular nuclea a la fuerza, resistencia y potencia muscular (ACSM, 2022). La fuerza podría definirse como la capacidad de un músculo (o un grupo muscular) para vencer u oponerse a una resistencia (carga máxima) mediante desarrollo de tensión muscular. A su vez, por resistencia muscular se entiende la capacidad de un músculo (o grupo muscular) de realizar sucesivas repeticiones de un ejercicio o movimiento (contra cargas sub-máximas). En tal sentido, la forma de estimar la resistencia muscular suele ser mediante el número de repeticiones que se pueden realizar. Finalmente, la potencia muscular define la tasa a la que un músculo (o grupo muscular) desarrolla tensión.

Está bien establecida la importancia, tanto para la salud como para el rendimiento (ej. deportivo o en tareas físicamente demandantes) de un adecuado desarrollo de los parámetros funcionales que definen la condición muscular (ACSM, 2022; Gibson et al., 2018). Como ejemplo, niveles elevados de fuerza muscular se asocian a un mejor perfil de riesgo cardiovascular y a menor morbilidad y mortalidad por todas las causas. Asimismo, se ha demostrado que la realización de ejercicio físico que mejora la condición muscular impacta positivamente en el control de factores asociados a riesgo aumentado de enfermedad (ACSM, 2022; Gibson et al., 2018). Por otra parte, si bien la potencia muscular ha sido tradicionalmente considerada un componente de la CF relacionado con el rendimiento, hoy se le atribuye importancia fundamental para la salud, y se ha propuesto que superaría a otras variables de condición muscular como indicador de calidad de vida e independencia funcional (ej. en relación con el envejecimiento) (Gibson et al., 2018; ACSM, 2022). En este contexto, cabe señalar que es limitada la información disponible acerca de la asociación entre la condición muscular y otros componentes de la CF, asociación que podría contribuir a explicar

el impacto en la salud y/o desempeño individual de los factores reunidos en la categoría condición muscular.

Las pruebas de condición muscular son específicas del músculo o grupo muscular, y la articulación o articulaciones evaluadas (ACSM, 2022). Asimismo, los resultados dependen de factores como el tipo de acción muscular considerado (ej. isométrica, isotónica excéntrica o concéntrica), y la metodología de evaluación empleada (ACSM, 2022). Teniendo en cuenta lo anterior, resulta fácilmente comprensible que no hay una prueba única que defina la resistencia o fuerza muscular global, y que los resultados de cualquier evaluación son específicos del abordaje utilizado. En el presente trabajo se evaluaron indicadores de la condición muscular de miembros superiores e inferiores (evaluaciones estáticas y dinámicas) (Stenholm, 2014; Markovic, 2004). En el apartado destinado a la metodología se detalla el procedimiento de evaluación que empleamos.

### ***Flexibilidad***

La flexibilidad es la capacidad para mover una articulación (o conjunto de articulaciones) a través de su rango de movimiento, en forma completa y sin dolor. Se considera un importante determinante del rendimiento deportivo y de la capacidad de realizar actividades de la vida diaria, teniendo un impacto directo sobre la salud (ej. adecuados niveles pueden prevenir lesiones) (Gibson et al., 2018).

Al igual que se describió para la condición muscular, la flexibilidad es específica de la articulación (o conjunto de articulaciones) considerada, y no hay una prueba o indicador de la flexibilidad corporal total (ACSM, 2022). Es posible evaluar esta capacidad en pruebas de evaluación dinámica y/o estática, mediante pruebas directas (medición angular del rango de movimiento articular) e indirectas. Por otra parte, para algunas pruebas de flexibilidad existen diferentes modalidades o versiones de manera que es importante tener en cuenta al interpretar los resultados de una evaluación las particularidades del abordaje seleccionado.

Recientemente se ha revisado la validez y alcance de pruebas empleadas en la evaluación de la flexibilidad. En particular, se ha analizado el valor de la 'prueba de sentarse y alcanzar' ('Sit & Reach'), considerada en el presente trabajo, y ampliamente utilizada en la determinación indirecta (lineal) del rango de movimiento articular del raquis (columna lumbar) (ACSM, 2022).

En el apartado destinado a la metodología, se describe el abordaje empleado en la evaluación de la flexibilidad.

### **Condición cardio-respiratoria**

La CRF define la capacidad de realizar ejercicios dinámicos que impliquen a grandes grupos musculares a una intensidad de moderada a alta durante periodos prolongados (Sietsema, 2020). Poder ejecutar ese tipo de actividades depende del estado, funcionamiento, capacidad de respuesta e integración del sistema respiratorio, cardiovascular y musculo-esquelético. La consideración de la CRF como componente de la CF relacionado con la salud se explica (entre otros factores) porque: (i) 'pobre' nivel de CRF (cuartil o quintil más bajo) se asocia a mayor morbilidad y mortalidad, en particular cardiovascular, independientemente de la exposición a otros factores asociados a aumento del riesgo cardiovascular; (ii) la mejora de la CRF se asocia a menor morbilidad y mortalidad por todas las causas, y (iii) un nivel óptimo de CRF se asocia a un mejor estado de salud (considerando sus diferentes dimensiones o componentes) y a niveles más altos de AF, la que a su vez brindaría beneficios para la salud (Gibson et al., 2018; ACSM, 2022; Ross, 2016; Kodama, 2009; Ezzatvar, 2021). Por otra parte, si bien la información disponible es limitada, la CRF estaría relacionada (ej. como factor explicativo de y/o explicado por) con otros componentes de la CF, potenciándose los efectos positivos (en la salud y desempeño individual).

Como fue mencionado, el volumen máximo de oxígeno consumido por unidad de tiempo ( $VO_2$ máx) se acepta como criterio de medición de la CRF. Diferentes herramientas y abordajes (cada uno con ventajas y desventajas) han sido propuestos para estimar (métodos indirectos) o medir (métodos directos) la CRF mediante evaluaciones de campo o laboratorio. La selección de la herramienta y abordaje a utilizar depende de diferentes factores (ej. del sujeto a evaluar, del medio, del entorno y/o del evaluador). En este trabajo, la CRF se evaluó mediante un test cardio-pulmonar, realizado en cicloergómetro empleando un protocolo incremental, continuo, en rampa. Detalles de la evaluación se incluyen en el apartado destinado a la metodología.

### **Actividad física semanal**

Como fue descrito, la AF realizada por un sujeto se relaciona con su salud, desempeño y rendimiento. Asimismo, es un factor asociado a la CF del sujeto, por su relación con diferentes componentes de la misma. De todas maneras, cabe recordar que la información disponible en relación con lo anterior es limitada y/o controversial. En este contexto, el desarrollo y empleo de herramientas que posibilitan caracterizar la AF (ej. en términos de tiempo, tipo e intensidad) y disponer de información comparable acerca de la misma, es fundamental para contribuir al avance del conocimiento en esa área (Gibson et al., 2018; ACSM, 2022; Ross, 2016; Kodama, 2009; Ezzatvar, 2021).

Entre los instrumentos desarrollados para la valoración de la AF se encuentra el Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ, por su denominación en inglés International Physical Activity Questionnaire), empleado en el presente trabajo (IPAQ, 2005). El IPAQ consta de 7 preguntas referidas a la AF de los últimos siete días, con las que se evalúan tres características de la actividad: (i) **intensidad** (leve, moderada o vigorosa), (ii) **duración** (tiempo por día), y (iii) **frecuencia** (días por semana). A partir de la información obtenida, la actividad puede registrarse en unidades (múltiplos) de equivalentes o tasa metabólica de reposo (MET, por su denominación en inglés metabolic equivalent) y expresarse como MET-minutos/día o MET-minutos/semana. De esa forma se obtiene información de la AF realizada, expresada de manera comparable y que puede ser analizada, por ejemplo, en términos de asociación con variables indicadoras de la CF.

## 1.2 Respuesta cardio-respiratoria al ejercicio: CPET como herramienta para su evaluación

La necesidad de un sistema cardiovascular y respiratorio es una consecuencia evolutiva asociada al tamaño y complejidad crecientes de los organismos multicelulares; a sus circunstancias y necesidades cambiantes. En tal sentido, el objetivo primario del sistema cardiovascular y respiratorio es el de proveer en todo momento de un flujo sanguíneo que asegure un aporte de nutrientes y remoción de desechos adecuado y ajustado a las necesidades del organismo. Para poder satisfacer las variaciones en esas demandas, se necesita una regulación coordinada e integrada de diferentes componentes del sistema. La realización de ejercicio probablemente sea la situación fisiológica que plantee las demandas más altas (y la mayor tasa de cambio) al sistema cardiovascular y respiratorio. Teniendo en cuenta lo anterior, mediante un CPET puede evaluarse la capacidad del sistema cardiovascular y respiratorio (la CRF) de cumplir con su rol fisiológico (Sietsema, 2020; Razvi et al., 2023).

### *Vías energéticas y ejercicio*

Para comprender el fundamento del empleo del CPET al evaluar la CRF, es necesario abordar brevemente algunos aspectos relacionados con las vías energéticas involucradas en el ejercicio.

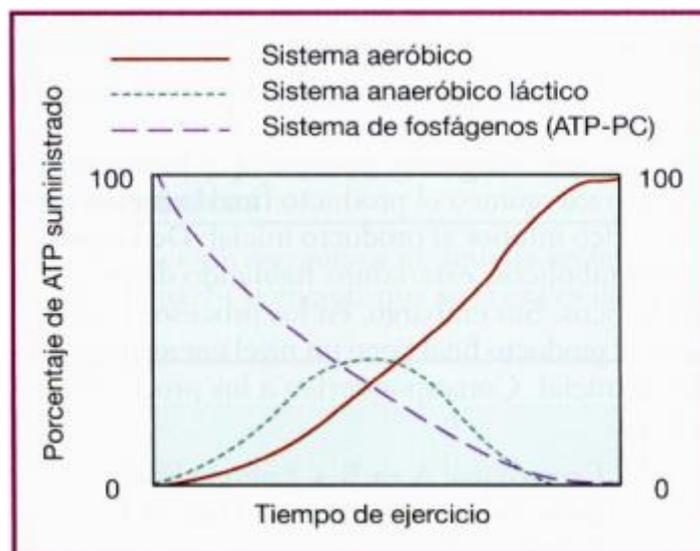
El ATP es la fuente inmediata de energía utilizada en la activación (y relajación) muscular. El desdoblamiento de los enlaces fosfato de alta energía del ATP en la miofibrilla transforma la energía química en energía mecánica (actividad muscular). La reserva de ATP en la célula muscular es de baja magnitud en relación con las necesidades asociadas a la actividad, y consecuentemente debe regenerarse el ATP a partir de otras fuentes químicas a medida que

se utiliza durante la actividad. Existen tres sistemas bioenergéticos responsables de la generación de ATP en el músculo: (i) oxidación aeróbica (sistema aeróbico, requiere  $O_2$ ) de los sustratos (principalmente glucógeno y ácidos grasos), (ii) hidrólisis anaeróbica de la fosfocreatina –PCr- (sistema de los fosfágenos), y (iii) catabolismo anaeróbico (sistema anaeróbico láctico, no requiere  $O_2$ ) del glucógeno o la glucosa para producir ácido láctico o, más exactamente, el ion lactato y su protón asociado ( $H^+$ ). Los tres sistemas (o procesos) participan en la respuesta normal al ejercicio, y la contribución relativa de cada uno de ellos a la respuesta bioenergética global es variable (ej. dependiendo de la intensidad y duración del ejercicio realizado). El tiempo desde el inicio del ejercicio, la duración del ejercicio, y fundamentalmente la intensidad del mismo determinan la contribución relativa de cada uno de estos sistemas y explican la respuesta observada (López Chicharro, 2006; Sietsema, 2020).

Los sistemas bioenergéticos tienen distintos efectos sobre el intercambio de gases ventilatorio, por lo que el estudio de este durante la realización de ejercicio permite obtener información acerca de la participación de cada uno de los sistemas en la regeneración de ATP (López Chicharro, 2006).

En relación con lo anterior, a modo de ejemplo, cuando la PCr se divide, se convierte en Cr (creatina) y P (fosfato). Dado que la PCr reacciona como un ácido, mientras que la Cr es neutra, el desdoblamiento de la PCr disminuye la acidez celular. Así, la hidrólisis de PCr da lugar a que parte del  $CO_2$  producido por el metabolismo celular sea convertido en bicarbonato ( $HCO_3^-$ ) en los tejidos, reduciendo el  $VCO_2$  en relación con el  $VO_2$ . Lo anterior contribuye a explicar la disociación de la cinética del  $VCO_2$  (retraso) en relación con la del  $VO_2$  al principio del ejercicio. La vía aeróbica por su parte supone un aumento del consumo de  $O_2$  y de la producción de  $CO_2$ , de manera que asocia aumento tanto de  $VO_2$  como de  $VCO_2$  (y obviamente de la VE). Por el contrario, cuando se genera ATP a partir de la glucólisis anaeróbica, el  $H^+$  producido con el lactato se amortigua predominantemente por  $HCO_3^-$ , "consumiendo" así  $HCO_3^-$  y añadiendo  $CO_2$  al producido por el metabolismo aeróbico. En este caso, la eliminación de ese  $CO_2$  "adicional" da lugar a un aumento de la  $VCO_2$  (y para ello de la VE) que es desproporcionado en relación al aumento  $VO_2$  (Sietsema, 2020).

La **Figura 1**, extraída del libro de López Chicharro (2006), es una representación esquemática de la contribución de los diferentes sistemas bioenergéticos en función del tiempo de realización de ejercicio.



*Figura 1. Sistemas bioenergéticos en la producción de ATP. Tomado de (López Chicharro & Vaquero Fernández, 2006).*

## **CPET**

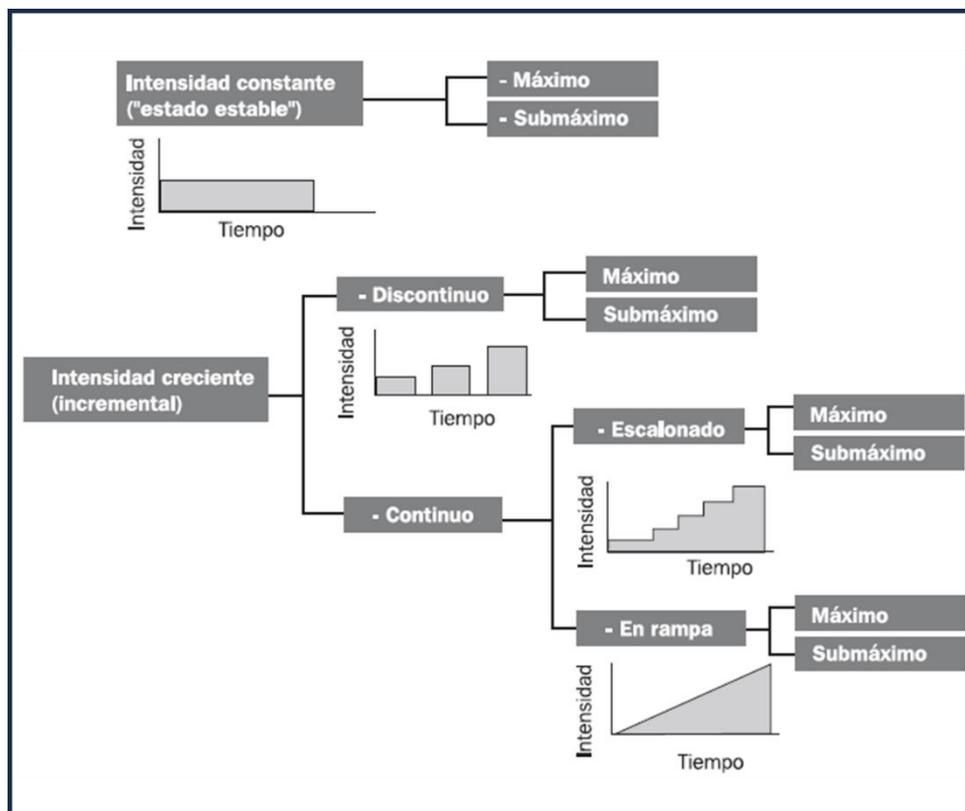
Teniendo en cuenta que el intercambio gaseoso medido en las vías respiratorias resulta de la actividad metabólica del músculo, así como del funcionamiento de los sistemas que acoplan los procesos metabólicos con el referido intercambio, al estudiar la respiración externa (consumo de  $O_2$  y eliminación de  $CO_2$ ) en respuesta al ejercicio, es posible analizar la competencia funcional de diferentes sistemas (Sietsema, 2020). De acuerdo con lo anterior, el CPET, como herramienta que estudia en forma simultánea la respuesta metabólica, cardiovascular y respiratoria al ejercicio, permite determinar la CRF del sujeto, identificar determinantes, factores limitantes (en caso de existir) y/o factores que pueden ser objetivo de intervención (ej.: en busca de mejorar el desempeño individual) (Manonelles, 2016).

En este punto cabe mencionar algunos aspectos fundamentales que deben ser considerados a la hora de realizar un CPET ya que hacen a la seguridad, validez y utilidad del mismo. El conocimiento de las posibles complicaciones, pertinencia de la evaluación y la adecuada selección de la modalidad y protocolo a emplear son determinantes del riesgo y seguridad del test.

Lo primero es definir que el test se puede realizar, lo que supone descartar la existencia de contraindicaciones para la evaluación (Anexo 1), luego, considerando el objetivo del CPET definimos la pertinencia y seleccionamos la modalidad. Esta se define como la forma de ejercitar y será seleccionada considerando factores del individuo y del laboratorio. Entre los diferentes ergómetros (dispositivos utilizados para la realización de ejercicio) que pueden ser utilizados, los más frecuentemente empleados son la cinta (tapiz rodante) y la bicicleta (cicloergómetro). Ventajas y desventajas se le adscriben a cada uno de ellos. El siguiente

paso es la selección del protocolo, que se define de acuerdo a la **Figura 2**, extraída de Manonelles (2016):

- 1- Intensidad:
  - (a) sub-máximos: hasta alcanzar una intensidad y/o respuesta predeterminados.
  - (b) máximos: llevan al sujeto a su máxima capacidad de esfuerzo o agotamiento.
- 2- Aplicación de la carga de trabajo:
  - (a) constante: la carga no se modifica durante la prueba.
  - (b) incremental: la carga aumenta con el tiempo. En función de que tengan o no pausas pueden ser 'discontinuos' o 'continuos'. A su vez, en estos últimos el incremento de la carga puede ser sin solución de continuidad en el tiempo ("en rampa"), o bien la carga se mantiene un periodo de tiempo antes de cambiar a la siguiente carga (protocolo "en escalones").

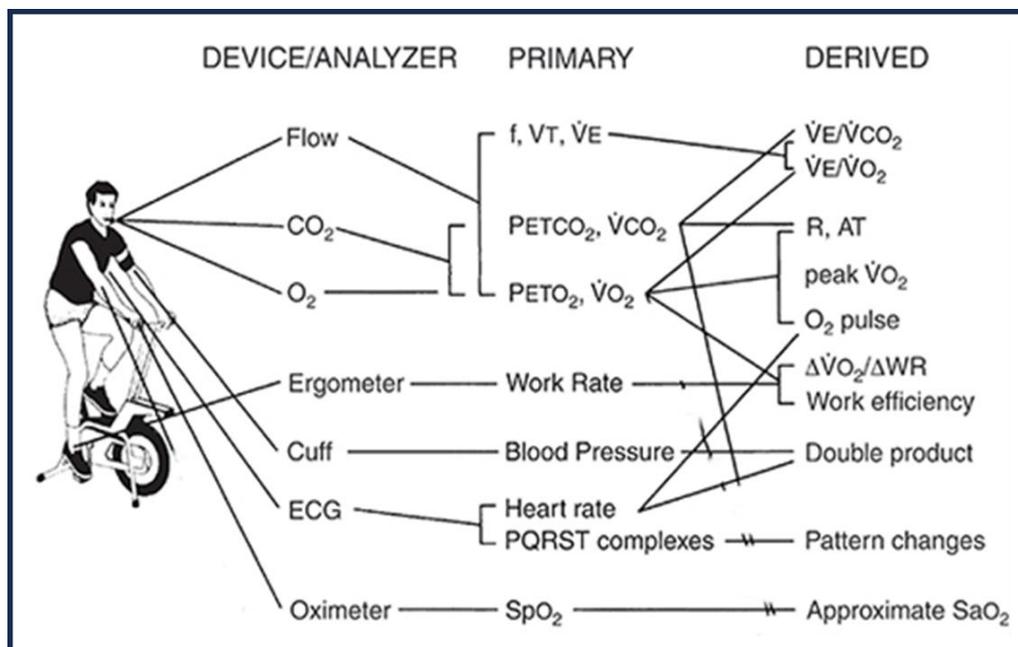


*Figura 2. Protocolos de pruebas de esfuerzo tomado de (Manonelles, 2016).*

### *Información obtenida con el CPET*

Dependiendo de factores como el objetivo del estudio y las capacidades del laboratorio, distintas variables pueden ser determinadas durante el CPET (directa o indirectamente) (Wasserman, 1996; Balady, 2010; Sietsema, 2020) como se representa en la **Figura 3**

extraída del texto de Sietsema (2020). A continuación, este apartado se centra en la descripción de variables consideradas centrales para el análisis realizado en el presente trabajo, las cuales fueron obtenidas durante evaluación en cicloergómetro, siguiendo un protocolo máximo, incremental, continuo, en rampa.



**Figura 3.** Variables derivadas del CPET, imagen tomada de (Wasserman, 1996). Variables derivadas directamente del analizador de gases, o derivadas (calculadas) primariamente o secundariamente. CO<sub>2</sub>: dióxido de carbono. O<sub>2</sub>: oxígeno. VT: volumen corriente. VE: ventilación minuto. VCO<sub>2</sub>: producción de dióxido de carbono (medido en la ventilación). VO<sub>2</sub>: consumo de oxígeno (medido en la ventilación). PET: presión de fin de espiración SpO<sub>2</sub>: saturación de oxígeno en sangre. WR: tasa de trabajo). R: relación VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>.

### Consumo de oxígeno

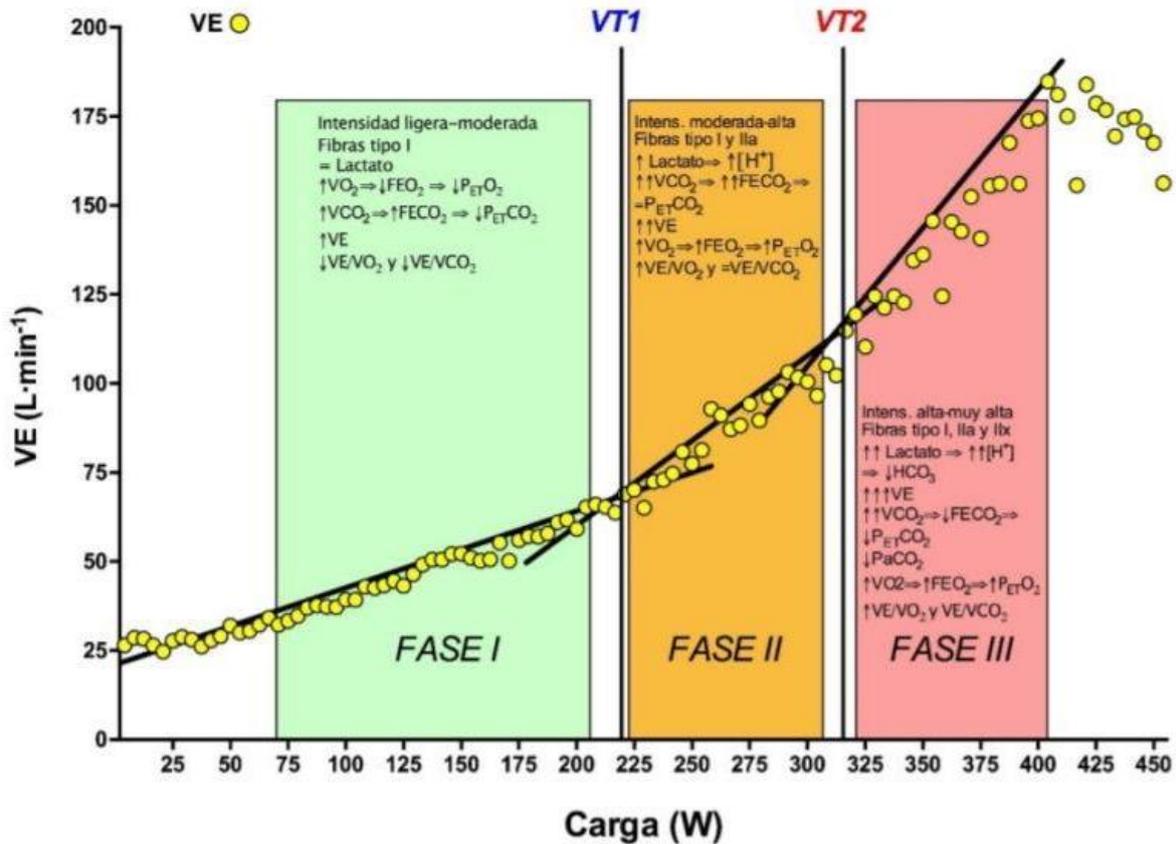
Medido a partir del análisis del gas espirado, refleja la utilización del oxígeno por el músculo que se ejercita y depende de la eficacia de los sistemas para cumplir con su rol fisiológico, tal como fue descrito. Su valor es función de la carga de trabajo que realiza el sujeto, de manera que, a mayor carga, mayor VO<sub>2</sub>. Esto es así hasta determinada carga o intensidad del ejercicio, en la que se alcanza el límite de capacidad de utilización de O<sub>2</sub>. Ese límite individual, que depende del gasto cardiaco máximo, del contenido arterial de oxígeno, de la distribución fraccional del gasto cardiaco a los músculos en actividad y de la capacidad del musculo de extraer oxígeno de la sangre que le llega, es el VO<sub>2</sub> máximo (VO<sub>2</sub> máx.). El VO<sub>2</sub> máx. indica que se alcanzó el límite fisiológico del sujeto y se le considera el parámetro de referencia (estándar oro) para definir la CRF. Al alcanzarse ese límite se espera una meseta en el gráfico (relación) entre VO<sub>2</sub> (eje y) la carga de trabajo (eje x); es decir, que aumentos de la carga no se acompañan de aumento del VO<sub>2</sub>. Esa meseta es la que define al VO<sub>2</sub>máx. Sin embargo, por diferentes razones (ej. protocolo de evaluación seleccionado) en muchos casos no se

observa una meseta. El máximo valor de  $VO_2$  obtenido en esos casos se designa  $VO_2$  "pico" (Balady, 2010). Diferentes criterios (secundarios) pueden ser utilizados para definir si el test fue (o no) máximo en esas situaciones.

### *Ventilación y equivalentes ventilatorios*

La ventilación pulmonar minuto, VE, es el producto del volumen corriente (volumen movilizado en cada inspiración o espiración) y la frecuencia ventilatoria. La respuesta de la VE durante el CPET (incremental) puede describirse considerando diferentes fases (**Figura 4**). Inicialmente, existe un mayor "ajuste" de la ventilación a los requerimientos de aporte de  $O_2$  y eliminación de  $CO_2$ , lo que se traduce en una disminución del cociente  $VE/VO_2$  y  $VE/VCO_2$  (equivalentes ventilatorios para el  $O_2$  y el  $CO_2$ , respectivamente). Algunos definen esa respuesta como de aumento de la eficiencia ventilatoria (Abeytua et al., 2019). A medida que progresa el ejercicio (aumenta la carga), aumenta la VE asociada a aumento del  $VO_2$  y  $VCO_2$ . En esa progresión, ocurre una modificación en la contribución de los sistemas bioenergéticos para dar respuesta a las demandas musculares, la cual se refleja en la ventilación. La mayor participación de la vía anaeróbica láctica determina un aumento en la producción de  $CO_2$  (resultante del tamponamiento del ácido láctico). El aumento del  $CO_2$  resulta en estímulo ventilatorio (aumento de VE) para mantener la presión parcial de  $CO_2$  en sangre arterial dentro de los niveles de normalidad. Hay entonces, un aumento de la VE (cambia la pendiente) que es proporcional al aumento de la  $VCO_2$  (fase de tamponamiento isocápnico), y no del  $VO_2$  (aumenta  $VE/VO_2$  y no  $VE/VCO_2$ ). El inicio de los cambios anteriores define lo que se conoce como "primer umbral ventilatorio" (VT1, por su denominación en inglés Ventilatory Threshold 1) (**Figura 4**).

A medida que progresa el ejercicio (aumenta la intensidad), la acidosis metabólica es cada vez mayor y el tamponamiento por el bicarbonato es cada vez menos eficaz. La necesidad de mantener el pH estimula la VE, cuyo aumento es mayor que el de la  $VCO_2$  (y de la  $VO_2$ ), por lo que aumenta  $VE/VCO_2$  (y  $VE/VO_2$ ). Los cambios anteriores definen la nueva fase de la respuesta ventilatoria. El cambio de fase se identifica a partir de lo que se conoce como segundo umbral ventilatorio (VT2, por su denominación en inglés, Ventilatory Threshold 2) (**Figura 4**) (Balady, 2010; Manonelles, 2016; Sietsema, 2020).



**Figura 4.** Relación entre ventilación pulmonar minuto (VE) y carga (esfuerzo) realizada en prueba realizada en cicloergómetro, empleando test de rampa. Las tres fases (en esta figura denominadas "intensidad ligera-moderada" (Fase 1), "intensidad moderada-alta" (Fase 2) e "intensidad alta- muy alta" (Fase 3), son delimitadas por los llamados umbrales ventilatorios uno y dos (VT1 y VT2), identificados (entre otras cosas) por los cambios de pendiente de la relación VE/Carga. Imagen obtenida de: [https://www.sportlife.es/entrenar/mejora-tu-forma-con-modelo-trifasico\\_211660\\_102.html](https://www.sportlife.es/entrenar/mejora-tu-forma-con-modelo-trifasico_211660_102.html)

### Carga o tasa de trabajo

En el CPET, la carga o tasa de trabajo (WR, por su denominación en inglés, Work Rate) realizada es la variable que se utiliza para analizar la respuesta de los diferentes parámetros frente a el protocolo de ejercicio seleccionado. Las pruebas en cicloergómetro permiten objetivar la carga, expresándola en la unidad de referencia, es decir como unidad de potencia. Esta generalmente se expresa en vatios (Watts) y se define como (Gibson et al., 2018): 'potencia = fuerza × distancia / tiempo', donde fuerza es igual a la resistencia o tensión ajustada en el ergómetro (kilogramos) y distancia es la distancia "recorrida" en cada vuelta del pedal, multiplicada por el número de vueltas por minuto (cadencia). La importancia de determinar con precisión la carga se relaciona fundamentalmente con la posibilidad de determinar la relación VO<sub>2</sub>/WR, útil en la evaluación de la función cardiovascular (ver más adelante).

### *Pendiente de la regresión lineal entre $VO_2$ y tasa de trabajo ( $VO_2/WR$ )*

Durante la realización de un test de ejercicio incremental el  $VO_2$  aumenta progresivamente hasta el final del ejercicio. La pendiente de la regresión lineal entre  $VO_2$  (eje y) y la tasa de trabajo (eje x), es un parámetro indicador de la eficiencia del trabajo aeróbico. Por lo general, se cuantifica ajustando una línea recta a los datos, excluyendo el primer y/o segundo minuto de trabajo incremental, ya que en ellos se produce un retraso relativo en el aumento del  $VO_2$  debido a la cinética inherente de la respuesta. En estudios realizados en sujetos sedentarios, sanos se observó que la pendiente  $VO_2/WR$  en un test incremental en rampa se acerca a 10 ml  $O_2$ /min/W, con independencia de la edad, sexo o altura del sujeto; en deportistas el valor puede ser mayor (Balady, 2010; Sietsema, 2020). La pendiente refleja la bioenergética normal del músculo esquelético. Un valor anormalmente bajo no implica una eficiencia metabólica inusualmente alta, sino que, por el contrario, sugiere un fallo en el suministro de oxígeno (función cardiovascular) o en la utilización del mismo (capacidad oxidativa muscular), para seguir el ritmo de los cambios rápidos en la demanda metabólica a medida que aumenta la tasa de trabajo.

### *Pendiente de la regresión lineal entre VE y $VCO_2$*

La evaluación de la eficiencia ventilatoria es fundamental para comprender el desempeño del sistema respiratorio durante el ejercicio. Un índice ampliamente estudiado para esto es la pendiente de la regresión lineal entre VE (eje y) y  $VCO_2$  (eje x). La pendiente se expresa comúnmente como un valor, considerando datos desde el inicio del ejercicio hasta el esfuerzo máximo o hasta el segundo umbral ( $VT_2$ , denominado también punto de 'Compensación respiratoria'), a partir de donde se observa cambio en la pendiente. Datos obtenidos con ambas formas de cálculo han mostrado valor diagnóstico y pronóstico en diferentes condiciones. Adicionalmente, cabe señalar, que la pendiente  $VE/VCO_2$  muestra elevada confiabilidad y reproducibilidad, y no se ve influenciada por la modalidad de ejercicio o el protocolo utilizado (Balady, 2010).

No existe consenso acerca del valor considerado como referencia para definir alteración, pero una relación  $VE/VCO_2$  menor a 30 se considera normal (con independencia de la edad y el sexo) (Balady, 2010). La pendiente  $VE/VCO_2$  aumenta en condiciones hiperventilatorias, como la hipoxemia y la acidemia metabólica, y también cuando la relación volumen de espacio muerto/volumen corriente pulmonar ( $VD/VT$ , por su denominación en inglés, volumen dead/volumen tidal) es elevada (ej. en enfermedades pulmonares). Esta elevación de la pendiente refleja la mayor necesidad ventilatoria para regular la presión arterial de  $CO_2$

(PaCO<sub>2</sub>). Por el contrario, la pendiente disminuye en condiciones hipoventilatorias (ej. quimiosensibilidad disminuida). Por lo tanto, la interpretación de la eficiencia ventilatoria requiere cierta precaución, ya que una eficiencia ventilatoria anormalmente alta podría reflejar que la presión arterial de dióxido de carbono (PaCO<sub>2</sub>) es baja, que la VD/VT es alta, o ambas cosas (Sietsema, 2020).

### *Respuesta de la frecuencia cardíaca durante el ejercicio y la fase de recuperación*

El aumento del grado de alerta que acompaña al estado previo al ejercicio (respuesta nerviosa central) supone activación de componentes relacionados con la respuesta cardiovascular al mismo. Esa “anticipación” prepara al organismo para la actividad. Entre los cambios observados está el aumento de la frecuencia cardíaca (por disminución de la influencia del sistema nervioso parasimpático y aumento de la actividad simpática). Durante la realización de ejercicio, se observa aumento (lineal) de la frecuencia cardíaca a medida que se eleva la intensidad de trabajo y el VO<sub>2</sub>. Habitualmente se considera esperable un aumento de 10 ciclos por minuto (cpm) por cada MET aumentado. Sin embargo, la magnitud y la pendiente de ese aumento muestran variabilidad intra e interindividual, relacionada con factores como la edad, el tipo de ejercicio, y la posición corporal. Asimismo, se ve influenciada por ciertas condiciones patológicas y uso de determinados fármacos (Manonelles, 2016). A modo de ejemplo, en condiciones como la insuficiencia cardíaca puede observarse incompetencia cronotrópica (incapacidad de aumentar adecuadamente la frecuencia cardíaca frente al ejercicio), la cual se ha asociado con aumento de la mortalidad. Por otra parte, puede observarse hiperrespuesta anómala de la frecuencia cardíaca al ejercicio, lo que puede indicar la presencia de alteraciones de la resistencia vascular periférica, disfunción ventricular, anemia o trastornos metabólicos.

Por lo tanto, es fundamental considerar todos los factores relevantes al interpretar estos resultados y su implicación en la salud cardiovascular (Manonelles, 2016; Balady, 2010).

Finalmente, cabe señalar que la respuesta de la frecuencia cardíaca al ejercicio se ha relacionado con la CF y el grado de entrenamiento de los sujetos. A modo de ejemplo, comparado con sujetos no entrenados, aquellos entrenados muestran una menor tasa de aumento de la frecuencia cuando se emplea una modalidad y protocolo de ejercicio similar (Manonelles, 2016).

La pendiente de recuperación de la frecuencia cardíaca describe el descenso de la frecuencia (‘HR decay’, por su denominación en inglés, heart rate decay) durante la fase de recuperación

post esfuerzo. Los primeros estudios, realizados (Cole, 1999) destacaron la utilidad de la medida para predecir la mortalidad en personas con enfermedad coronaria. Estudios posteriores mostraron su validez como indicador del estado del sistema cardiovascular en diferentes condiciones (fisiológicas y patológicas) y en diferentes poblaciones. Una característica destacable de la recuperación de la frecuencia cardíaca es su valor pronóstico, incluso en sujetos que reciben fármacos que modifican la frecuencia (y/o su respuesta al ejercicio) (Manonelles, 2016). Teniendo en cuenta lo anterior, se ha propuesto su consideración (en combinación con otros índices cardio-pulmonares), como indicador de la CF (particularmente de la CRF), así como también para definir con mayor certeza el riesgo cardiovascular individual (Balady, 2010).

No existe un valor universalmente aceptado para definir un descenso de la frecuencia cardíaca como normal o anormal, pero se considera “esperable” un descenso de 17-20 cpm durante el primer minuto del post-esfuerzo. Por otra parte, un descenso menor a 12 cpm, al transcurrir un minuto de post-esfuerzo, se asocia con aumento de la mortalidad.

#### *Pendiente de la eficiencia de captación de oxígeno*

La pendiente de la eficiencia de captación de oxígeno (OUES, por su denominación en inglés, Oxygen Uptake Efficiency Slope) evalúa, tal como su denominación lo indica, la eficiencia (efectividad o competencia) de la captación de oxígeno a partir de datos obtenidos en una prueba cardio-pulmonar de ejercicio incremental. En estas condiciones, la relación entre VE y VO<sub>2</sub> es exponencial, lo que dificulta el cálculo de una pendiente mediante regresión lineal. Para superar esta limitación Baba (1996) propuso transformar logarítmicamente los datos de VE (litro/minuto, eje x), posibilitando así la obtención de una relación lineal con VO<sub>2</sub> (mililitro/minuto o litro/ minuto, eje y), donde:  $VO_2 = a \log_{10}VE + b$ , siendo el OUES la pendiente (a) de esa relación.

El OUES mostró correlación con el VO<sub>2</sub> máximo (estándar oro en la determinación de la CRF), y fue propuesto como indicador válido y sensible de la CRF, pudiendo identificar modificaciones asociadas a diferentes condiciones (fisiológicas y patológicas) (Baba, 1999; Hollenberg, 2000; Balady, 2010; Coeckelberghs et al., 2016).

### **1.3 Índices sub-máximos: el OUES indicador válido para evaluar la CRF**

Diferentes parámetros o índices obtenidos durante el CPET han sido propuestos para caracterizar en forma integral la capacidad del sistema cardiovascular y respiratorio de cumplir con su rol fisiológico, y para identificar los factores que explican su limitación, en caso

de existir. Algunos de esos índices no requieren para su cálculo que el test sea máximo y/o no se ven influenciados porque el test alcance o no criterios de maximalidad; por esta razón son denominados 'índices sub-máximos'. Habiéndose demostrado su validez, los índices sub-máximos podrían emplearse para caracterizar la CFR en situaciones en las que no se realiza un test máximo. Entre los índices sub-máximos, se encuentra el OUES cuya utilidad se basa en que proporciona información sobre la función integrada y el estado de los sistemas pulmonar, cardiovascular y musculo-esquelético (Baba, 1999; Hollengberg, 2000; Balady, 2010; Coeckelberghs et al., 2016). Siendo inicialmente propuesto a partir de estudios en niños y adolescentes con cardiopatía, la condición de ser un parámetro sub-máximo despertó interés en el estudio de su validez y aplicabilidad en otras poblaciones y situaciones. Los resultados obtenidos apoyaron el valor del OUES en la evaluación de la CRF (ej. tanto con en términos de evaluación, diagnóstico, pronóstico, y para seguimiento) (Coeckelberghs et al., 2016; Onofre et al, 2017). Sin embargo, a pesar de su demostrada utilidad y relativa fácil aplicabilidad en poblaciones de diversas características, el uso del OUES ha sido y es limitado. Eso podría explicarse, entre otros factores, por la existencia de escasa información y/o controversias en relación a los factores explicativos o determinantes del OUES, sus valores de referencia y/o puntos de corte, así como a la asociación del OUES con otros parámetros indicadores de la CF (obtenidos en el CPET o durante la evaluación de otros componentes). En relación con lo anterior, resulta de particular interés conocer la asociación del OUES con otros parámetros indicadores de la CRF y analizar la relación entre ellos (ej. complementariedad o superioridad). En este contexto es que se desarrolla el presente trabajo de tesis, que busca contribuir al avance del conocimiento en el área.

## 2. Preguntas

A continuación, se detallan las principales preguntas que orientan el presente trabajo:

(1) ¿Se relacionan los niveles de OUES obtenidos durante un CPET en cicloergómetro, con los de otros índices sub-máximos propuestos para valorar la respuesta cardio-respiratoria ( $VO_2/WR$ ,  $VE/VCO_2$ ) al ejercicio y la recuperación del mismo (HR Decay)?

(2) ¿Se relaciona el OUES con indicadores de flexibilidad, condición muscular, composición corporal y/o con los niveles AF semanal realizada por el sujeto? De relacionarse: ¿Son esas relaciones independientes de características demográficas (edad, sexo) y/o de la exposición a factores asociados a aumento de riesgo cardio-respiratorio?

(3) Entre las variables relacionadas con los niveles de OUES: ¿Existe un ordenamiento que permita identificar variables explicativas de 'mayor' o 'menor' jerarquía?

### 3. Hipótesis

Dada las características de los sujetos incluidos y del CPET a aplicar en este trabajo de tesis (cicloergómetro), y teniendo en cuenta la bibliografía disponible acerca del tema abordado, nuestras hipótesis son:

(1) El OUES estará relacionado de manera estadísticamente significativa, pero con fortalezas de asociación moderadas a bajas, con otros índices sub-máximos propuestos para valorar respuesta ( $VO_2/WR$ ,  $VE/VCO_2$ ) y recuperación (HR Decay) cardio-respiratoria al realizar ejercicio.

(2) Los niveles de OUES, se relacionarán de manera independiente, y positivamente, (i) con los niveles de AF semanales de intensidad moderada-vigorosa, (ii) con los niveles de indicadores de condición muscular de miembros inferiores (por encima de los de miembros superiores) y (iii) con la cantidad absoluta y relativa de masa muscular global y de miembros inferiores. Asimismo, se relacionará de manera negativa con los niveles de (iv) conductas sedentarias semanales, y (v) masa grasa corporal (principalmente global). Los niveles de asociación observados serán independientes de la edad y sexo del sujeto.

(3) Los niveles de indicadores de condición muscular de miembros inferiores serán los principales factores explicativos independientes de los niveles de OUES.

## 4. Objetivos de investigación

### 4.1 Objetivo General

Contribuir a identificar factores explicativos de la variabilidad interindividual de índices sub-máximos destinados a caracterizar la respuesta cardio-respiratoria y metabólica al ejercicio físico.

### 4.2 Objetivos específicos

1. Determinar en qué medida el nivel de OUES se relaciona con los de otros índices de respuesta y recuperación cardio-respiratoria obtenidos en el CPET.
2. Determinar en qué medida la variabilidad inter-individual del OUES, encontrada en un grupo de personas saludables, puede ser explicada por características relacionadas con (i) la flexibilidad, (ii) indicadores de condición muscular de miembros superiores y/o inferiores, (iii) la composición corporal (en términos de masa grasa o magra) global o segmentaria, (iv) los niveles de AF auto-reportados.
3. Analizar la existencia de un orden jerárquico entre los factores identificados como explicativos de la variabilidad interindividual del OUES.

## 5. Diseño metodológico

El presente trabajo se desarrolló en el Laboratorio de Investigación y Evaluación Biomédica en Reposo y Ejercicio (LIEBRE, Centro Hospitalario Pereira Rossell, UDELAR). El proyecto se enmarca en la línea de investigación denominada “Evaluación integral de componentes de la condición física, patrones de conducta sedentaria, actividad física y sueño: asociación con el estado cardiovascular en niños, adolescentes y adultos”, desarrollada en conjunto por docentes e investigadores de la UDELAR (Facultad de Medicina e Instituto Superior de Educación Física).

### 5.1. Personas evaluadas

El protocolo de investigación contó con aval del Comité de Ética Institucional ([Anexo 2](#)). Asimismo, las evaluaciones seleccionadas y los protocolos empleados se ajustan a recomendaciones internacionales (Manonelles, 2016; ACSM, 2022). Se incluyeron en el estudio a 143 personas saludables (68 de sexo masculino), con edades comprendidas entre 8 y 54 años (media de edad = 24,5 años). Los criterios de inclusión fueron:

- Edad  $\geq 8$  años (por ser una edad en que se comprenden y pueden cumplirse las indicaciones técnicas de cómo se debe realizar la actividad física durante el CPET),
- Firmar consentimiento informado ([Anexo 3](#)). En caso de menores de edad, el consentimiento firmado se obtuvo del padre, madre o tutor legal ([Anexos 4 y 5](#)).
- En caso de menores de edad, mayores de 12 años, firmar el asentimiento para la participación en el estudio ([Anexo 4](#)).
- Aval médico correspondiente, indicando que el sujeto se encuentra apto para realizar el estudio propuesto.
- Sujetos sanos sin antecedentes de enfermedades cardio-respiratorias.

Criterios de exclusión:

- Limitaciones funcionales o cognitivas que afecten la participación en el estudio (ej. condiciones que imposibiliten la realización de ejercicio, comprensión de la evaluación propuesta y sus consignas).
- No firmar el consentimiento informado y/o no asentir participar del estudio.
- Situación médica no corregida o descompensada (ej. anemia, alteración electrolítica, diabetes o hipertiroidismo).

Antes de la realización de cada una de las diferentes evaluaciones se excluyó la presencia de factores específicos que contraindicaran el procedimiento, de acuerdo a recomendaciones vigentes (ACSM, 2022).

En todos los sujetos se realizó: (i) entrevista y examen médico, y se evaluó: (ii) talla, masa y composición corporal, flexibilidad, condición muscular, AF semanal (auto-reporte; IPAQ) (Anexo 6) y CRF (CPET).

## 5.2. Procedimiento

Las personas fueron agendadas previamente y citadas al LIEBRE. Las recomendaciones para el día de la evaluación fueron:

- Asistir con ropa cómoda y ligera.
- Usar calzado adecuado para realizar ejercicio.
- Evitar cremas corporales en la parte superior del cuerpo.
- Ayuno de 2 horas (y no más de ese tiempo).
- Adecuada hidratación.
- Evitar tabaco, alcohol y otras sustancias psicoactivas al menos 4 horas antes.
- Tomar la medicación habitual, salvo indicación expresa de suspensión.
- No realizar ejercicio intenso y descansar adecuadamente en las 24 horas previas al estudio.

A la llegada al laboratorio se brindó a la persona información detallada del procedimiento, se obtuvo la firma del consentimiento informado (y asentimiento en caso de corresponder) y se explicó y entregó formulario para auto-reporte de actividad física (IPAQ). El IPAQ permitió obtener información acerca de la intensidad, frecuencia y duración de las actividades realizadas en la última semana, considerando diferentes dominios de la AF). Los resultados se presentan en METs-minuto/día o semana.

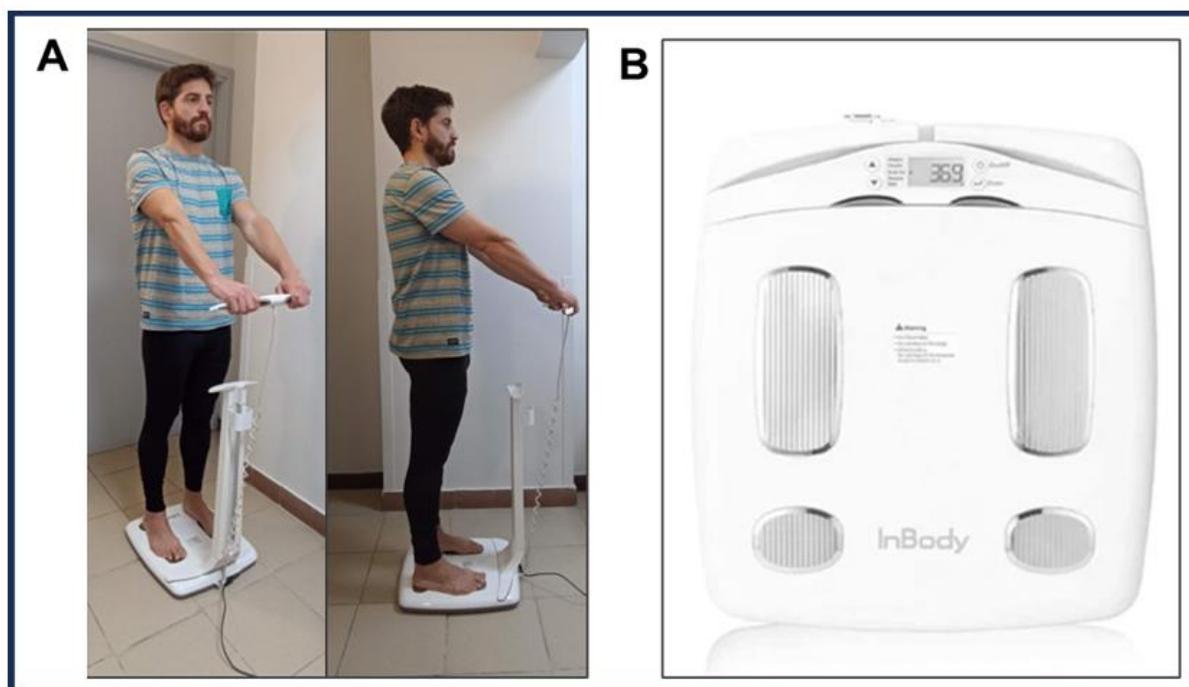
A continuación, se procedió a la evaluación, siguiendo el protocolo de estudio desarrollado y aplicado en LIEBRE. Inicialmente, se realizó un interrogatorio y examen físico, que posibilitaron: (1) relevar antecedentes personales y familiares, (2) identificar posibles contraindicaciones para las evaluaciones, (3) registrar uso de fármacos e información de interés en el contexto de la evaluación.

## 5.3. Evaluaciones

Los estudios se realizaron en el LIEBRE, que cuenta con los recursos materiales y técnicos recomendados para realizar las diferentes evaluaciones (Manonelles, 2016; ACSM, 2022). Las mediciones se realizaron utilizando procedimientos y equipamiento validado y recomendado (ACSM, 2022). Las condiciones ambientales y el entorno del laboratorio fueron controlados, para asegurar la validez y confiabilidad de las evaluaciones.

## Evaluación antropométrica y de composición corporal

La evaluación se realizó con el sujeto sin calzado y con vestimenta liviana. La talla corporal se midió con el sujeto en bipedestación, con el plano horizontal de Frankfurt perpendicular al eje vertical de apoyo, utilizando un estadiómetro portátil con un error de  $\pm 0,1$  cm (SECA Modelo 217; SECA, Alemania). La masa y composición corporal se determinaron mediante el uso de una balanza de bioimpedancia (InBody-120, InBody Co., Korea), multifrecuencia (20 y 100 kHz), que considera cinco componentes (miembros superiores, miembros inferiores y tronco). Previo a los registros se solicitó al sujeto que vaciara la vejiga de manera de minimizar errores de medición. A continuación, el sujeto se paró descalzo sobre una plataforma con 4 electrodos y sostuvo con sus manos un manubrio con otros 4 electrodos (emisores y receptores) (Figura 5).

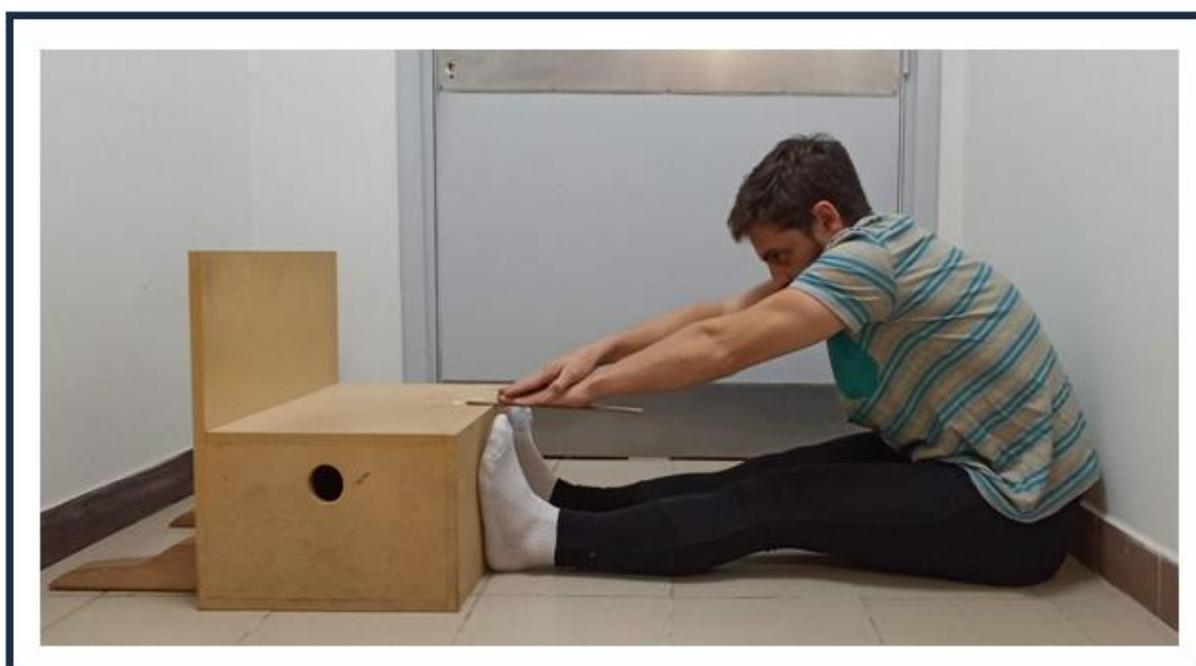


**Figura 5.** (A) Determinación de la masa y composición corporal en balanza de bioimpedancia InBody 120, imágenes tomadas en el Laboratorio de investigación y evaluación biomédica en reposo y ejercicio (LIEBRE). (B) vista superior de la balanza de bioimpedancia Inbody 120.

La bioimpedancia es la resistencia de los tejidos al paso de corriente eléctrica, por lo que la conducción dependerá del tipo de tejido interpuesto entre los electrodos de emisión y registro (ej. el tejido adiposo muestra elevada resistencia). Ese es el fundamento para la determinación de la composición corporal a partir del análisis de bioimpedancia. En este trabajo se obtuvo información (cuantificó) de (entre otros): Agua Corporal Total, Masa Grasa Corporal, Masa de Músculo Esquelético; en valores absolutos y relativos (%). Asimismo, los datos se expresaron discriminados por segmentos corporales (tronco, miembro superior derecho e izquierdo, miembro inferior derecho e izquierdo).

## **Flexibilidad**

Se evaluó la flexibilidad mediante el test de sentarse y alcanzar (Sit and Reach Test). Previo a la realización del test el sujeto realizó ejercicios de calentamiento. El sujeto se sentó a nivel de piso, descalzo, con los miembros inferiores extendidos y los pies apoyados en el cajón de medición (bordes internos de las plantas separadas 15 cm). Se colocó sobre el cajón una regla de manera que el borde del cajón marque 26 cm; estando el valor 0 de la regla, del lado en que se encuentra el sujeto. Una vez en posición, se le indicó al sujeto que se estirara lentamente hacia adelante con ambas manos, una sobre la otra, lo más lejos posible, manteniendo esta posición aproximadamente 2 segundos. Las puntas de los dedos podían superponerse y debían contactar con el sector de medición (regla). La distancia medida correspondió al punto más lejano alcanzado con las yemas de los dedos (Figura 6). Se realizaron dos mediciones (M; M1 y M2) (Fjørtooft, 2000; Tsigilis, 2002; ACSM, 2022).

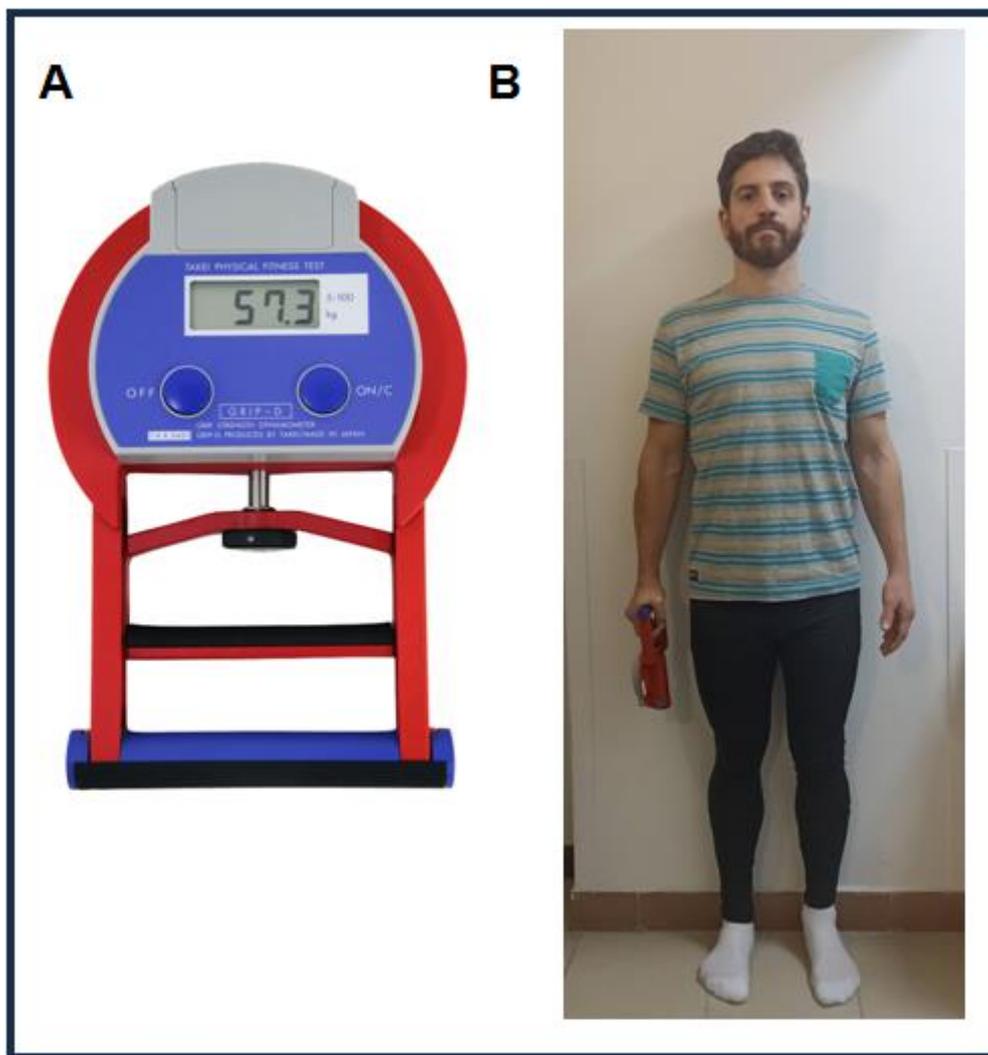


*Figura 6. Ejecución del test de sentarse y alcanzar en el laboratorio de LIEBRE.*

## **Condición muscular**

Se seleccionaron diferentes pruebas y parámetros para el estudio de la condición muscular de miembros superiores e inferiores. La resistencia estática o isométrica de miembros superiores fue evaluada mediante determinación de la fuerza de prensión (contracción voluntaria máxima), utilizando un dinamómetro de mano (Handgrip, Takei: 5401) (Figura 7). Como primer paso en la evaluación, se ajustó la barra de sujeción para que las segundas articulaciones de los dedos estén cómodas, y se puso el dinamómetro en cero (0 Kg). A continuación, se le solicitó al sujeto evaluado que se parara con los pies ligeramente separados y sostuviera el dinamómetro de mano alineado con el antebrazo al nivel del muslo, separado del cuerpo. Se le explicó que en ningún momento de la prueba la mano o el dinamómetro podían tocar el

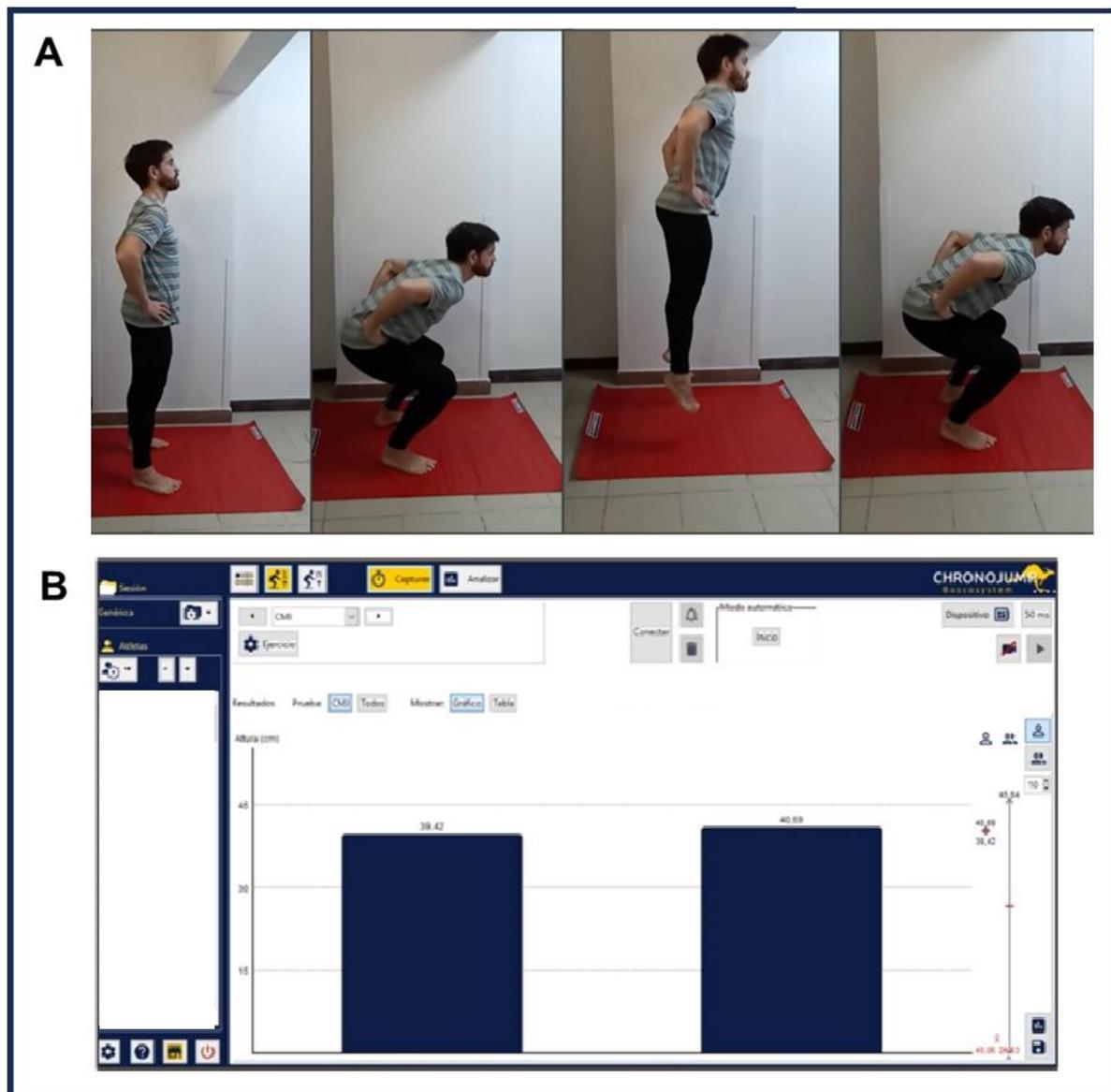
cuerpo (o cualquier objeto). Una vez en posición, el sujeto apretó el dinamómetro lo más fuerte posible, sin contener la respiración (para evitar la maniobra de Valsalva) **(Figura 7)**. Cuando el número que marcaba el dinamómetro quedaba fijo el evaluador contaba tres segundos y registraba esa marca. La medición (M) se repitió dos veces (M1 y M2) con cada miembro superior.



*Figura 7. (A) Dinamómetro Takei 5401. (B) Ejecución de la prueba de presión manual, tomada en LIEBRE.*

La fuerza explosiva de miembros inferiores se evaluó mediante salto con contra movimiento (CMJ, por su denominación en inglés, Counter Movement Jump), utilizando una alfombra de contacto Dina Chronojump (DINA-A3, Software 1.4.7, BOSCO SYSTEM, Uruguay). Para la prueba, el sujeto se paró sobre la alfombra de salto, con las manos en la cintura. Partiendo de esa posición, efectuó un salto vertical después de un rápido contra movimiento hacia abajo (activación concéntrica precedida de fase excéntrica breve). A cada sujeto se le explicó que durante la fase de vuelo los miembros inferiores y tronco debían estar en completa extensión y que durante la prueba no solo era necesario saltar lo más alto posible, sino asegurarse de aterrizar con la misma postura y en la misma posición en que despegó (Markovic, 2004) **(Figura 8)**. Previo a la evaluación propiamente dicha se realizó una demostración de la

técnica de ejecución por parte del evaluador, y el evaluado efectuó un salto de prueba para posible corrección de la técnica. A partir del tiempo de vuelo del CMJ el dispositivo de evaluación estima diferentes parámetros (relacionados con la condición muscular), entre ellos la altura alcanzada, la que fue considerada para el análisis en el presente trabajo. La persona evaluada realizó dos saltos que fueron considerados para el análisis (mediciones; M1 y M2).

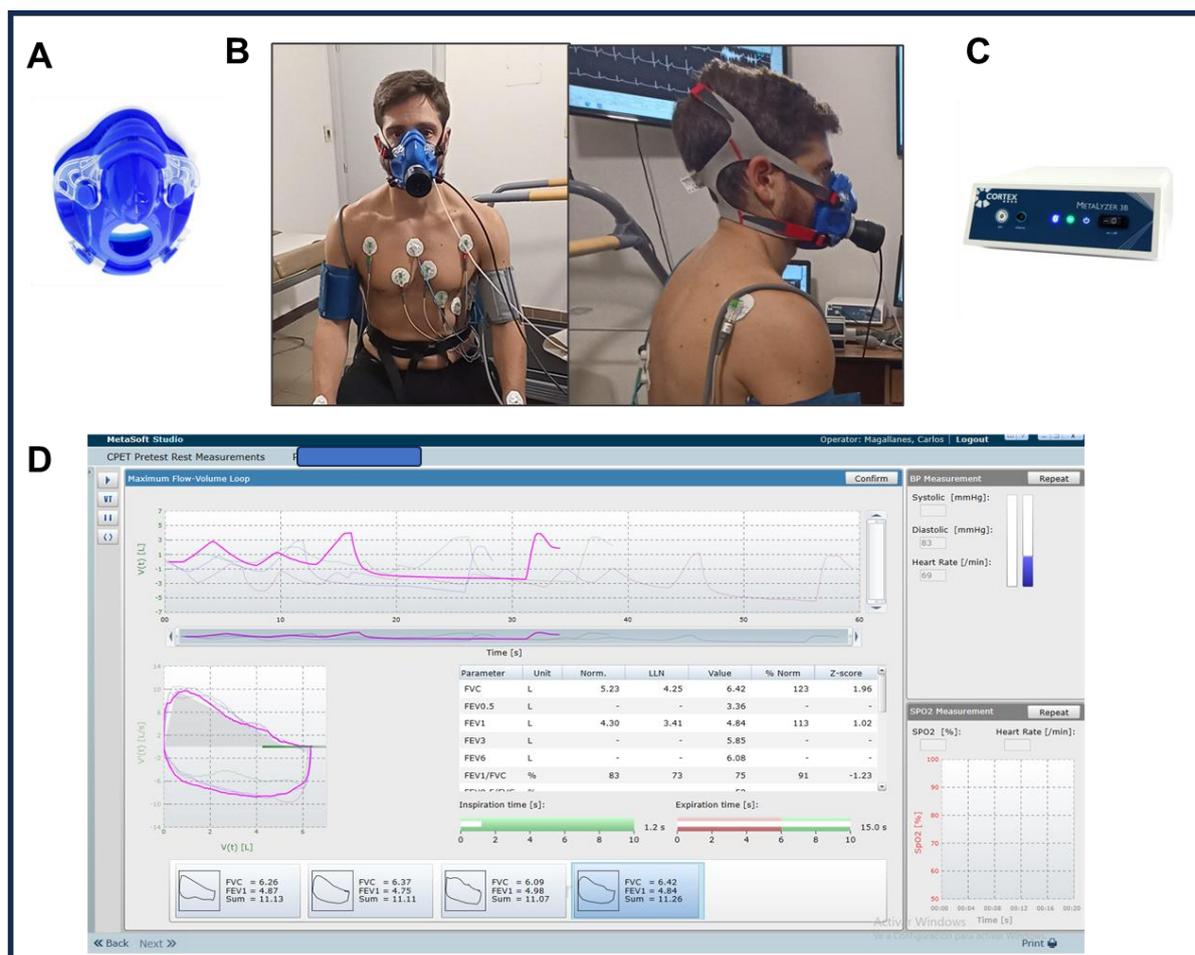


*Figura 8. (A)Ejecución del salto con contra-movimiento (LIEBRE). (B) Imagen del software Cronojump, luego de la ejecución de dos saltos.*

### **Condición cardio-respiratoria**

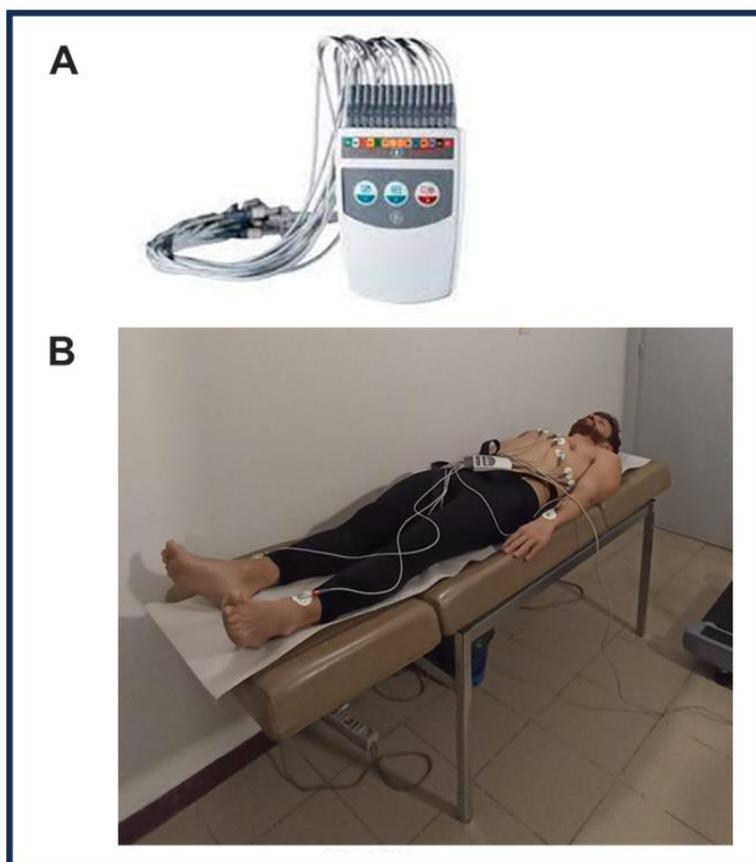
Para la evaluación de la CRF se realizó un test de laboratorio en cicloergómetro (Cyclus 2, RBM elektronik-automation GmbH, Leipzig, Alemania), aplicando un protocolo incremental, continuo, en rampa, con determinación directa del intercambio de gases ventilatorios, utilizando un analizador de gases, del tipo 'respiración a respiración' (Cortex Metalyzer3B Biophysik Performance package; Cortex, Leipzig, Alemania) (Figura 9). La modalidad y

protocolo considerados se encuentran entre las más empleados y recomendados en guías internacionales (Balady, 2010; Manonelles, 2016; Fletcher, 2013; ACSM, 2022).

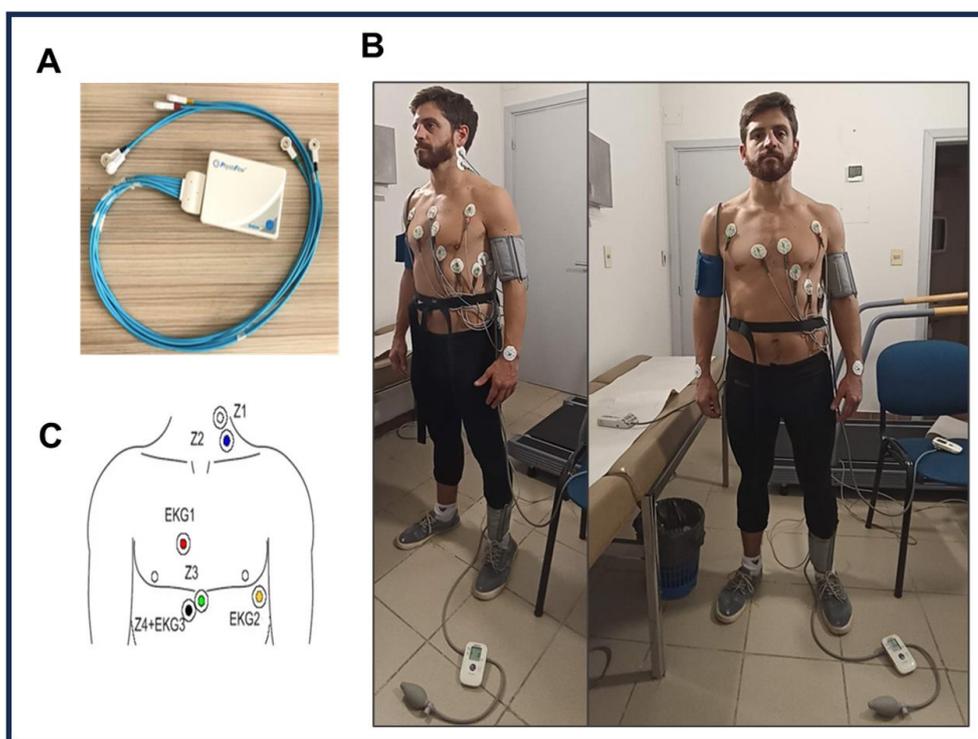


**Figura 9.** (A) Máscara del analizador de gases. (B) Máscara del analizador de gases instrumentada en el sujeto en LIEBRE (C) Dispositivo Córtex (D) Pantalla del software Metasoft durante la espirometría en reposo.

Se aplicó un protocolo de rampa hasta el límite de tolerancia del sujeto (test máximo). Antes y durante la prueba se animó a los sujetos a alcanzar su máximo. Se midieron continuamente variables metabólicas y ventilatorias ( $VO_2$ ,  $VCO_2$  y  $VE$ ). También se analizaron variables derivadas como la relación de intercambio respiratorio (RER) y los equivalentes ventilatorios para el oxígeno ( $VE/VO_2$ ) y el dióxido de carbono ( $VE/VCO_2$ ), la pendiente  $VE/VCO_2$  y las presiones parciales espiradas de oxígeno ( $P_{et}O_2$ ) y dióxido de carbono ( $P_{et}CO_2$ ). El  $VO_2$  pico corresponde al valor más alto obtenido durante la prueba, promediando 30 segundos. El análisis posterior de la información registrada y almacenada, posibilitó la obtención de otros parámetros derivados del CPET (ej. umbrales ventilatorios, HR decay, OUES). Antes y durante la evaluación se registró continuamente el trazado electrocardiográfico de 12 derivaciones (CardioSoft, General Electric, España.) (Figura 10), variables hemodinámicas (PhysioFlow; Enduro, Manatec Biomedical, Poissy, Francia) (Figura 11) y se realizaron registros periódicos de presión arterial braquial (método auscultatorio y oscilométrico). Se obtuvo información de la saturación periférica de  $O_2$  (Nonin, Model 7500 Pulse Oximetry, USA) y del esfuerzo percibido (escala de Borg modificada) (Borg, 1998) (Figura 12).



**Figura 10.** (A) Dispositivo para electrocardiograma, Cardiosoft-V7. (B) Electrocardiograma de reposo.



**Figura 11.** (A) Equipo de cardiografía de impedancia para monitoreo hemodinámico (PhysioFlow). (B) Sujeto instrumentado en posición parado (LIEBRE) (C) Esquema de colocación de electrodos del equipo PhysioFlow.

ESCALA DE ESFUERZO DE BORG	
0	Reposo total
1	Esfuerzo muy suave
2	Suave
3	Esfuerzo moderado
4	Un poco duro
5	Duro
6	
7	Muy duro
8	
9	
10	Esfuerzo máximo

Figura 12. Escala de percepción del esfuerzo (Borg, 1998)

Cada prueba fue precedida de la verificación del correcto registro de los sistemas de evaluación y de condiciones ambientales adecuadas para realizar las pruebas (ej. temperatura y humedad ambiente). Antes de comenzar cada CPET se confirmó la ausencia de contraindicaciones. A continuación, se describen las diferentes etapas de las pruebas realizadas:

- **Espirometría pre-test:** Antes de comenzar el CPET, se realizó estando la persona evaluada sentada en una silla (Figura 9). La evaluación espirométrica permite descartar o identificar alteraciones ventilatorias, y en caso de estar presentes, conocer su tipo y severidad. Además, permite determinar la 'Máxima ventilación voluntaria', a partir de multiplicar por 40 el valor de la FEV1 (volumen espiratorio forzado para el primer segundo de espiración). El cálculo de la máxima ventilación voluntaria permite analizar, durante el CPET, el nivel de reserva ventilatoria que se está empleando.

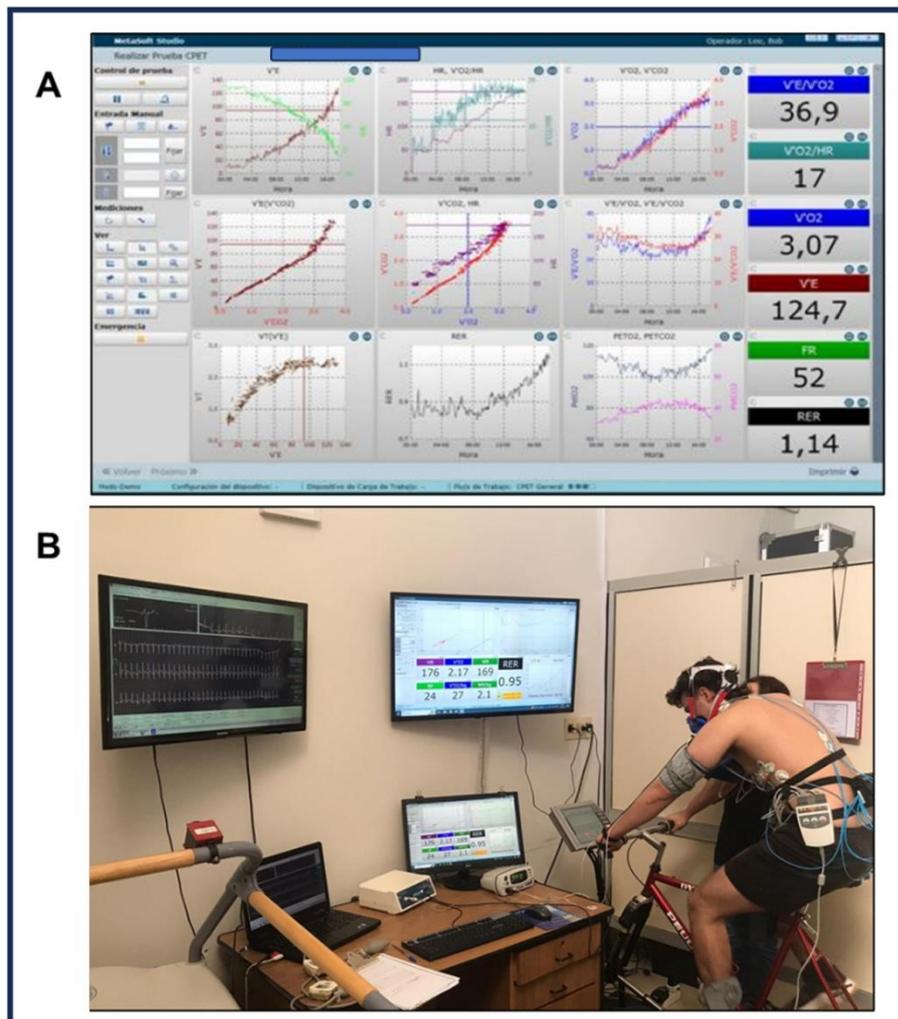
Tras finalizar la espirometría, la persona pasó a sentarse en el cicloergómetro, para que pudiese comenzar el CPET (Figura 13). El CPET, consistió de una serie de etapas que se fueron dando consecutivamente (cada una se continúa con la siguiente). Las mismas fueron:

- **Etapas de reposo pre-ejercicio:** ya habiendo comenzado a registrar variables ergoespirométricas y hemodinámicas, esta etapa tuvo una duración de dos minutos (o el tiempo que fuese necesario hasta obtener registros basales estables). Esta etapa permite

constatar (antes de comenzar el ejercicio) que la situación corresponde a reposo físico. Para ello se emplean los siguientes criterios:  $VO_2 < 5$  ml/min/kg; RER  $< 0,85$ ; VE= 6-12 l/min; frecuencia respiratoria = 8-15 cpm (adultos); presión arterial braquial  $< 150/95$  mmHg).

- **Etapa de calentamiento** (ejercicio sin carga o con carga mínima): *duración dos minutos.* La persona pedalea, ante una carga (watts) baja.
- **Etapa de rampa.** *La carga que el cicloergómetro le impone a la persona va aumentando gradualmente.* El incremento de la carga se estableció en 25 Watts/minuto, siendo ajustado de acuerdo a las características del sujeto evaluado (Takken, 2017; Sietsema, 2020). La rampa continúa hasta que la persona, por estar agotada, no puede sostener el esfuerzo demandado o si se presenta algún criterio de suspensión de la prueba.
- **Etapa de recuperación activa:** tras haber finalizado la etapa de rampa, la persona sigue pedaleando con carga reducida, salvo que aparezcan síntomas o signos que requieran que se detenga el pedaleo (recuperación pasiva). La duración fue de al menos 5 minutos. Se busca alcanzar  $VO_2=50\%$  del valor pico y/o una frecuencia cardíaca de no más de 20 cpm por encima del valor de reposo pre-ejercicio.

Durante el CPET se monitorizó la aparición de signos y/o síntomas considerados indicadores de suspensión de la evaluación (ACSM, 2022).



**Figura 13.** (A) Imagen del software Metasoft durante el CPET. (B) Sujeto realizando CPET en LIEBRE, pantallas de obtención de datos del electrocardiograma (izquierda) y de ergoespirometría (derecha).

#### 5.4. Análisis de datos y estadístico

Luego de construir la base de datos en el software Excel (Microsoft, Washington, U.S.A), se realizó el acondicionamiento y la validación de la misma, analizando para cada variable la existencia de datos perdidos y confirmando que los datos ingresados correspondieran a valores biológicamente posibles. Una vez realizado el análisis anterior se confirmó contar con una base con datos correspondientes a 143 sujetos, para los que se tenía información de la totalidad de las variables que se analizan en el presente trabajo de Tesis. Las variables de resumen del grupo estudiado se presentan en la **Tabla 1** y **Tabla 2**.

A los efectos de trabajar con las variables en que hay más de una medición (M1 y M2): (i) test 'Sit and Reach' (cms), (ii) altura del salto contra movimiento (CMJ; cms) y (iii) fuerza de miembro superiores (dinamometría o hand-grip, HG) se decidió trabajar con el valor de cada medición, así como también con el valor máximo y mínimo. Adicionalmente en el caso de la prueba de fuerza de miembros superiores, se decidió trabajar con los valores de cada miembro superior (derecho e izquierdo) por separado, así como de forma integrada. Esto se

basó en que un análisis preliminar (Análisis de Bland-Altman; **Anexo 7**) permitió evidenciar que si bien M1 y M2 se encuentran altamente correlacionadas entre sí (en todos los casos  $r > 0.8$ ), existían diferencias significativas entre las mediciones. Consecuentemente, a los efectos de no sesgar el análisis tomando una decisión arbitraria sobre con que medición trabajar, y/o trabajar con el promedio (ya que como tal no es una medición), y aún en el entendido que esto hacía más costosos nuestros análisis, se decidió trabajar con esos diferentes valores que adoptaba la variable para cada persona.

Seguidamente, a los efectos de cumplir los diferentes objetivos específicos, se realizó un análisis en pasos. **Primero**, se evaluó la relación entre diferentes índices de respuesta y/o recuperación cardio-respiratoria al ejercicio (que se obtienen con el CPET), empleando correlaciones simples (**Tabla 3**). Este análisis permitió confirmar la relación entre esos índices, que, si bien presentan solapamientos en cuanto a sus variables explicativas, no representan exactamente los mismos procesos biológicos. Como **segundo paso** se identificaron factores demográficos y/o asociados a aumento de riesgo cardio-respiratorio que podrían estar influenciando los valores de OUES (**Tabla 4**). Para esto, se emplearon correlaciones simples y parciales. Los resultados de las correlaciones mostraron que el OUES se asoció con la edad y el sexo, y al considerar esas variables, el OUES no guardó relación (correlaciones parciales; **Tabla 4**) con los factores de riesgo cardio-respiratorios clásicos presentes en nuestro grupo. Habiendo identificado la necesidad de ajustar las asociaciones por edad y sexo, seguidamente como **tercer paso** se analizó mediante correlaciones simples y parciales la relación entre OUES y parámetros que permiten evaluar la flexibilidad e indicadores de la condición muscular (**Tabla 5**), la composición corporal global y segmentaria (**Tabla 6**) y los niveles de AF auto-reportados (**Tabla 7**).

Finalmente, luego de identificar con los análisis mencionados las variables que individualmente, y de manera independiente de la edad y el sexo, presentan relación con el OUES, se construyeron modelos explicativos multivariados. Primeramente, se identificaron para cada 'familia' de variables (derivadas del handgrip, del salto contra-movimiento y de las mediciones de composición corporal) cuales eran las que permitían explicar las variaciones en OUES (**Tabla 8**). Seguidamente se emplearon regresiones lineales múltiples, incluyendo dos abordajes de análisis diferentes. Por una parte, un primer análisis incluyó como potenciales variables explicativas: Sexo (Femenino: 1, Masculino: 0), Edad (años), CMJ (cm; Medida 2), Mayor Handgrip miembro superior izquierdo, IPAQ- Actividad Vigorosa (METS/min/sem), IPAQ-Conductas Sedentarias (min/día), Masa muscular total absoluta (Kg) y relativa (%). Por otra parte, se realizó un análisis similar, pero excluyendo a la edad y el sexo como co-factores. En todos los casos, los modelos de regresión ingresaron a las

variables con el método 'Stepwise' y se definió como umbral para evitar co-linealidad entre variables independientes un factor de inflación de la varianza (FIV) igual a 10.

Para los análisis de correlación, considerando un  $\alpha=0,05$  (error de tipo 1),  $\beta=0,20$  (error de tipo II), y un tamaño de efecto esperado para los análisis de asociación ( $r$ ) de 0.30 (para ser precavidos), el número mínimo de personas a incluir correspondería a 85 (Hulley SB, 2013). En el caso de las regresiones lineales múltiples, nuevamente considerando un  $\alpha=0,05$ ,  $\beta=0,20$ , tamaño de efecto de 0,30, y un máximo de 8 variables predictivas, el número mínimo de sujetos a evaluar sería 114 (Regla de Green,  $n=50+8*8=114$ ) (Green, 1991). El número de sujetos incluidos ( $n=143$ ) en el trabajo superó los mínimos mencionados, lo que permitió aumentar la confianza y riqueza de las co-variables representadas en la muestra (ej. exposición a factores de riesgo). Asimismo, cabe señalar que no se consideró un límite máximo de evaluaciones, por ser no-invasivas e inocuas, representar beneficio para el evaluado y su familia (se le entrega informe con resultados), De acuerdo con el teorema del límite Central, teniendo en cuenta el número de sujetos evaluados ( $>30$ ) se consideró distribución normal de la muestra (Lumley T, 2002). Un valor de  $p<0,05$  se definió como umbral de significancia. Si bien no se realizaron correcciones del valor de  $p$  considerado umbral, en un escenario de hacerse múltiples correlaciones, se incluyó el valor de  $p$  de cada correlación a los efectos que el lector pueda tener a la vista el valor de significancia alcanzado. Para el análisis estadístico se utilizó el software IBM-SPSS (v.26, IBM-SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Dado que se realizó un muestreo no-probabilístico, los alcances de los resultados de la presente Tesis, quedan limitados a la misma; independientemente de que permiten generar hipótesis sobre los potenciales factores que explican los niveles de OUES.

## 6. Resultados

### 6.1 Características de las personas evaluadas

La **Tabla 1** presenta las características demográficas y los niveles de exposición a factores de riesgo del grupo de personas incluido en el estudio. Adicionalmente, la **Tabla 1** muestra los niveles de los diferentes componentes y sub-componentes de la CF y AF evaluados. Se presentan los datos para todo el grupo, así como discriminados por sexo. Los valores corresponden a la media, desviación estándar, menor y mayor nivel obtenidos para cada variable, por ser este el rango en el que las conclusiones que surgen de las correlaciones y regresiones lineales múltiples realizadas, serán válidas. Interesa destacar que todas las personas evaluadas fueron menores de 55 años y presentaron bajos niveles de exposición a factores de riesgo cardiovascular y a fármacos con acciones cardiovasculares.

**Tabla 1.** Características descriptivas del grupo de personas evaluado

	Masculino (n=88)				Femenino (n=55)				Todos (n=143)			
	VM	DE	Min	Máx	VM	DE	Min	Máx	VM	DE	Min	Máx
Edad (años)	24	10	9	54	29	8	8	48	26	9	8	54
Fumador actual (%)	6.70%				7.90%				7.10%			
Hipertensión arterial (%)	2.70%				0.00%				1.80%			
Diabetes (%)	0.00%				0.00%				0.00%			
Antecedentes Fliares. ECV (%)	9.50%				8.10%				9.00%			
Antecedentes de ECV (%)	0.00%				0.00%				0.00%			
Tto. antihipertensivo (%)	1.30%				0.00%				0.90%			
Tto. hipolipemiante (%)	1.30%				0.00%				0.90%			
Tto. hipoglicemiante (%)	0.00%				0.00%				0.00%			
bPAS (mmHg)	120	9	102	144	111	8	100	137	117	10	100	144
bPAD (mmHg)	66	7	50	80	67	7	54	84	66	7	50	84
Altura corporal (cm)	175.4	9.6	128.4	195.6	159.8	9.1	120.4	177.9	169.4	12.1	120	195.6
<b>Masa y composición corporal (Bioimpedancia)</b>												
Masa corporal (Kg)	73.44	12.34	27.1	104.7	61.23	13.7	21.9	117.4	68.71	14.16	21.9	117.4
Masa grasa total (Kg)	11.94	6.06	2.7	37	17.5	9.67	1.6	59.8	14.1	8.1	1.6	59.8
Masa grasa total (%)	15.9	6.13	4.5	35.3	27.25	9.35	3	50.9	20.29	9.34	3	50.9
Masa muscular total (Kg)	34.94	5.68	11.6	46.3	24.09	4.33	8.6	34.4	30.74	7.42	8.6	46.3
Masa muscular total (%)	47.7	3.71	37.06	54.13	39.96	5.28	27.09	54.66	44.7	5.78	27.1	54.66
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	23.7	2.74	16.4	31.5	23.82	4.41	15.1	41.6	23.75	3.47	15.1	41.6
MLG. Brazo derecho (Kg)	3.47	0.69	0.9	4.81	2.24	0.54	0.5	3.8	3	0.87	0.5	4.81
MLG. Brazo izquierdo (Kg)	3.45	0.69	0.81	4.71	2.22	0.53	0.5	3.5	2.97	0.87	0.5	4.71
MLG. Tronco (Kg)	27.01	4.24	9.3	34.7	19.53	3.45	6.7	27.6	24.11	5.38	6.7	34.7
MLG. Pierna derecha (Kg)	9.52	1.61	2.6	13.31	6.48	1.31	1.8	9.71	8.34	2.11	1.8	13.31
MLG. Pierna izquierda (Kg)	9.45	1.57	2.6	13.11	6.47	1.32	1.8	9.71	8.29	2.07	1.8	13.11
MG. Brazo derecho (Kg)	0.58	0.48	0.1	3	1.24	1.07	0.1	7.3	0.83	0.82	0.1	7.3
MG. Brazo izquierdo (Kg)	0.59	0.48	0.1	3.1	1.25	1.05	0.1	7.2	0.85	0.82	0.1	7.2
MG. Tronco (Kg)	6.08	3.63	0.2	20.5	8.68	5.03	0.1	27.4	7.09	4.4	0.1	27.4
MG. Pierna derecha (Kg)	1.81	0.71	0.7	4.5	2.64	1.25	0.4	8.1	2.13	1.03	0.4	8.1
MG. Pierna izquierda (Kg)	1.79	0.71	0.7	4.5	2.63	1.24	0.4	8	2.12	1.03	0.4	8
<b>International Physical Activity Questionnaire (Short Form)</b>												
Ítem 1 (AF Vigorosa; día/sem)	4	2	0	7	3	2	0	7	4	2	0	7
Ítem 2 (AF Vigorosa; min/día)	91	69	0	360	72	57	0	240	84	65	0	360
Ítem 3 (AF Moderada; día/sem)	3	2	0	7	2	3	0	7	3	3	0	7
Ítem 4 (AF Moderada; min/día)	75	72	0	360	44	53	0	240	63	67	0	360
Ítem 5 (Caminar; día/sem)	5	2	0	7	5	2	0	7	5	2	0	7
Ítem 6 (Caminar; min/día)	49	58	0	300	71	65	0	240	57	61	0	300
Ítem 7 (Sentado; min/día)	338	174	30	840	339	205	30	780	338	186	30	840
AF Leve (METS/min/sem)	981	1320	0	6930	1271	1396	0	5544	1090	1351	0	6930
AF Moderada (METS/min/sem)	1300	1735	0	8640	736	1200	0	6720	1087	1574	0	8640
AF Vigorosa (METS/min/sem)	3298	3310	0	17280	2530	2846	0	11520	3002	3151	0	17280
AF Total (METS/min/sem)	5740	4379	0	18720	4634	4269	0	15786	5335	4353	0	18720
Conducta Sedentaria (min/día)	338	174	30	840	339	205	30	780	338	186	30	840
<b>Condición muscular y Flexibilidad</b>												
Sit&Reach (cm) [M1]	28.1	9.7	2.6	47	31.8	10.1	7	51.5	29.5	10	2.6	51.5
Sit&Reach (cm) [M2]	26.5	9.9	1.9	46.2	30.3	10.2	6.1	54	28	10.1	1.9	54
CMJ (cm) [M1]	32.34	6.34	16.98	45.84	22.71	4.31	15.58	34.69	28.6	7.33	15.6	45.84
CMJ (cm) [M2]	31.21	6.3	16.92	41.93	21.54	4.28	14.27	33.4	27.47	7.32	14.3	41.93
HG MSD (Kg) [M1]	41.7	9.5	10.7	70	26.7	5.6	10.3	38.7	36	11	10.3	70
HG MSD (Kg) [M2]	40.4	9.4	9.9	67.7	26.1	5.1	9.7	38.5	35	10.7	9.7	67.7
HG MSI (Kg) [M1]	40.4	8.9	11.5	66	26.3	5.7	10	36.6	35.1	10.4	10	66
HG MSI (Kg) [M2]	38.8	8.7	11	62	25	5.6	9.6	35.9	33.6	10.2	9.6	62
Mayor, Sit & Reach (cm)	28.2	9.7	2.6	47	31.9	10	7	54	29.6	10	2.6	54
Menor, Sit&Reach (cm)	26.4	9.8	1.9	46.2	30.3	10.1	6.1	51.5	27.9	10	1.9	51.5
Mayor CMJ (cm)	32.3	6.3	17	45.8	22.7	4.3	15.6	34.7	28.6	7.3	15.6	45.8
Menor CMJ (cm)	31.2	6.3	16.9	41.9	21.5	4.3	14.3	33.4	27.5	7.3	14.3	41.9
Mayor HG MSD (Kg)	41.7	9.5	10.7	70	27	5.1	10.4	38.7	36.2	10.8	10.4	70
Menor HG MSD (Kg)	40.4	9.4	9.9	67.7	25.7	5.5	9.7	38.5	34.9	10.8	9.7	67.7
Mayor HG MSD (Kg)	40.4	8.9	11.5	66	26.3	5.7	10	36.6	35.1	10.4	10	66
Menor HG MSI (Kg)	38.8	8.7	11	62	25	5.6	9.6	35.9	33.6	10.2	9.6	62
Mayor HG MSD o MSI (Kg)	42.6	9.3	11.5	70	27.7	5.4	10.4	38.7	37	10.8	10.4	70

VM: valor medio. DE: desviación estándar. Min, Máx: valores mínimo y máximo. ECV: enfermedad cardiovascular.  
bPAS, bPAD: presión arterial braquial sistólica y diastólica, respectivamente. AF: actividad física. METS: equivalentes metabólicos. cm: centímetros. CMJ: salto contra-movimiento (CounterMovementJump). Kg: kilogramo. Fliares: Familiares. Tto: tratamiento farmacológico. IMC: Índice de Masa Corporal. MLG: masa libre de grasa. MG: masa grasa. HG: Handgrip. M1, M2: primer y segunda medida. min: minuto; sem: semana. MSD, MSI: miembro superior derecho e izquierdo, respectivamente

## 6.2 Variables obtenidas durante el CPET (cicloergómetro)

La **Tabla 2** presenta los niveles de las variables obtenidas en el estado pre-ejercicio y al alcanzarse el VO<sub>2</sub> pico. Como era de esperar VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, y las variables cardiovasculares y respiratorias aumentaron al realizar AF. Se muestran los índices sub-máximos y complementarios: (i) VO<sub>2</sub>/LogVE (OUES), (ii) HR Decay, (iii) VO<sub>2</sub>/WR y (iv) VE/VCO<sub>2</sub>.

**Tabla 2.** Variables cardio-respiratorias obtenidas en reposo y durante el CPET

	Masculino (n=88)				Femenino (n=55)				Todos (n=143)			
	VM	DE	Mín.	Máx.	VM	DE	Mín.	Máx.	VM	DE	Mín.	Máx.
<b>Valores iniciales (pre-ejercicio o basales)</b>												
VO <sub>2</sub> (l/min)	<b>0.44</b>	0.08	0.26	0.68	<b>0.30</b>	0.05	0.20	0.40	<b>0.39</b>	0.09	0.20	0.68
VO <sub>2</sub> /kg (l/min/Kg)	<b>6.10</b>	1.03	3.20	9.14	<b>5.04</b>	0.90	3.00	7.00	<b>5.63</b>	1.08	3.00	9.00
VCO <sub>2</sub> (l/min)	<b>0.37</b>	0.07	0.21	0.59	<b>0.25</b>	0.04	0.16	0.36	<b>0.33</b>	0.08	0.16	0.59
CR (VO <sub>2</sub> /VCO <sub>2</sub> )	<b>0.84</b>	0.05	0.71	0.98	<b>0.85</b>	0.05	0.75	0.94	<b>0.84</b>	0.05	0.71	0.98
METS	<b>1.72</b>	0.30	1.00	2.60	<b>1.59</b>	0.29	0.90	2.20	<b>1.67</b>	0.30	0.90	2.60
HR (ciclo/min)	<b>82</b>	14	59	105	<b>89</b>	27	50	93	<b>84</b>	20	50	105
bPAS (mmHg)	<b>127</b>	12	108	165	<b>121</b>	13	98	160	<b>125</b>	12	98	165
bPAD (mmHg)	<b>80</b>	16	60	94	<b>75</b>	9	60	90	<b>78</b>	14	60	95
GC (l/min)	<b>7.50</b>	1.40	3.04	10.62	<b>6.33</b>	1.28	2.86	9.35	<b>7.05</b>	1.46	2.86	10.62
IC (l/min/m <sup>2</sup> )	<b>4.40</b>	0.78	2.92	6.68	<b>4.22</b>	0.87	2.11	5.42	<b>4.33</b>	0.82	2.11	6.68
VC (l/min)	<b>0.75</b>	0.15	0.43	1.04	<b>0.55</b>	0.12	0.30	0.95	<b>0.67</b>	0.17	0.30	1.04
FR (ciclo/min)	<b>19.09</b>	2.91	13.00	26.00	<b>19.50</b>	3.55	11.00	27.00	<b>19.25</b>	3.17	11.00	27.00
VE (l/min)	<b>14.00</b>	2.66	7.90	20.70	<b>10.34</b>	1.73	7.30	13.80	<b>12.58</b>	2.94	7.30	20.70
LogVE	<b>1.14</b>	0.08	0.89	1.32	<b>1.01</b>	0.07	0.86	1.14	<b>1.09</b>	0.10	0.86	1.32
<b>Valores alcanzados en el momento de detener la prueba (VO<sub>2</sub> pico)</b>												
WR (W)	<b>265</b>	45	103	376	<b>187</b>	38	108	255	<b>235</b>	57	103	376
WR/Kg (W/Kg)	<b>3.62</b>	0.59	1.60	4.70	<b>3.12</b>	0.67	1.80	4.70	<b>3.42</b>	0.66	1.60	4.70
WR/kgmagr (W/Kg)	<b>4.27</b>	0.56	2.70	5.50	<b>4.20</b>	0.64	3.00	5.90	<b>4.24</b>	0.59	2.70	5.90
VO <sub>2</sub> (l/min)	<b>3.35</b>	0.56	1.54	4.70	<b>2.14</b>	0.45	1.17	3.08	<b>2.88</b>	0.79	1.17	4.70
VO <sub>2</sub> /kg (l/min/Kg)	<b>45.91</b>	7.75	20.00	61.00	<b>35.66</b>	7.75	23.00	56.00	<b>41.94</b>	9.20	20.00	61.00
VO <sub>2</sub> % esperado (%)	<b>109.27</b>	17.44	63.00	181.00	<b>114.82</b>	23.34	77.00	170.00	<b>111.42</b>	20.03	63.00	181.00
VCO <sub>2</sub> (l/min)	<b>3.77</b>	0.67	1.55	5.26	<b>2.46</b>	0.53	1.27	3.62	<b>3.26</b>	0.89	1.27	5.26
CR (VO <sub>2</sub> /VCO <sub>2</sub> )	<b>1.12</b>	0.07	0.96	1.27	<b>1.15</b>	0.07	1.02	1.33	<b>1.13</b>	0.07	0.96	1.33
METS	<b>13.11</b>	2.21	5.70	17.30	<b>11.29</b>	2.48	7.20	17.80	<b>12.40</b>	2.47	5.70	17.80
HR (latido/min)	<b>180</b>	13	140	208	<b>173</b>	19	69	194	<b>177</b>	16	69	208
HR reserva (%)	<b>96.40</b>	4.34	81.00	100.00	<b>91.27</b>	21.77	0.00	99.00	<b>94.40</b>	14.13	0.00	100.00
bPAS (mmHg)	<b>200</b>	25	150	252	<b>167</b>	15	138	205	<b>187</b>	27	138	252
bPAD (mmHg)	<b>82</b>	8	60	110	<b>79</b>	9	60	104	<b>81</b>	8	60	110
GC (l/min)	<b>20.59</b>	4.71	4.62	29.93	<b>15.80</b>	4.50	0.59	25.56	<b>18.73</b>	5.17	0.59	29.93
IC (l/min/m <sup>2</sup> )	<b>10.82</b>	2.36	2.29	14.59	<b>9.53</b>	2.55	0.66	13.85	<b>10.32</b>	2.51	0.66	14.59
VC (l/min)	<b>2.66</b>	0.51	0.92	3.97	<b>1.83</b>	0.35	0.91	2.63	<b>2.34</b>	0.61	0.91	3.97
FR (ciclo/min)	<b>47.00</b>	9.52	28.00	81.00	<b>44.20</b>	8.43	24.00	62.00	<b>45.91</b>	9.18	24.00	81.00
VE (l/min)	<b>122.90</b>	27.62	51.50	188.20	<b>80.57</b>	20.74	41.10	134.50	<b>106.49</b>	32.53	41.10	188.20
LogVE	<b>2.08</b>	0.10	1.71	2.27	<b>1.89</b>	0.12	1.61	2.13	<b>2.00</b>	0.14	1.61	2.27
<b>Índices derivados de análisis de pendientes</b>												
VO <sub>2</sub> /LogVE (OUES)	<b>3.9</b>	0.6	2.2	5.9	<b>2.7</b>	0.5	1.8	3.8	<b>3.4</b>	0.8	1.8	5.9
HRDecay (ciclo/min)	<b>-18.13</b>	3.49	-7.52	-27.52	<b>-16.34</b>	4.22	-1.8	-25.04	<b>-17.43</b>	3.88	-1.8	-27.52
VO <sub>2</sub> /WR	<b>11.0</b>	1.8	7.2	19.1	<b>9.5</b>	1.4	5.2	12.3	<b>10.4</b>	1.8	5.2	19.1
VE/VCO <sub>2</sub>	<b>25.7</b>	4.0	14.7	36.1	<b>27.1</b>	4.0	15.8	35.7	<b>26.2</b>	4.0	14.7	36.1

VM: valor medio. DE: desviación estándar. Mín, Máx: mínimo y máximo. bPAS, bPAD: presión arterial sistólica y diastólica braquial. METS: equivalentes metabólicos. VO<sub>2</sub>: consumo de oxígeno. VE: ventilación minuto. W: Watts. WR: Tasa de trabajo (WorkRate). WR/Kg, WR/Kg magro: WR relativizada a la masa corporal y masa magra total. HR: Frecuencia cardíaca (Heart Rate). VO<sub>2</sub>/Kg: consumo de oxígeno relativizado a masa corporal. VO<sub>2</sub>% esperado (%): porcentaje alcanzado del VO<sub>2</sub>, respecto al esperado para edad y sexo según valores de referencia. HR reserva (%): porcentaje de reserva de frecuencia cardíaca. OUES: Pendiente de la Eficiencia de Captación de Oxígeno. VCO<sub>2</sub>: ventilación de dióxido de carbono. O<sub>2</sub>: oxígeno. VE: ventilación minuto. LogVE: logaritmo de VE. HR Decay: tasa de recuperación de HR. FR: Frecuencia respiratoria. VC: volumen corriente. CR: cociente respiratorio. GC, IC: gasto e índice cardíaco.

### 6.3 Relación entre OUES y otros índices de respuesta y/o recuperación cardio-respiratoria

La **Tabla 3** presenta las relaciones entre OUES y restantes índices de respuesta o recuperación post-ejercicio. El OUES se asoció positivamente con la relación  $VO_2/WR$ , tanto antes como luego de ajustar por edad y sexo. Consecuentemente, mayor OUES se asocia a mayor  $VO_2$  para cualquier variación en la tasa de trabajo (WR); es decir, con mayor eficiencia de  $VO_2$ . Además, mayor OUES se asoció con una recuperación más rápida de la frecuencia cardíaca post-ejercicio (pendiente más negativa de la relación HR decay). Finalmente, mayor OUES se asoció con menor pendiente de la relación  $VE/VCO_2$ , lo que se asocia con mayor eficiencia ventilatoria. En conjunto, estos resultados evidencian que el OUES como índice sub-máximo de eficiencia cardio-respiratoria se asocia con los niveles de otros índices de respuesta o recuperación obtenidos durante el CPET. Asimismo, los niveles de asociación alcanzados ( $r$ : 0.39, 0.43 y 0.48) evidencian que los diferentes índices considerados no son determinados por los mismos factores (ej.: cardiovasculares, respiratorios, metabólicos).

**Tabla 3.** Correlaciones simples y parciales (ajuste: edad, sexo) entre los Índices

Correlaciones simples		$VO_2/LogVE$ (OUES)	HR decay/Time	$VO_2/WR$	$VE/VCO_2$
$VO_2/LogVE$ (OUES)	R	1.000	-0.39	0.434	-0.482
	p	----	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
HR decay	R	-0.390	1	-0.447	0.216
	p	<b>0.000</b>	----	<b>0</b>	<b>0.016</b>
$VO_2/WR$	R	0.434	-0.447	1	-0.063
	p	<b>0.000</b>	<b>0</b>	----	0.488
$VE/VCO_2$	R	-0.482	0.216	-0.063	1
	p	<b>0.000</b>	<b>0.016</b>	0.488	----
Correlaciones parciales		$VO_2/LogVE$ (OUES)	HR decay	$VO_2/WR$	$VE/VCO_2$
$VO_2/LogVE$ (OUES)	R	1.000	-0.337	0.208	-0.541
	p	----	<b>0</b>	<b>0.021</b>	<b>0</b>
HR decay	R	-0.337	1	-0.393	0.199
	p	<b>0.000</b>	----	<b>0</b>	<b>0.028</b>
$VO_2/WR$	R	0.208	-0.393	1	-0.005
	p	<b>0.021</b>	<b>0</b>	----	0.954
$VE/VCO_2$	R	-0.541	0.199	-0.005	1
	p	<b>0.000</b>	<b>0.028</b>	0.954	----

$VO_2$ : captación (consumo) de oxígeno. LogVE: logaritmo de la ventilación pulmonar minuto. OUES: Pendiente de la Eficiencia de Captación o Consumo de Oxígeno (OxygenUptakeEfficiencySlope). HR Decay: tasa de recuperación de la frecuencia cardíaca post-esfuerzo. WR: tasa de trabajo. VE: ventilación pulmonar minuto.  $VCO_2$ : ventilación (producción) de dióxido de carbono.

## 6.4 Relación entre OUES, sexo, edad y factores de riesgo cardio-respiratorios

El nivel de OUES se asoció con (i) el sexo (Fem:1; Masc:0;  $r=-0,70$ ,  $p<0.001$ ) y (ii) la edad (años;  $r=-0.27$ ,  $p=0,004$ ) de la persona evaluada; variables que se reconocen relacionadas con la exposición a factores asociados a aumento del riesgo cardio-respiratorio (ej. presión arterial sistólica). Consecuentemente, seguidamente se evaluó si el OUES se asocia con exposición a factores de riesgo, con independencia del sexo y edad. La **Tabla 4** presenta las correlaciones parciales (ajustadas por edad y sexo) entre el OUES y diferentes factores de riesgo cardio-respiratorios. Nótese que con la excepción de los niveles de AF desarrollada, la cuál es una variable de estudio en nuestro trabajo, los restantes factores de riesgo no mostraron relación con los valores de OUES. Consecuentemente, en los restantes análisis de correlación y/o regresiones lineales múltiples, no fue necesario ajustar por factores de riesgo cardio-respiratorios (ej. tabaquismo actual, nivel de presión arterial).

**Tabla 4.** Correlaciones parciales (ajuste: edad, sexo) entre OUES y factores de riesgo

Variables		VO <sub>2</sub> /LogVE (OUES)
Fumador actual (Si:1; No:0)	r	-0.142
	p	0.173
bPAS (mmHg)	r	0.124
	p	0.235
bPAD (mmHg)	r	0.060
	p	0.566
Hipertensión Arterial (Si:1, No:0)	r	0.022
	p	0.833
Dislipemia (Si:1, No:0)	r	-0.160
	p	0.125
Cumplir recomendaciones de actividad física (Si:1, No:0)	r	0.245
	p	<b>0.017</b>
Antecedentes Fliares ECV (Si:1, No:0)	r	0.042
	p	0.691
Tto Hipolipemiante (Si:1, No:0)	r	-0.142
	p	0.172

VO<sub>2</sub>: captación (consumo) de oxígeno. LogVE: logaritmo de la ventilación pulmonar minuto. OUES: Pendiente de la Eficiencia de Captación o Consumo de Oxígeno (OxygenUptakeEfficiencySlope). bPAS y bPAD: presión arterial sistólica y diastólica braquial, respectivamente. ECV: enfermedad cardiovascular. Tto: tratamiento farmacológico.

## 6.5 Relación entre OUES, y nivel de flexibilidad y de condición muscular

La **Tabla 5** presenta las correlaciones simples (orden cero) y parciales (ajustadas por edad y sexo) entre el OUES y parámetros de flexibilidad y condición muscular. El OUES no presentó relación con los niveles de Sit & Reach, pero si presentó relaciones positivas con la altura alcanzada en el CMJ, y con el nivel de fuerza determinado con el dinamómetro manual (handgrip) (rango r: 0,600 a 0,658). Estas relaciones estadísticamente significativas se mantuvieron tras ajustar por edad y sexo, si bien la fortaleza de asociación se redujo (rango r: 0,199 a 0,323).

**Tabla 5.** Correlaciones simples y parciales (ajuste: edad, sexo) entre OUES e índices de condición muscular y flexibilidad

Variables	VO <sub>2</sub> /LogVE (OUES)			
		Correlaciones Simples		Correlaciones Parciales
Sit&Reach (cm) [Medida 1]	r	-0.100	r	0.023
	p	0.296	p	0.812
Sit&Reach (cm) [Medida 2]	r	-0.078	r	0.103
	p	0.416	p	0.285
Mayor, Sit&Reach (cm)	r	-0.024	r	0.147
	p	0.798	p	0.116
Menor, Sit&Reach (cm)	r	-0.038	r	0.142
	p	0.685	p	0.131
CMJ (cm) [Medida 1]	r	0.638	r	0.282
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.003</b>
CMJ (cm) [Medida 2]	r	0.658	r	0.323
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.001</b>
Mayor CMJ (cm)	r	0.651	r	0.288
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.002</b>
Menor CMJ (cm)	r	0.670	r	0.327
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.000</b>
Handgrip, MSD (Kg) [Medida 1]	r	0.600	r	0.199
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.037</b>
Handgrip, MSD (Kg) [Medida 2]	r	0.609	r	0.226
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.017</b>
Handgrip, MSI (Kg) [Medida 1]	r	0.616	r	0.253
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.008</b>
Handgrip, MSI (Kg) [Medida 2]	r	0.616	r	0.256
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.007</b>
Mayor Handgrip MSD (Kg)	r	0.601	r	0.179
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.055</b>
Menor Handgrip MSD (Kg)	r	0.605	r	0.192
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.040</b>
Mayor Handgrip MSI (Kg)	r	0.621	r	0.239
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.010</b>
Menor Handgrip MSI (Kg)	r	0.618	r	0.234
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.012</b>
Mayor Handgrip MSD o MSI (Kg)	r	0.615	r	0.206
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.027</b>

CMJ: salto contra-movimiento (CounterMovementJump). MSD, MSI: miembro superior derecho e izquierdo, respectivamente.

## 6.6 Relación entre OUES, y composición corporal global y segmentaria

La **Tabla 6** presenta las correlaciones simples (orden cero) y parciales (ajustadas por edad y sexo) entre el OUES y niveles de composición corporal en términos de masa grasa, masa muscular y/o no-grasa, absolutos y/o relativos (porcentuales), de todo el organismo (global) o separados para tronco, miembros superiores e inferiores. Interesa destacar que tras realizar ajustes por edad y por sexo, el OUES se asoció positivamente con el nivel absoluto y relativo (%) de masa muscular total, así como de masa libre de grasa de tronco y miembros superiores e inferiores, pero no alcanzó significancia estadística con la: (i) masa corporal, (ii) el Índice de masa corporal, y (iii) los niveles absolutos o relativos de masa grasa. Sólo los niveles de masa grasa de miembros superiores alcanzaron niveles de asociación cercanos a la significancia (MSD:  $p=0,071$ ; MSI:  $0,069$ ).

Consecuentemente, es la masa muscular, más que la masa grasa o la masa total, o la relación entre masa y talla corporal, la que se asocia con los niveles de OUES, con independencia de la edad, el sexo (y restantes factores de riesgo cardio-respiratorios).

**Tabla 6.** Correlaciones simples y parciales (ajuste: edad, sexo) entre OUES y composición corporal

Variables	VO <sub>2</sub> /LogVE (OUES)			
		Correlaciones Simples		Correlaciones Parciales
Masa corporal (Kg)	r	0.456	r	0.122
	p	<b>0.000</b>	p	0.178
Masa grasa total (Kg)	r	-0.300	r	-0.107
	p	<b>0.001</b>	p	0.241
Masa grasa total (%)	r	-0.501	r	-0.144
	p	<b>0.000</b>	p	0.112
Masa muscular total (Kg)	r	0.678	r	0.272
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.002</b>
Masa muscular total (%)	r	0.581	r	0.202
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.024</b>
Índice de Masa Corporal (Kg/m <sup>2</sup> )	r	0.062	r	0.044
	p	0.490	p	0.626
Masa libre de grasa, MSD (Kg)	r	0.651	r	0.243
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.007</b>
Masa libre de grasa, MSI (Kg)	r	0.652	r	0.246
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.006</b>
Masa libre de grasa, Tronco (Kg)	r	0.652	r	0.243
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.007</b>
Masa libre de grasa, MID (Kg)	r	0.663	r	0.241
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.007</b>
Masa libre de grasa, MII (Kg)	r	0.661	r	0.237
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.008</b>
Masa grasa, MSD (Kg)	r	-0.404	r	-0.164
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.071</b>
Masa grasa, MSI (Kg)	r	-0.405	r	-0.164
	p	<b>0.000</b>	p	<b>0.069</b>
Masa grasa, Tronco (Kg)	r	-0.249	r	-0.091
	p	<b>0.005</b>	p	0.315
Masa grasa, MID (Kg)	r	-0.353	r	-0.109
	p	<b>0.000</b>	p	0.230
Masa grasa, MII (Kg)	r	-0.357	r	-0.107
	p	<b>0.000</b>	p	0.241

MSD, MSI: miembro superior derecho e izquierdo, respectivamente. MID, MII: miembro inferior derecho e izquierdo, respectivamente.

## 6.7 Relación entre OUES, y nivel auto-reportado de actividad física semanal

La **Tabla 7** presenta las correlaciones simples (orden cero) y parciales (ajustadas por edad y sexo) entre el OUES y los niveles de AF registrados con la aplicación de la versión corta del IPAQ. Los resultados muestran que el OUES se asoció positivamente, con independencia de la edad y el sexo, con el nivel de AF vigorosa que reporta la persona. Adicionalmente, los niveles de conductas sedentarias mostraron tendencia a correlacionarse negativamente con el nivel de OUES (p=0,083).

**Tabla 7.** Correlaciones simples y parciales (ajuste: edad, sexo) entre OUES y actividad física.

Variables	VO <sub>2</sub> /LogVE (OUES)			
		Correlaciones Simples		Correlaciones Parciales
AF Leve (METS/minuto/semana)	r	-0.077	R	0.014
	p	0.452	P	0.891
AF Moderada (METS/min/sem)	r	0.122	R	-0.031
	p	0.235	P	0.767
AF Intensa (METS/min/sem)	r	0.252	R	0.241
	p	<b>0.013</b>	P	<b>0.018</b>
AF Total (METS/min/sem)	r	0.220	R	0.183
	p	<b>0.030</b>	P	0.077
Conductas Sedentarias (minuto/día)	r	-0.109	R	-0.179
	p	0.288	P	<b>0.083</b>

AF: actividad física. METS: unidades metabólicas. Mín: minutos. Sem: semana. IPAQ: International Physical Activity Questionnaire (Short Form).

## 6.8. OUES e índices de condición y actividad física: jerarquía en capacidad explicativa

La **Tabla 8** muestra los análisis de regresión múltiple, empleando el OUES como variable dependiente, y como variables independientes (explicativas) a las diferentes variables que mostraron relación bivariada en las correlaciones simples y parciales previamente descritas (**Tablas 5, 6 y 7**). Los análisis se realizan secuencialmente para las variables de fuerza de miembros superiores (Modelo A), de salto contra-movimiento (Modelo B) y de composición corporal (Modelo C). Los resultados muestran que (i) el mayor valor de Handgrip alcanzado entre las dos pruebas realizadas con el miembro superior izquierdo, (ii) el segundo salto con contra-movimiento, y (iii) la cantidad de masa muscular total y relativa, en ese orden, son las variables que permiten explicar la variabilidad interindividual en el OUES, por encima de las restantes variables de cada categoría.

La **Tabla 9** presenta los modelos que surgen de las regresiones lineales múltiples, en las que se ingresaron integralmente como potenciales variables explicativas dos diferentes conjuntos de variables. Los resultados mostraron, que el sexo, el nivel de salto con contra-movimiento (Medida 2) y los niveles absolutos de masa muscular total son (en ese orden) las principales variables explicativas de la variación interindividual en nivel de OUES (Modelo 3). Adicionalmente, si no se consideran sexo y edad como potenciales variables explicativas, es la masa muscular total y el salto contra movimiento (Medida 2), en ese orden, las principales variables explicativas de las variaciones interindividuales de OUES.

**Tabla 8.** Modelos explicativos del nivel de OUES (variable dependiente): análisis individuales para diferentes variables de condición física

Modelo		Coeficiente No-Estandarizado		Coeficiente Estandarizado	P	95% C.I. Beta		FIV	Ajuste del Modelo		
		Beta	EE			Beta	L.I.		L.S.	R	R <sup>2</sup>
A	Constante	1.543	0.223	----	<b>0.00</b>	1.10	1.98	0.61	0.38	0.37	
	Mayor HG MSI (Kg)	0.052	0.006	0.618	<b>0.00</b>	0.04	0.06				
B	Constante	1.203	0.232	----	<b>0.00</b>	0.74	1.66	0.67	0.49	0.44	
	CMJ (cm) [M2]	0.078	0.008	0.670	<b>0.00</b>	0.06	0.09				
C1	Constante	0.851	0.250	----	<b>0.00</b>	0.35	1.34	1.0	0.68	0.46	
	Masa musc. total (Kg)	0.082	0.008	0.681	<b>0.00</b>	0.06	0.09				
C2	Constante	-0.212	0.426	----	<b>0.62</b>	-1.05	0.63	1.6 7	0.70	0.50	
	Masa musc.r total (Kg)	0.063	0.010	0.523	<b>0.00</b>	0.04	0.08				
	Masa musc. total (%)	0.037	0.012	0.249	<b>0.00</b>	0.01	0.06				

CMJ: salto contra-movimiento. HG: Handgrip. FIV: factor de inflación de la varianza. L.I., L.S.: límite inferior y superior, respectivamente. C.I.: intervalo de confianza. EE: error estándar. MSD y MSI: miembro superior derecho e izquierdo, respectivamente; MID y MII: miembro inferior derecho e izquierdo, respectivamente. Musc.: muscular

**Modelo A:** Variables explicativas ingresadas en los análisis: HG MSD y MSI [M1 y M2], Mayor HG MSD, Menor HG MSD, Mayor HG MSI, Menor HG MSI, Mayor HG MSI o MSD.

**Modelo B:** Variables explicativas ingresadas en los análisis: CMJ [M1 y M2], Mayor CMJ, Menor CMJ.

**Modelo C:** Variables explicativas ingresadas en los análisis: Masa muscular total (Kg y %), MLG MSD y MSI, MLG Tronco, MLG MID y MII

**Tabla 9.** Modelos explicativos del nivel de OUES (variable dependiente)

Modelo		Coeficiente No-Estandarizado		Coeficiente Estandarizado	p	95% C.I. Beta		FIV	Ajuste del Modelo		
		Beta	EE			Beta	L.I.		L.S.	R	R <sup>2</sup>
1	Constante	3.87	0.076	----	<b>0.000</b>	3.72	4.02	1.000	0.72	0.52	0.51
	Sexo	-1.25	0.119	-0.720	<b>0.000</b>	-1.44	-1.02				
2	Constante	2.57	0.351	----	<b>0.000</b>	1.87	3.27	2.012	0.75	0.58	0.56
	Sexo	-0.83	0.159	-0.477	<b>0.000</b>	-1.14	-0.51				
3	CMJ (M2)	0.04	0.011	0.343	<b>0.000</b>	0.01	0.06	2.012	0.77	0.6	0.58
	Constante	1.69	0.492	----	<b>0.001</b>	0.71	2.66				
	Sexo	-0.55	0.190	-0.319	<b>0.004</b>	-0.93	-0.18				
4	CMJ (M2)	0.032	0.011	0.271	<b>0.004</b>	0.01	0.05	2.222	0.75	0.57	0.55
	Masa musc. total	0.032	0.013	0.266	<b>0.014</b>	0.01	0.05				
	Constante	0.696	0.270	----	<b>0.011</b>	0.16	1.23				
5	Masa musc. total	0.086	0.009	0.704	<b>0.000</b>	0.06	0.10	1.000	0.70	0.5	0.49
	Constante	0.449	0.258	----	<b>0.085</b>	-0.06	0.96				
5	Masa musc. total	0.054	0.011	0.446	<b>0.000</b>	0.03	0.07	1.915	0.75	0.57	0.55
	CMJ (M2)	0.044	0.011	0.373	<b>0.000</b>	0.02	0.06				

CMJ: salto contra-movimiento. FIV: factor de inflación de la varianza. L.I., L.S.: límite inferior y superior, respectivamente. C.I.: intervalo de confianza. EE: error estándar. Musc.: muscular. M2: medida dos.

Modelo 1, 2 y 3: variables explicativas ingresadas en los análisis: Sexo (Femenino: 1, Masculino: 0), Edad (años), CMJ (M2, cm), Mayor Handgrip miembro superior izquierdo (MSI, Kg), IPAQ-Actividad Intensa (METs/min/sem), IPAQ-Conductas Sedentarias (min/día), Masa muscular total (Kg y %).

Modelo 4 y 5: variables explicativas ingresadas en los análisis: CMJ (M2, cm), Mayor Handgrip MSI (Kg), IPAQ-Actividad Vigorosa (METs/min/sem), IPAQ-Conductas Sedentarias (min/día), Masa muscular total (Kg y %).

## 7. Discusión

### 7.1. Principales resultados

Es reconocida la importancia de seleccionar un adecuado protocolo de ejercicio para evaluar la CRF en el contexto particular en que se realiza la evaluación (Balady, 2010). En algunos casos eso supone la realización de test sub-máximos. En otros, habiéndose seleccionado la realización de un test máximo, por diferentes razones no se alcanza el límite fisiológico del individuo. En esas situaciones, es fundamental la determinación y análisis de parámetros denominados “secundarios o complementarios”, que permitan caracterizar la CRF. Entre esos parámetros se encuentra la pendiente de la eficiencia del consumo de oxígeno, OUES, en el que el presente trabajo ha puesto el foco (Pritchard et al., 2021). El OUES constituye una medida de la reserva cardiopulmonar, válida, reproducible y esfuerzo-independiente (Hollengberg, 2000; Balady, 2010). Inicialmente propuesto en el contexto del estudio en una población pediátrica con cardiopatía, fue posteriormente validado y aplicado al estudio de otros grupos poblacionales, siendo actualmente identificado como un indicador sensible de la CRF (Baba, 1999; Hollengberg, 2000; Balady, 2010). Sin embargo, al momento de diseñar el presente trabajo, restaba y resta aún, conocer diversos aspectos del OUES como indicador de la respuesta fisiológica humana durante el ejercicio.

En este contexto, nuestro trabajo contribuye, aportando dos resultados principales:

- **Primero.** El OUES se asoció con otros índices de la respuesta y recuperación cardio-respiratoria al ejercicio. A mayor OUES: (i) mayor eficiencia del consumo de oxígeno (mayor  $VO_2/WR$ ); (ii) más rápida la recuperación de la frecuencia cardíaca post esfuerzo (pendiente más negativa de la HR decay), y (iii) mayor eficiencia ventilatoria (menor pendiente de la relación  $VE/VCO_2$ ). Sin embargo, la fortaleza de las asociaciones indica que la información provista por el OUES, se asocia, pero no equivale, a la reportada por otros índices.
- **Segundo.** El OUES se asoció con la edad, el sexo, índices de composición corporal, índices de condición muscular de miembros superiores e inferiores y con el nivel de AF vigorosa semanal. El análisis integral mostró que el sexo (y no la edad), el salto contra-movimiento y la masa muscular total, en ese orden, fueron los principales factores explicativos de la variabilidad interindividual del OUES. En cambio, la masa grasa, tanto global como segmentaria, en niveles absolutos o relativos, no permitió explicar los niveles de OUES.

El OUES se asoció positivamente con la pendiente  $VO_2/WR$ , tanto antes como después de ajustar por edad y sexo. Consecuentemente, a mayor OUES, mayor  $VO_2$  para cualquier variación en tasa de trabajo (WR); es decir, mayor capacidad de responder a las demandas utilizando la vía aeróbica (mayor eficiencia energética). De igual manera, a mayor OUES, más rápida la reducción de la frecuencia cardíaca al finalizar el ejercicio (pendiente más negativa de la relación HR decay), lo que supone una más rápida recuperación post ejercicio. Finalmente, mayor OUES se asoció con una menor pendiente de la relación  $VE/VCO_2$ . La VE y  $VCO_2$  durante el ejercicio están acopladas ya que la primera es modulada por la producción metabólica y anaeróbica de  $CO_2$  (Balady, 2010). Una menor  $VE/VCO_2$  (indicador de la relación entre VE y  $VCO_2$ ), supone un mayor “ajuste” de la ventilación a las demandas de eliminación de  $CO_2$  indicando mayor eficiencia ventilatoria. Por tanto, el OUES se asoció a mayor eficiencia energética y ventilatoria.

La fortaleza de las asociaciones descritas previamente, apoya la complementariedad de los índices, más que su equivalencia o superposición en términos de la información que de ellos se obtiene. Integrar información de diferentes índices permite una valoración integral y precisa de la respuesta al ejercicio, la adecuada determinación de la capacidad del individuo de realizar ejercicio, así como identificar factores determinantes o explicativos de sus niveles. Esa información puede ser útil en distintos contextos, y para diferentes fines. En relación con lo anterior, en el trabajo de Coeckelberghs et al. (2016) se observó que el OUES,  $VO_2$  pico y  $VE/VCO_2$  serían complementarios en la determinación del pronóstico individual (Coeckelberghs et al., 2016). A su vez, Wagner et al. (2020) observaron que combinados con el  $VO_2$  pico, los parámetros complementarios o secundarios obtenidos en el CPET pueden contribuir, entre otras cosas, a mejorar la toma de decisiones clínicas, la elaboración de recomendaciones y/o planificación de ejercicio físico (Wagner et al., 2020).

Conocer la asociación entre características individuales y la CF resulta importante al momento de interpretar adecuadamente los resultados de una evaluación. El sexo, la edad e indicadores de la composición corporal (ej. peso, altura, índice de masa corporal, adiposidad), han sido variables frecuentemente estudiadas y propuestas como factores que pueden influenciar los datos obtenidos en un CPET. Además, los resultados de diferentes estudios muestran que el impacto de las diferentes características de los sujetos asociadas con variables del CPET es cambiante (ej. depende de otras características de los sujetos, del abordaje metodológico) (Barron et al., 2015). La integración de información de la asociación de diferentes variables en los resultados esperables en el CPET sería de utilidad, entre otras cosas para generar ecuaciones predictivas, necesarias para una más amplia utilización de la evaluación cardiopulmonar en contextos clínicos, de enseñanza y de investigación.

Como fue descrito, en este trabajo el OUES se asoció con la edad, el sexo, índices de composición corporal, índices de condición muscular y con la AF vigorosa semanal. Mayores niveles de OUES se observaron en asociación con el sexo masculino. Estos resultados son similares a los reportados en estudios previos (Hollengberg, 2000; Barron et al., 2015; Wagner et al., 2020). En una revisión sistemática de factores asociados y determinantes de la CRF, realizada por Zeiher (2019), los estudios (n=6) en los que se analizó la asociación entre CRF y sexo (población adulta general) mostraron mayores niveles de CRF en hombres (Zeiher, 2019). Las diferencias entre hombres y mujeres podrían ser explicadas (al menos parcialmente) por diferencias en tamaño y composición corporal (mayor grasa corporal en mujeres), así como por factores sociales y/o comportamentales (ej. diferencias en la AF realizada por hombres y mujeres) (Barron et al., 2015; Zeiher, 2019).

La asociación entre la edad y la CRF ha sido ampliamente estudiada, describiéndose una declinación de la CRF con el aumento de la edad a partir de haberse completado el desarrollo individual (adultez) (ACSM, 2022). Trabajos en los que se estudió la relación del OUES con la edad constataron una reducción lineal de ese parámetro en asociación con la edad, tanto en hombres como en mujeres, a la vez que identificaron diferencias sexo-dependientes en el “impacto” de la edad en la reducción de la CRF (Hollengberg, 2000; Zeiher, 2019). De acuerdo con lo anterior, en el presente trabajo se observó una asociación negativa entre edad y OUES. Interesa señalar que en algunos trabajos no se observó la referida asociación, lo que podría atribuirse a características de los sujetos estudiados (ej. nivel de AF realizada) y/o al rango etario considerado (Zeiher, 2019; Onofre et al., 2017). Los mecanismos que explican esa asociación no se conocen, pero podrían entenderse en el marco del declinar fisiológico estructural y funcional asociado al envejecimiento.

La fuerza prensil de la mano constituye un indicador útil en la evaluación de la condición muscular de miembros superiores, el que ha mostrado asociación con otros indicadores de la condición muscular, no sólo de miembros superiores (ej. fuerza máxima), sino también de miembros inferiores. Habitualmente se utiliza en la evaluación de deportistas (test relacionados con su desempeño o rendimiento), pero también ha mostrado valor en la estratificación de riesgo y pronóstico (menor fuerza prensil se asocia a mayor morbilidad y mortalidad) en sujetos de diferentes edades y niveles de AF. En relación con lo anterior, recientemente Zhou et al. (2021) demostraron que la fuerza prensil se asociaba con el  $VO_2$ máx y propusieron que esos resultados confirmaban el valor de la fuerza prensil como indicador de CF (relacionada con la salud), y brindaban información acerca de los posibles mecanismos explicativos del valor predictivo (de riesgo y pronóstico) atribuido a la fuerza prensil (Zhou et al., 2021). En acuerdo con el trabajo de Zhou y colaboradores (2021), en este trabajo, la fuerza prensil se asoció al OUES.

El CMJ se utiliza con diferentes objetivos en distintos contextos (ej. en la evaluación de deportistas y de no deportistas). Su validez en la evaluación de la condición muscular, sumado al hecho de los escasos requerimientos materiales para su instrumentación, explican que sea uno de los métodos de control y evaluación más extendido. En el presente trabajo, el CMJ se asoció con la CRF y en el análisis integral fue uno de los principales factores explicativos de la variabilidad interindividual del OUES.

La asociación de la CRF con la masa magra (analizado más adelante) y con indicadores de la condición muscular (descritos) podría explicarse porque tener mejor CRF posibilita un mayor desarrollo y capacidad muscular, y/o porque el desarrollo muscular impone demandas al sistema cardiovascular que resultan en aumento de la CRF. Trabajos futuros podrían contribuir a clarificar lo anterior.

Diferentes estudios han analizado la relación entre la CRF y la composición corporal, en forma directa y/o al considerar la composición corporal al momento de identificar factores explicativos de la asociación de la CRF con otros factores (ej. sexo). En el presente trabajo el OUES se asoció con distintos índices de composición corporal, en tanto que el análisis integral de diferentes variables identificó a la masa muscular total entre los principales factores explicativos de la variabilidad interindividual del OUES. En contraposición, la masa grasa, tanto global como segmentaria, en niveles absolutos o relativos, no permitió explicar los niveles de OUES. Estos resultados, son parcialmente coincidentes (y/o comparables) con los de estudios previos, en los que se analizó la relación entre características antropométricas y la CRF (Hollengberg, 2000; Balady, 2010; Barron et al., 2015; Zeiher, 2019). En la mayoría de los estudios disponibles, la medida antropométrica considerada fue el índice de masa corporal (IMC). La mayoría (pero no todos los trabajos) identificaron una asociación negativa entre IMC y CRF. En relación con lo anterior, el IMC presenta reconocidas limitaciones como indicador de la composición corporal, ya que un mismo IMC puede estar determinado por una elevada masa magra o por elevada masa grasa. En este sentido, resultados disponibles muestran una relación inversa entre CRF y masa grasa, en tanto que la masa magra y el peso se asocian positivamente con la CRF (Hollengberg, 2000; Balady, 2010; Barron et al., 2015; Zeiher, 2019). En este contexto, los resultados del presente trabajo apoyan la asociación entre CRF (analizada considerando el OUES) y composición corporal (considerando diferentes indicadores), a la vez que destacan el “mayor valor relativo” de la masa magra como factor explicativo de la variación interindividual de la CRF. Consecuentemente, sería la determinación de la masa magra (más que otros indicadores de la composición corporal) la que nos permitiría “aproximarnos u orientarnos” acerca de la CRF, o bien contribuiría a explicar resultados de la evaluación de la CRF. Asimismo, de acuerdo a lo observado, podría

postularse que un aumento de la masa muscular podría formar parte de las estrategias para mejorar la CRF, o que los resultados de intervenciones tendientes a mejorar la CRF podrían “visualizarse” analizando cambios musculares.

La relación entre la AF y la CRF ha sido ampliamente discutida y documentada (Gibson et al., 2018; ACSM, 2022). En el trabajo de revisión de Zeiher y colaboradores (2019) que incluyó estudios que consideraron medidas objetivas y subjetivas de la AF (incluyendo la modalidad empleada en el presente trabajo) se refleja la relación entre el CRF y la AF, encontrándose, en la mayoría de los estudios, una asociación positiva significativa entre ambas variables (Zeiher, 2019). Más aún, casi todas las exposiciones a AF mostraron esa asociación (Zeiher, 2019). Por otra parte, en el trabajo de Wagner et al. (2020) en el que la AF fue objetivada mediante acelerometría (acelerómetro triaxial colocado en la muñeca), se encontró que la intensidad “necesaria” para observar cambios asociados en el  $VO_2$ máx era de al menos 4 METs (Wagner et al., 2020). Al analizar parámetros complementarios, o sub-máximos del CPET, en particular el OUES, los autores encontraron similares asociaciones con los niveles de AF moderada y vigorosa. En cambio, al considerar AF leve, no se observaron asociaciones significativas con parámetros indicadores de la CRF. Según los autores intensidades bajas de AF constituirían un estímulo insuficiente para aumentar la captación de oxígeno a nivel sub-máximo o mejorar la eficiencia de la captación de oxígeno (Wagner et al., 2020). En acuerdo con los hallazgos de Wagner y colaboradores (2020), en este trabajo el OUES se asoció con la AF vigorosa realizada por el sujeto según auto reporte (IPAQ). Las diferencias en los resultados entre los trabajos podrían explicarse por diferencias en las características de las poblaciones estudiadas, tal como lo sugieren Wagner y colaboradores (2020) al mencionar que su población de estudio era una población adulta, saludable (al igual que la del presente trabajo) y aseverar que los resultados podrían ser diferentes en otros grupos poblacionales (ej. sujetos sedentarios) (Wagner et al., 2020).

Importa señalar que en la relación AF-CRF, la AF ha sido considerada la variable modificable y se ha propuesto que realizar AF (de determinado volumen, y particularmente intensidad) tendría un impacto positivo para el individuo y le permitiría alcanzar su nivel más alto posible de CRF, el cual sería dependiente de o explicado por otros factores (algunos de los cuales fueron analizados en el presente trabajo) (Zeiher, 2019). Sin embargo, aunque las características de la relación antes descrita entre AF y CRF están ampliamente aceptadas, no se puede descartar que la misma sea inequívoca, de manera que la CRF del sujeto sea un factor determinante de su AF.

En suma, en conjunto, los resultados de este trabajo apoyan, por un lado, la complementariedad de diferentes parámetros derivados del CPET, los cuales, si bien mostraron asociación, dadas las características de ésta, no serían equivalentes, sino que

brindarían diferente información a la vez que tendrían diferentes factores explicativos. La integración de la información de los diferentes parámetros permitiría una más precisa determinación y caracterización de la CRF. Por otro lado, los resultados obtenidos, son consistentes con la propuesta de que los componentes de la CF no corresponderían a categorías mutuamente excluyentes (ej. relacionados con la salud o con habilidades específicas y/o desempeño deportivo), a la vez que componentes de una misma categoría no serían independientes, sino que estarían relacionados. Esto último resulta de particular importancia ya que por un lado apoyaría el valor de un abordaje integral de los diferentes componentes de la CF al momento de planificar intervenciones, no sólo en casos en los que se busca su mejoría u optimización en términos globales, sino también cuando el objetivo de la intervención sea mejorar un componente en particular (ej. importancia de “trabajar” la condición muscular en intervenciones cuyo objetivo “inicial o primario” es mejorar la CRF). Por otra parte, teniendo en cuenta la relación entre los diferentes componentes de la CF, a partir de la evaluación de alguno de ellos podría obtenerse un “aproximación” al estado de otros. Esto sería de particular importancia en situaciones en las que por diferentes razones la disponibilidad de recursos para la evaluación integral de la CF sea limitada (ej. por el entorno de la evaluación; razones de tiempo, equipamiento y/o recursos humanos disponibles).

## 7.2. Fortalezas y limitaciones

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, deben analizarse a la luz de diversas fortalezas y limitaciones del abordaje metodológico.

Primero, con respecto a los registros cabe señalar que a la hora de evaluar variables de CPET, de la condición física y/o los niveles de actividad física, definimos test, formularios y/o protocolos que necesariamente influyen sobre los resultados obtenidos. A manera de ejemplo, los niveles de VO<sub>2</sub>pico son los obtenidos en una prueba en cicloergómetro (bicicleta fija), los que se conoce que son, en términos generales, algo inferiores a los obtenidos en pruebas realizadas cuando la persona corre sobre un tapiz rodante. Sin embargo, con respecto a las pruebas en tapiz rodante, el empleo de pruebas en bicicleta permite (i) minimizar el riesgo de caídas, (ii) controlar con mayor precisión la carga externa impuesta a la persona (ya que no se agrega la carga determinada por el propio peso de la persona), y de esta manera (iii) estandarizar más fácilmente los protocolos, lo que aumenta la capacidad de comparar entre individuos, (iv) incrementar la calidad de las señales biológicas obtenidas (ej. por minimizarse el ruido). Como otro ejemplo, empleamos una balanza de bioimpedancia que incluye algoritmos propios para calcular la composición corporal, no visibles para el usuario; lo que podría diferir con los algoritmos (y resultados) obtenidos con otras balanzas. Segundo, el grupo estudiado corresponde a sujetos sanos, menores de 55 años, con escasa exposición

a factores de riesgo cardiovascular y consumo de fármacos, de manera que los resultados no pueden ser generalizados ni extrapolados a otras poblaciones. En tal sentido, trabajos futuros serán necesarios para analizar la validez de los hallazgos observados, en poblaciones con características diferentes a las de los sujetos incluidos en este trabajo. Tercero, el trabajo es un estudio de corte transversal, por lo que las asociaciones no pueden ser analizadas en términos de causalidad. Cuarto, a la hora de realizar análisis de correlación, no se realizaron ajustes del valor de probabilidad al estar realizándose múltiples correlaciones. Sin embargo, a la hora de presentar los resultados se escogió presentar el valor de  $r$  y  $p$  (y no sólo si la  $p$  es mayor o menor a un umbral), como forma de que el lector pueda sacar sus propias conclusiones con respecto a la fortaleza y significancia de la asociación. Por otra parte, cabe señalar, que las correlaciones fueron realizadas como etapa previa, a la realización de regresiones lineales múltiples, lo que, en definitiva, subsana esta falta de correcciones. Por último, nuestro trabajo no incluyó análisis de 'modulación o moderación', lo que impidió analizar si, por ejemplo, la capacidad explicativa de una variable, con respecto al OUES podría ser dependiente del valor de otro cofactor por ej. que, a mayor o menor edad, la masa muscular o la fuerza explique en mayor o menor medida la variación del OUES. Trabajos futuros serán diseñados para evaluar estos aspectos.

## 8. Conclusión

El OUES se asoció positivamente con la relación  $VO_2/WR$ ; mayor OUES se asocia con un mayor consumo de oxígeno para cualquier variación en la tasa de trabajo (WR); es decir, con mayor eficiencia de consumo de oxígeno. Mayor OUES se asoció con una recuperación más rápida de la frecuencia cardíaca post esfuerzo (pendiente más negativa de la relación HR decay). Finalmente, mayor OUES se asoció con menor pendiente de la relación  $VE/VCO_2$ , lo que se asocia con mayor eficiencia ventilatoria. Los niveles de fortaleza de asociación indican que la información provista por el OUES, se asocia, pero no equivale, a la reportada por otros índices submáximos; es decir, los niveles de estos índices no son determinados estrictamente por los mismos factores.

El OUES se asoció de manera bi-variada con la edad y el sexo, así como con diferentes índices de composición corporal, índices de condición muscular de miembros superiores e inferiores, y nivel de AF intensa (vigorosa) semanal. El análisis integral de las capacidades explicativas evidenció que el sexo (y no la edad), la fuerza de miembros inferiores (salto contra-movimiento) y la masa muscular total, en ese orden, fueron los principales factores explicativos de la variabilidad interindividual del OUES. La masa grasa corporal, tanto global como segmentaria, en nivel absoluto o relativo, no permitió explicar los niveles de OUES.

## Referencias

- Abeytua, M., Berenguel, A., & Ignacio., C. J. (2019). *Comprendiendo la Ergometría con gases*. Madrid: Omnicordis, SLP.
- ACSM. (2022). *ACSM. Manual para la valoración y prescripción del ejercicio*. Indianapolis, EEUU: Wolters Kluwer.
- Arena R, A. J. (2009). La capacidad aeróbica máxima y la pendiente de la eficiencia del consumo de oxígeno como predictores de la rigidez de las grandes arterias en sujetos aparentemente sanos. *J Cardiopulm Rehabil Anterior*, págs. 248-254.
- Baba, R. (1996). Oxygen uptake efficiency slope: a new index of cardiorespiratory functional reserve derived from the relation between oxygen uptake and minute ventilation during incremental exercise. *Journal of the American College of Cardiology*.
- Baba, R. T. (1999). Oxygen uptake efficiency slope as a useful measure of cardiorespiratory functional reserve in adult cardiac patients. . *European journal of applied physiology and occupational physiology*, págs. 397–401.
- Baba, R. T. (2010). Robustness of the oxygen uptake efficiency slope to exercise intensity in patients with coronary artery disease. . *Nagoya journal of medical science*, págs. 83-89.
- Balady, G. J. (2010). American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee of the Council on Clinical Cardiology, Council on Epidemiology and Prevention, Council on Peripheral Vascular Disease, & Interdisciplinary Council on Quality of Care and. *Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association*. , 191–225.
- Barron, A., Dhutia, N., Gläser, S., Koch, B., Ewert, R., Obst, A. D., . . . Wensel, R. (2015). Physiology of oxygen uptake kinetics: Insights from incremental cardiopulmonary exercise testing in the Study of Health in Pomerania. *IJC Metabolic & Endocrine*.
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. . Champaign, IL, US: Human Kinetics.
- Caspersen CJ, P. K. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep*.
- Coeckelberghs, E., Buys, R., Goetschalckx, K., Cornelissen, V.´., & Vanhees, L. (2016). Prognostic value of the oxygen uptake efficiency slope and other exercise variables in patients with coronary artery disease. *European Journal of Preventive Cardiology*, 237-244.
- Cole, C. R. (1999). Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *The New England journal of medicine*, 1351–1357.

- D. Riebe, J. K. (2017). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. En *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Filadelfia: Wolters Kluwer.
- Demo, R. S. (2007). Young football players aerobic performance in sub-maximum exercise with exhaustion at a moderate altitude without acclimation: experience in El Condor. *Revista de la Facultad de Ciencias Medicas*.
- Ezzatvar, Y. I.-V.-H. (2021). Cardiorespiratory fitness measured with cardiopulmonary exercise testing and mortality in patients with cardiovascular disease: A systematic review and meta-analysis. *Journal of sport and health science*.
- Fjøtooft, I. (2000). Motor Fitness in Pre-Primary School Children: The EUROFIT Motor Fitness Test Explored on 5-7-Year-Old Children. *Pediatric Exercise Science*.
- Fletcher, G. F. (2013). Exercise Standards for Testing and Training. "Exercise Standards for Testing and Training." *Circulation* 128, 873-934.
- Gibson, A., Wagner, D., & Heyward, V. (2018). *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription. 8th Edition*. Human Kinetics.
- Green, S. (1991). How Many Subjects Does It Take To Do A Regression Analysis. *Multivariate Behav. Multivariate Behav Res*, 499-510.
- Guazzi, M., Bandera, F., Ozemek, C., Systrom, D., & Arena, R. (2017). Cardiopulmonary Exercise Testing. What is its value? *JOURNAL OF THE AMERICAN COLLEGE OF CARDIOLOGY*, 1-19.
- Hansen JE, S. D. (1984). Predicted values for clinical exercise testing. *Am Rev Respir Dis*.
- Hansen, J., Sue, D., & Ami Oren, W. K. (1987). Relación entre el consumo de oxígeno y la tasa de trabajo en hombres normales y hombres con trastornos circulatorios. *La Revista Americana de Cardiología*, 669-674.
- Hollengberg, M. (2000). Oxygen Uptake Efficiency Slope: An Index of Exercise Performance and Cardiopulmonary Reserve Requiring Only Submaximal Exercise. *Journal of the American College of Cardiology*, 194-201.
- Hulley SB, C. S. (2013). *Designing clinical research : an epidemiologic approach*. 4th ed. Philadelphia. *Lippincott Williams & Wilkins*, 79.
- Hunter, G. R. (2004). Aerobic fitness, physiologic difficulty and physical activity in Black and White women. *International journal of obesity and related metabolic disorders*.
- IPAQ. (2005). *Guidelines for Data Processing and Analysis of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) Short and Long Forms*.
- Jehn, M. H.-T. (2009). The 6-min walk test in heart failure: is it a max or sub-maximum exercise test? *European journal of applied physiology*,.
- Kodama, S. S. (2009). Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. *JAMA*.

- Kriemler, S. P.-F. (2009). Cross-validation of bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in a representative sample of 6- to 13-year-old children. . *European journal of clinical nutrition*, págs. 619–626.
- Lim, J. S. (2009). Cross-calibration of multi-frequency bioelectrical impedance analysis with eight-point tactile electrodes and dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of body composition in healthy children aged 6-18 years. *Pediatrics international: official journal of the Japan Pe-diatric Society*, 263–268.
- Ling, C. H. (2011). Accuracy of direct segmental multi-frequency bioimpedance analysis in the assessment of total body and segmental body composition in middle-aged adult population. *Clinical nutrition*, 610-615.
- López Chicharro, J., & Vaquero Fernández, A. (2006). *Fisiología del ejercicio*. Buenos Aires; Madrid: Médica Panamericana.
- Lumley T, D. P. (2002). The importance of the normality assumption in large public health data sets. *Annu Rev Public Health.*, 151-69.
- Manonelles, P. (2016). Pruebas de esfuerzo en medicina del deporte. Documento de consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte. *Arch Med Deporte*, 5-83.
- Markovic, G. D. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of strength and conditioning research*, 551-555.
- Morinder, G. M. (2009). Six-minute walk test in obese children and adolescents: reproducibility and validity. . *Physiotherapy research international : the journal for researchers and clinicians in physical therapy*, págs. 91–104.
- Morrow, J., Mood, D., Weimo, Z., & Kang, M. (2022). *Measurement and Evaluation in Human Performance*. Human Kinetics.
- Nanas, S. N.-N. (2006). VE/VCO<sub>2</sub> slope is associated with abnormal resting haemodynamics and is a predictor of long-term survival in chronic heart failure. *European journal of heart failure*, págs. 420-427.
- Onofre, T., Oliver, N., Carlos, R., Felismino, A. C., Silva, E., & Bruno, S. (2017). Oxygen uptake efficiency slope as a useful measure of cardiorespiratory fitness in morbidly obese women. *Plos one*, 1-13.
- Ovando, A. C. (2011). Avaliação da aptidão cardiopulmonar em indivíduos com hemiparesia após acidente vascular encefálico. . *Arquivos Brasileiros De Cardiologia*, págs. 140-147.
- Poggio, R. A. (2010). Prediction of severe cardiovascular events by VE/VCO<sub>2</sub> slope versus peak VO<sub>2</sub> in systolic heart failure: a meta-analysis of the published literature. *American heart journal*, págs. 1004-1014.

- Pritchard, A., Burns, P., Correia, J., Jamieson, P., Moxon, P., Purvis, J., . . . Sylvester, K. P. (2021). ARTP statement on cardiopulmonary exercise testing. *BMJ Open Resp Research*, 1-26.
- Razvi, Y., & Ladie, D. (2023). *Prueba de ejercicio cardiopulmonar*. Florida: StatPearls.
- Riley M, W. K. (1996). Muscle substrate utilization from alveolar gas exchange in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*.
- Roger VL, G. A.-J. (2012). Heart Disease and Stroke Statistics. *2012 update: a report from the American Heart Association*.
- Ross, R. B. (2016). American Heart Association Physical Activity Committee of the Council on Lifestyle and Cardiometabolic Health, Council on Clinical Cardiology. *American Heart Association*., págs. 653-699.
- Ruiz, J. R.-P.-R.-P.-R. (2011). Field-based fitness assessment in young people: the ALPHA health-related fitness test battery for children and adolescents. *British Journal of Sports Medicine*, 518-524.
- Sietsema, K. E. (2020). Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications. En K. E. Sietsema, Sietsema, K. E., Stringer, W. W., Sue, D. Y., & Ward, S. (2020). *Wasserman & Whipp's: Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications (6th ed.)*. Wolters Kluwer Health.
- Stenholm S, M. N. (2014). Obesity and muscle strength as long-term determinants of all-cause mortality — a 33-year follow-up of the Mini-Finland Health Examination Survey. *Int J Obes*.
- Takken, T. B. (2017). Cardiopulmonary Exercise Testing in Pediatrics. *Annals of the American Thoracic Society* 14(Supplement\_1), S123-S128.
- Tsigilis, N. H. (2002). TEST-RETEST RELIABILITY OF THE EUROFIT TEST BATTERY ADMINISTERED TO UNIVERSITY STUDENTS.
- Utter, A. C. (2010). Evaluation of multifrequency bioelectrical impedance analysis in assessing body composition of wrestlers. *Medicine and science in sports and exercise*, 361-367.
- Van de Veire, N. R. (2006). VE/VCO<sub>2</sub> slope and oxygen uptake efficiency slope in patients with coronary artery disease and intermediate peakVO<sub>2</sub>. *European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation : official journal of the European Society of Cardiology, Working Groups on Epidemiology & Prevention and Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology*, págs. 916–923.
- Wagner, J., Knaier, R., Infanger, D., Königstein, K., Klenk, C., Carrard, J., . . . Schmidt-truckass, A. (2020). Novel CPET Reference Values in Healthy Adults: Associations with Physical Activity. *Clinical Sciences*, 26-37.

- Wasserman K, B. W. ( 1990). Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. *Circulation.*, II-14 –II-30.
- Wasserman K, S. D. (1996). Coupling of external to cellular respiration. *Exercise Gas Exchange in Heart Disease. Armonk.*
- Wasserman K, W. B. (1975). Exercise physiology in health and disease. . *Am Rev Respir Dis.*
- Zeihner, J. O. (2019). Correlates and Determinants of Cardiorespiratory Fitness in Adults: a Systematic Review. *Sports medicine* , 39.
- Zhou, M., Zha, F., Chen, Y., Liu, F., Zhou, J., Jianjun, L., . . . Wang, Y. (2021). Handgrip Strength-Related Factors Affecting Health Outcomes in Young Adults: Association with Cardiorespiratory Fitness. *Hindawi. BioMed Research International.*

## Anexos

1. **ANEXO 1:** Contraindicaciones para prueba cardiopulmonar de ejercicio máxima, limitada por los síntomas, imagen extraída de (ACSM, 2022) Página 244.

### Contraindicaciones absolutas

- Infarto agudo de miocardio en los últimos 2 días
- Angina inestable en curso
- Arritmia cardíaca no controlada con compromiso hemodinámico
- Endocarditis activa
- Estenosis aórtica grave sintomática
- Insuficiencia cardíaca descompensada
- Embolia pulmonar aguda, infarto pulmonar o trombosis venosa profunda
- Miocarditis o pericarditis agudas
- Disección/rotura de la aorta
- Discapacidad física que impide la realización de pruebas adecuadas y seguras

### Contraindicaciones relativas

- Estenosis obstructiva conocida de la arteria coronaria principal izquierda
- Estenosis aórtica moderada a grave con relación incierta con los síntomas
- Taquiarritmias con frecuencias ventriculares no controladas
- Bloqueo cardíaco avanzado o completo adquirido
- Ictus (accidente cerebrovascular) o ataque isquémico transitorio recientes
- Deterioro mental con capacidad limitada para cooperar
- Hipertensión en reposo con sistólica > 200 mm Hg o diastólica > 110 mm Hg
- Afecciones médicas no corregidas, como anemia significativa, desequilibrio electrolítico grave e hipertiroidismo

## 2. ANEXO 2: Aval del comité de Ética de del Centro Hospitalario Pereira Rossell

   **Dirección General  
COMITÉ DE ÉTICA  
EN INVESTIGACIÓN**

**COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN**

Montevideo, 4 de Abril de 2022.

**A: Dirección General del Centro Hospitalario Pereira Rossell  
Dra. Victoria Lafluf**

**De: Integrantes del Comité de Ética en investigación**

**INTEGRANTES**

Coordinadora:  
Prof. Dra. Gabriela Garrido

Dra. Beatriz Ceruti  
Dr. Bruno Cuturi  
Dra. Mariana Malet.  
Dra. Olga Larrosa.  
Quím. Farm. Fernando Antunez.  
Lic. Enf. Scheley Santos.  
Prof. Adj. Dra. Virginia Kanopa  
Asist. Clínica. Dra. Clara Olmedo  
Prof. Adj. (I) Dra. Josefina Tarigo  
Lic. Psic. Ruben Garcia.  
Lic. Psic. Lourdes Villafaña.

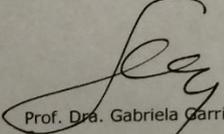
Por la presente se deja constancia que el Comité de Ética en Investigación considera aprobada la Version 2.0 del proyecto, " **EVALUACIÓN INTEGRAL DE COMPONENTES DE LA CONDICIÓN FÍSICA Y PATRONES DE CONDUCTA SEDENTARIA, ACTIVIDAD FÍSICA Y SUEÑO: ASOCIACIÓN CON EL ESTADO CARDIOVASCULAR**". Resp.: Dra. Yanina Zócalo . Investigadores participantes: Dres. Andrés García-Bayce, Pedro Chiesa, Carlos Magallanes, Daniel Bia. Dado que los investigadores han incorporado las enmiendas solicitadas.

Sin otro particular, saludo a usted atentamente.

Secretaria  
Obst. Part. Julie Nathalie Canobra  
[comite.etica.investigacion@gmail.com](mailto:comite.etica.investigacion@gmail.com)

**Recepción de Protocolos**  
Dirección General del  
Centro Hospitalario Pereira Rossell  
7º Piso - Tel/Fax: + (598) 2 707 5224  
Br. Artigas 1550 C.P. 11600  
[direccion.pereirarossell@asse.com.uy](mailto:direccion.pereirarossell@asse.com.uy)  
Montevideo - Uruguay

**Comité de Ética en Investigación**  
Centro Hospitalario Pereira Rossell  
Tel/Fax: +(598) 2707 52 24  
[e-mail:comite.etica.investigacion@gmail.com](mailto:e-mail:comite.etica.investigacion@gmail.com)

  
Prof. Dra. Gabriela Garrido  
Coordinadora

### 3. ANEXO 3: Hoja de información y consentimiento informado, Adultos



#### Consentimiento informado (Adultos) V 2.0

**Proyecto: "Evaluación integral de componentes de la condición física, patrones de conducta sedentaria, actividad física y sueño: asociación con el estado cardiovascular en niños, adolescentes y adultos"**

Investigadora responsable:

Dra. Yanina Zócalo

Responderá sus interrogantes acerca del estudio: Tel. 099-840586; e-mail: yaninazocalo@gmail.com  
yana@fmed.edu.uy

Investigadores participantes:

Dres. Andrés García-Bayce, Pedro Chiesa, Carlos Magallanes, Daniel Bia.

**Lea atentamente este documento y pregunte todo lo que desee antes de firmarlo.**

#### ¿En qué consiste este proyecto?

En estudiar la relación del sistema cardiovascular con la condición física, el sueño y la actividad física y sedentaria. Contribuirá al conocimiento de la relación entre condición física, el movimiento y la salud.

#### ¿Qué se evaluará y qué tendrá que hacer?

- (1) Su actividad física, conducta sedentaria y sueño se evaluarán analizando información obtenida con acelerómetros, dispositivos similares a un reloj (acelerómetros) que se colocarán en su muñeca, cintura, muslo y/o tobillo. Cada dispositivo tendrá que usarlo durante un mínimo de 7 días.
- (2) Su condición física se estudiará con diferentes pruebas. El evaluador definirá cual/cuales se realizará (o realizarán) teniendo en cuenta características suyas (ej. edad, actividad que realiza), los equipos disponibles y las condiciones en las que se realiza el estudio (ej. campo o laboratorio). Se podrá evaluar:
  - Composición corporal (ej. cantidad de grasa y músculo): se determinará a partir de su peso, altura, perímetros (ej.: cintura, cadera, brazo, muslo), pliegues cutáneos (ej.: abdomen, pierna, muslo) y diámetros (ej.: femoral, humeral), medidos usando distintas herramientas (ej. balanzas tallímetro).
  - Capacidad cardio-respiratoria: Se estudiará la capacidad de su sistema cardiovascular y respiratorio de responder al ejercicio. Se le podrá pedir que realice un esfuerzo máximo (hasta el agotamiento). Durante la evaluación (también antes y después) se podrán registrar distintos indicadores de la actividad, de su respuesta y/o de los cambios asociados a la realización de ejercicio (ejemplo: frecuencia cardíaca, presión arterial, gases respiratorios, percepción de esfuerzo). Se le podrá pedir que ejercite en bicicleta o cinta de correr. También se le podrá pedir que realice ejercicio sin usar equipos, como en las pruebas en las que se mide el tiempo en que recorre una distancia o en la distancia que recorre en un determinado tiempo. Al igual que en la evaluación de otros componentes, las pruebas constarán de una entrada en calor seguida del ejercicio y posterior recuperación.
  - Capacidad muscular (o músculo-esquelética): Las pruebas se harán con su propio peso y/o usando equipos (ej. mancuernas, barras, máquinas de ejercicio). Se le podrá pedir que realice varias repeticiones de un ejercicio y/o que lo haga una sola vez. Entre las pruebas posibles están: saltos, lagartijas o abdominales. También se podrá evaluar su velocidad y agilidad (ej. carreras de ida y vuelta)
  - Flexibilidad: Se podrá evaluar el movimiento de diferentes articulaciones (indicador de flexibilidad). En algunos casos se medirá directamente usando instrumentos específicos (ej. goniómetro, flexómetro).

- **Coordinación y equilibrio** Se estudiará con diferentes pruebas. Por ejemplo, se evaluará su capacidad para mantenerse parado, quieto y para mantenerse estable al realizar distintos movimientos.
- (3) La evaluación cardiovascular: primeramente, se le pedirá que permanezca en reposo, acostado durante 8-10 minutos. Se medirá la frecuencia cardíaca y la presión arterial en el brazo. Luego se evaluará/n:
- **arterias carótidas (cuello) y femorales (ingle) con ecografía** se determinará si hay depósitos y/u obstrucciones y se obtendrá información de las arterias (estructura y función) y del flujo sanguíneo
  - **la presión en la aorta (presión central), indicadores de rigidez y reflexiones de onda** a partir del registro de la onda del pulso de la arteria radial obtenida con un sensor similar a un lápiz (tonómetro) apoyado (durante 20-30 segundos) en la piel sobre la arterial (muñeca).
  - **la rigidez de la aorta y arterias del miembro superior mediante la velocidad de la onda del pulso**, a partir del registro del pulso de las arterias carótida, femoral y radial (tonómetro) y la medición de la distancia entre los sitios de registro con una cinta métrica ubicada sobre la superficie corporal.
  - **el índice tobillo-brazo (indica obstrucción y/o rigidez arterial)**: midiendo presión en tobillos y brazos.
  - **el gasto cardíaco y resistencias vasculares periféricas (cardiografía por impedancia)**: Para ello se colocarán sobre la piel sensores adhesivos similares a los usados en registros de electrocardiograma.
  - **la reactividad (capacidad de contraerse y dilatarse) de la arteria del brazo**. Se colocará en el antebrazo izquierdo un manguito de presión que se inflará por encima de su presión arterial máxima. Se mantendrá inflado 3-5 minutos y luego se desinflará. Durante todo el estudio se registrará con ecografía la arteria braquial. Podrá tener sensación de hormigueo y/o de calor durante la evaluación.

Se realizará una breve entrevista médica, para conocer datos de su historia y antecedentes familiares.

Las evaluaciones terminarán al alcanzar los criterios de finalización correspondientes, si se observan signos o síntomas considerados indicadores de suspensión y en cualquier momento que usted lo desee

**¿Existe algún riesgo por participar de este estudio?**

Las evaluaciones son estudios de rutina, seguros, no-invasivos, inoocuos (no dañan su cuerpo, no someten a radiación), no requieren inyectar sustancias, ingerir preparaciones o fármacos. Todas se harán bajo apropiada supervisión profesional. En relación con la realización de ejercicio se puede presentar (transitoriamente) síntomas como cansancio muscular, mareo, angina de pecho, dolor en las piernas o signos como presión arterial anormal o cambios en el ritmo cardíaco. Situaciones, eventos o complicaciones graves (ej. isquemia/infarto al corazón) son excepcionales (y vinculados a ciertas condiciones de enfermedad subyacentes). El equipo evaluador tomará las medidas necesarias para minimizar los riesgos de complicaciones. Asimismo, si se presentaran el equipo tiene la capacitación y los medios para responder rápida y adecuadamente. No se han descrito otras molestias o riesgos más que las descritas.

**¿Cuáles son los beneficios?**

Se obtendrá información detallada de su condición física, estado cardiovascular al momento del estudio y de su actividad física, conducta sedentaria y características de su sueño (descanso).

**¿Será mi información privada?**

Toda la información obtenida será confidencial y usada únicamente por el equipo de investigación.

**¿Tiene algún costo participar en esta investigación? ¿Me pagarán por participar?**

No habrá ningún costo, ni remuneración económica asociados con la participación en esta investigación.

**¿Puedo renunciar a participar?**

Si, puede solicitar abandonar el estudio en cualquier momento, sin ningún perjuicio para usted.



### Consentimiento

Dejo constancia de mi consentimiento para que se me realice el mencionado estudio sobre la actividad física, condición física y estudio cardiovascular.

Este consentimiento es dado libremente y por mi voluntad, en pleno uso de mis facultades mentales y siendo legalmente apto para esta determinación, luego de haber recibido las explicaciones relacionadas a los estudios diagnósticos a realizarse y de haberseme dado la oportunidad de realizar consultas y de haberseme respondido las mismas.

Declaro que se me ha informado de los posibles riesgos, inconvenientes, molestias y beneficios derivados de la evaluación, y que he leído el documento de información y el presente documento.

Autorizo a los responsables del proyecto a utilizar los resultados del estudio con fines de investigación y/o desarrollo; habiéndome dado seguridad de que no se me identificará en las presentaciones o publicaciones que puedan realizarse y de que los datos relacionados con su privacidad se manejarán en forma confidencial.

Su firma en este consentimiento informado indica que entendió la información en cuanto a su participación en este estudio y que consiente voluntariamente a participar en él.

Nombre del Participante:

Cédula de Identidad:

Fecha de Nacimiento:

Dirección:

Autorizo que los registros sean utilizados para investigación científica:

Sí autorizo.

No autorizo.

Autorizo a que pueda ser re-contactado telefónicamente para recibir información adicional y/o coordinar la entrega de los resultados diagnósticos:

Sí, quiero que me contacten.

No, no quiero que me contacten.

Teléfono y e-mail de contacto (se solicita brindar teléfono fijo y además teléfono móvil):

---

Firma y Aclaración:

---

Investigador responsable:

Firma y Aclaración:

---

#### 4. ANEXO 4: Consentimiento y asentimiento informado del menor.



##### Consentimiento informado V2.0

**Proyecto: "Evaluación integral de componentes de la condición física, patrones de conducta sedentaria, actividad física y sueño: asociación con el estado cardiovascular en niños, adolescentes y adultos"**

Investigadora responsable: Dra. Yanina Zócalo

Responderá sus interrogantes acerca del estudio: Tel. 099-840586; e-mail: yaninazocalo@gmail.com yana@fmed.edu.uy

Investigadores participantes: Dres. Andrés García-Bayce, Pedro Chiesa, Carlos Magallanes, Daniel Bia.

**Lea atentamente este documento y pregunte todo lo que desee antes de firmarlo.**

##### ¿En qué consiste este estudio?

En estudiar la relación del sistema cardiovascular con la condición física, el sueño y la actividad física y sedentaria. Contribuirá al conocimiento de la relación entre condición física, el movimiento y la salud.

##### ¿Qué se le evaluará y qué tendrá que hacer el menor participante?

- (1) Su actividad física, conducta sedentaria y sueño se evaluarán analizando información obtenida con acelerómetros, dispositivos similares a un reloj (acelerómetros) que se colocarán en su muñeca, cintura, muslo y/o tobillo. Cada dispositivo tendrá que usarlo durante un mínimo de 7 días.
- (2) Su condición física se estudiará mediante diferentes pruebas. El evaluador definirá cual/cuales se realizará (o realizarán) teniendo en cuenta características suyas (ej. edad, actividad que realiza), los equipos disponibles y las condiciones en las que se realiza el estudio (ej. campo o laboratorio). Se podrá evaluar:
  - Composición corporal (ej. cantidad de grasa y músculo): se determinará a partir de su peso, altura, perímetros (ej: cintura, cadera, brazo, muslo), pliegues cutáneos (ej: abdomen, pierna, muslo) y diámetros (ej: femoral, humeral), medidos usando distintas herramientas (ej. balanzas tallimetro).
  - Capacidad cardío-respiratoria: Se estudiará la capacidad de su sistema cardiovascular y respiratorio de responder al ejercicio. Se le podrá pedir que realice un esfuerzo máximo (hasta el agotamiento). Durante la evaluación (también antes y después) se podrán registrar distintos indicadores de la actividad, de su respuesta y/o de los cambios asociados a la realización de ejercicio (ejemplo: frecuencia cardíaca, presión arterial, gases respiratorios, percepción de esfuerzo). Se le podrá pedir que ejercite en bicicleta o cinta de correr. También se le podrá pedir que realice ejercicio sin usar equipamiento, como en las pruebas en las que se mide el tiempo en que recorre una distancia o en las que se mide la distancia que recorre en un determinado tiempo. Todas las pruebas tendrán una etapa de entrada en calor seguida de la realización del ejercicio y posterior recuperación. Las mismas etapas se consideran al evaluar otros componentes.
  - Capacidad muscular (o músculo-esquelética): Las pruebas se harán trabajando con su propio peso y/o utilizando equipos, como mancuernas, barras (pesos libres) o máquinas de ejercicio. Se le podrá pedir que realice varias repeticiones de un ejercicio y/o que lo haga una sola vez (una repetición máxima). Entre las pruebas que se le podrán proponer están: realizar diferentes saltos, lagartijas o abdominales. También se podrán realizar pruebas para evaluar su velocidad y agilidad (ej. carreras de ida y vuelta)
  - Flexibilidad: También en este caso podrá elegirse entre diferentes pruebas que permiten evaluar el movimiento de una articulación (indicador de flexibilidad). En algunos casos se medirá directamente el movimiento usando instrumentos específicos (ej. goniómetro, flexómetro).
  - Coordinación y equilibrio Se estudiará con diferentes pruebas. Por ejemplo, se evaluará su capacidad para mantenerse parado, quieto y para mantenerse estable al realizar distintos movimientos.
- (3) La evaluación cardiovascular: primeramente se le pedirá que permanezca en reposo, acostado durante 8-10 minutos en un ambiente cómodo y tranquilo. Durante ese período se medirá la frecuencia cardíaca y la presión arterial en el brazo (forma clásica de medir la presión arterial). Seguidamente se evaluará:

- arterias del cuello (carótidas) e ingle (femorales) mediante ecografía para obtener información de la estructura y función de las arterias, así como de las características del flujo sanguíneo.
- la presión en la aorta (presión central), indicadores de rigidez y reflexiones de onda a partir del registro y análisis de la onda del pulso de la arteria radial obtenida con un sensor similar a un lápiz (tonómetro) apoyado (durante 20-30 segundos) en la piel sobre la arteria radial (muñeca).
- la rigidez de la aorta y de arterias de miembro superior mediante determinación de la velocidad de la onda del pulso carótido-femoral y carótido-radial. Para ello se colocará sobre la piel situada por encima de las arterias carótida, femoral y radial el tonómetro. Se medirá la distancia entre los sitios de registro de las ondas usando una cinta métrica que se ubicará sobre la superficie corporal.
- el índice tobillo-brazo (indicador de presencia de obstrucción y/o aumento de rigidez arterial). Se obtendrá a partir del registro de la presión en tobillos y brazos.
- el gasto cardíaco y resistencias vasculares periféricas (cardiografía por impedancia): Para ello se colocarán sobre la piel sensores adhesivos (similares a los usados en registros de electrocardiograma).
- la reactividad (capacidad de contraerse y dilatarse) de la arteria del brazo. Se colocará en el antebrazo izquierdo un manguito de presión que se inflará por encima de su presión arterial máxima. Se mantendrá inflado por 3-5 minutos y luego se desinflará. Durante todo el estudio se registrará con ecografía la arteria braquial. Podrá tener sensación de hormigueo y/o de calor durante la evaluación.

La evaluación incluye también un breve cuestionario médico y el análisis del carnet de salud del niño o adolescente, para conocer la historia personal y antecedentes familiares.

**¿Existe algún riesgo por participar de este estudio?**

Las evaluaciones son estudios de rutina, seguros, no-invasivos, inocuos (no dañan su cuerpo, no someten a radiación), no requieren inyectar sustancias, ingerir preparaciones o fármacos. Todas se harán bajo supervisión profesional. En relación con la realización de ejercicio se puede presentar (transitoriamente) síntomas como cansancio muscular, mareo, angina de pecho, dolor en las piernas o signos como presión arterial anormal o cambios en el ritmo cardíaco. Situaciones, eventos o complicaciones graves (ej. isquemia/infarto al corazón) son excepcionales (y vinculados a ciertas condiciones de enfermedad subyacentes). El equipo evaluador tomará las medidas necesarias para minimizar los riesgos de complicaciones. Asimismo, si se presentaran el equipo tiene la capacitación y los medios para responder rápida y adecuadamente. No se han descrito otras molestias o riesgos más que las descritas.

**¿Cuáles son los beneficios?**

Se obtendrá información detallada de su condición física, estado cardiovascular al momento del estudio y de su actividad física, conducta sedentaria y características de su sueño (descanso).

**¿Será la información de mi hijo/menor a cargo privada?**

Toda la información que nos proporcionen las mediciones que realicemos será confidencial. Esto quiere decir que no diremos a nadie las respuestas, o resultados de mediciones. Esta información será utilizada únicamente por el equipo de investigación.

**¿Tiene algún costo participar en esta investigación? ¿Me pagarán por participar?**

No habrá ningún costo, ni remuneración económica asociados a la participación en esta investigación.

**¿Puedo renunciar a participar?**

Usted puede negar la participación de su hijo o menor a cargo o solicitar que abandone el estudio en cualquier momento. Esto no implicará un perjuicio para usted ni su hijo/menor a cargo.



## Consentimiento

Dejo constancia de mi consentimiento para que al menor que se encuentra a mi cargo se le realice el mencionado estudio. Este consentimiento es dado libremente y por mi voluntad, en pleno uso de mis facultades mentales y siendo legalmente apto para esta determinación, luego de haber recibido las explicaciones relacionadas a los estudios diagnósticos a realizarse y de haberseme dado la oportunidad de realizar consultas y de haberseme respondido las mismas.

Declaro que se me ha informado de los posibles riesgos, inconvenientes, molestias y beneficios derivados de la evaluación, y que he leído el documento de información y el presente documento.

Autorizo a los responsables del proyecto a utilizar los resultados del estudio con fines de investigación y/o desarrollo; habiéndome dado seguridad de que no se identificará al niño u adolescente estudiado en las presentaciones o publicaciones que puedan realizarse y de que los datos relacionados con su privacidad se manejarán en forma confidencial.

Su firma en este consentimiento informado indica que entendió la información en cuanto a la participación de su hijo en este estudio y que consiente voluntariamente a participar a su hijo/a o menor a cargo en esta investigación.

Autorizo que los registros sean utilizados para investigación científica:

- Sí autorizo.  No autorizo.

Autorizo a que pueda ser re-contactado telefónicamente para recibir información adicional y/o coordinar la entrega de los resultados diagnósticos:

- Sí, quiero que me contacten.  No, no quiero que me contacten.

Teléfono y e-mail de contacto del adulto responsable (se solicita brindar teléfono fijo y además teléfono móvil):

Nombre del Participante:

Cédula de Identidad del Participante:

Fecha de Nacimiento:

Nombre del tutor/responsable legal:

Cédula de Identidad del tutor/responsable legal:

Firma y aclaración de firma del tutor/responsable legal:

Fecha:

Investigador/Evaluador Responsable:

Firma:

Fecha:

## ASENTIMIENTO INFORMADO (mayores de 12 años) V2.0

**Proyecto: "Evaluación integral de componentes de la condición física, patrones de conducta sedentaria, actividad física y sueño: asociación con el estado cardiovascular en niños, adolescentes y adultos"**

Investigadora responsable:

Dra. Yanina Zócalo

Responderá interrogantes acerca del estudio: Tel. 099-840586; e-mail: yaninazocalo@gmail.com yana@fmed.edu.uy

Investigadores participantes:

Dres. Andrés García-Bayce, Pedro Chiesa, Carlos Magallanes, Daniel Bia.

### ¿En qué consiste el estudio?

El estudio consiste en investigar en niños, adolescentes y adultos, la relación entre la salud cardiovascular, condición física, actividad física, conductas sedentarias, tiempo y características del sueño.

Este estudio busca contribuir a identificar en qué medida, diferentes formas empleadas para valorar la relación "movimiento, condición física y salud", permitirían identificar características y/o hábitos que asocien un estado cardiovascular normal o alterado.

### ¿Qué pasará durante el estudio?

Durante el estudio te realizaremos algunas evaluaciones para analizar:

- la duración de actividad física, conducta sedentaria y el sueño que realizas diariamente,
- la condición física,
- el sistema cardiovascular.

Previo a la realización de las evaluaciones se te explicará claramente el procedimiento a realizar, resultados y posibles respuestas.

Para evaluar la duración de actividad física, conducta sedentaria y sueño utilizaremos unos dispositivos que llamamos ACELERÓMETROS, estos se colocan como un reloj en la muñeca o podremos colocarlos en la cintura, el tobillo o el muslo.

Al evaluar la condición física realizaremos algunos test para analizar tu flexibilidad (haciendo ejercicios de estiramiento), tu capacidad aeróbica (por ejemplo: corriendo o andando en bicicleta), tu composición corporal (por ejemplo: mediremos tu altura, tu peso a través de dos balanzas, algunos diámetros, circunferencias y pliegues), la fuerza muscular (por ejemplo: evaluando la fuerza en tus manos, realizando saltos, abdominales o flexión de brazos suspendido).

Al evaluar el sistema cardiovascular realizaremos un estudio llamado "cardiovascular no-invasivo", este estudio requiere que permanezcas en reposo, acostado en una camilla por un período de aproximadamente 45 minutos en un ambiente cómodo y tranquilo. Durante ese período se realizarán registros de la frecuencia cardíaca y la presión arterial por medio de un manguito de presión colocado en el brazo (forma clásica de medir la presión arterial). Luego se evaluarán características de tu sistema arterial con pruebas que se utilizan normalmente en niños y adolescentes.

### ¿Genera malestar el estudio?

La evaluación cardiovascular, así como de acelerometría no provoca dolor y no requiere uso de ningún tipo de medicamento. Respecto a la valoración de la condición física, al igual que con cualquier ejercicio físico, después de las evaluaciones, puedes experimentar fatiga (cansancio) que se irá rápidamente.



**¿Qué me aporta el estudio?**

Luego de finalizar las evaluaciones se tendrá información sobre tu condición física, el estado de tu sistema cardiovascular y los niveles de actividad física, conducta sedentaria y sueño que realizas habitualmente. Esto te permitirá conocer sobre el estado de salud de tu organismo y sobre las conductas y actividades que es bueno que mantengas y aquellas que sería recomendable modificar.

**¿Quién sabrá lo que hice en el estudio?**

No compartiremos nada de lo que digas con personas ajenas al equipo de profesionales e investigadores que forman parte de este estudio. Ninguna otra persona sabrá acerca de tu información personal.

**¿Puedo decidir si quiero estar en el estudio?**

No tienes que participar en el estudio si no lo deseas. Si no quieres participar, no habrá ninguna consecuencia negativa. Incluso habiendo decidido participar, puedes renunciar a hacerlo, aunque ya se hayan iniciado las evaluaciones.

Si deseas participar en este estudio, tendrás que firmar este formulario.

**¿Tiene algún costo participar en esta investigación? ¿Me pagarán por participar?**

No habrá ningún costo, ni remuneración económica asociados a la participación en esta investigación.

**¿Quieres participar del estudio?**

Marca en una de las opciones:

- Sí, quiero estar en el estudio.                       No, no quiero estar en el estudio.

Nombre del Participante:

Documento de Identidad:

Nombre del tutor legal:

Firma y Fecha:

## 5. ANEXO 5: Hoja información para el participante, padre y/o tutor.



### Información para el participante, padre o tutor legal V2.0

Este documento brinda información sobre el proyecto de investigación titulado: *"Evaluación integral de componentes de la condición física, patrones de conducta sedentaria, actividad física y sueño: asociación con el estado cardiovascular en niños, adolescentes y adultos"*

#### Investigadora responsable (puede contactarse si desea más información):

Dra. Yanina Zócalo (Tel. 099-840586; e-mail: yaninazocalo@gmail.com; yana@fmed.edu.uy)

#### Investigadores participantes

Dres. Andrés García-Bayce, Pedro Chiesa, Carlos Magallanes, Daniel Bia.

#### Fundamentación

La exposición a factores de riesgo cardiovascular (FRCV) genera apartamientos del punto de trabajo óptimo del sistema cardiovascular (CV). Esto retroalimenta en forma positiva un círculo vicioso que favorece un gradual y progresivo deterioro estructural y funcional CV, que puede identificarse a edades tempranas, en la propia infancia y que asocia aumento de riesgo y morbi-mortalidad CV en el adulto (1-2). Por esta razón, se ha propuesto que la edad óptima para iniciar la prevención y/o detectar alteraciones asociadas a aumento de riesgo CV sería "cuanto antes" (1-3). Esto ha llevado a proponer (o intensificar) la realización de evaluaciones que permitan conocer el nivel de exposición a FRCV y evaluar directamente el estado estructural y funcional del sistema CV mediante abordajes no-invasivos (1,4). Por otra parte, se ha señalado la importancia y necesidad de promover el desarrollo de investigación que contribuya al avance del conocimiento en el área y que posibilite identificar factores específicos, asociados al desarrollo de alteraciones y aumento del riesgo CV en etapas particulares de la vida.

Diversos trabajos han evidenciado que el impacto en morbi-mortalidad CV y global de los avances en herramientas de diagnóstico y tratamiento no ha sido el esperado. Teóricamente, eso se ha explicado principalmente por el concomitante aumento en (i) inactividad física, (ii) conductas sedentarias y (iii) características nutricionales asociadas a "exceso" (ej. sobrepeso-obesidad), propias de la vida moderna, que impactan negativamente en la salud, tanto directa como indirectamente (ej. predisponiendo al desarrollo y limitando el control de hipertensión arterial)(5).

En la actualidad, si bien los indicadores (o componentes) que intentan caracterizar el "movimiento o capacidad de movimiento humano" (condición física, actividad física, conducta sedentaria y patrón de sueño) se reconocen como potenciales factores asociados a riesgo de alteración CV, su valoración objetiva en la práctica es un aspecto no resuelto. La valoración subjetiva (auto-reportada por el sujeto y/o sus adultos referentes) del "estado físico", frecuencia, intensidad, tipo y tiempo destinado a la AF o al descanso (sueño) no permite valorar adecuadamente (i) el riesgo asociado a inactividad o sedentarismo, (ii) si el sujeto cumple con recomendaciones o prescripción de actividad física y/o (iii) sustentar intervenciones biomédicas o políticas sanitarias.

Por otra parte, la valoración de la composición corporal, estado nutricional, hídrico y/o de indemnidad extra/intracelular mediante dispositivos como los de impedancia bioeléctrica (BIA; bioimpedance analysis) ha cobrado creciente interés, asociado a mejoras tecnológicas en los dispositivos. Parámetros de composición corporal (ej. masa grasa o libre de grasa) y/o de indemnidad tisular obtenidos mediante BIA (ej. ángulo de fase, relación de impedancia) superarían a parámetros tradicionales (ej: derivados de peso y talla) (6-8).

Finalmente, un aspecto que cobra cada vez mayor relevancia es el estudio de la asociación entre la salud CV de un individuo y los diferentes componentes de la CF asociados con la salud. Al respecto, la aptitud física de un sujeto integra distintas dimensiones o componentes relacionados con la salud: (i) capacidad cardio-respiratoria, (ii) condición muscular (o musculo-esquelética), (iii) composición corporal, (iv) flexibilidad y (v) coordinación/equilibrio (9). En este contexto, diferentes trabajos han propuesto que la valoración de algunos y/o todos estos componentes podrían ser marcadores del estado de salud CV (10-12).

El presente proyecto contribuirá al conocimiento de aspectos específicos relacionados con la actividad y condición física y los abordajes disponibles para su estudio. Asimismo, contribuirá al avance del conocimiento de aspectos fisiológicos y

fisiopatológicos de la relación entre condición física, movimiento y sistema cardiovascular, y a la identificación de potenciales indicadores o marcadores del estado "normal o alterado" del sistema cardiovascular.

Los procedimientos vinculados a su participación o de su hijo/menor a cargo en el proyecto y sobre los que tendrá que brindar su consentimiento para participar son los siguientes:

- (1) La evaluación de la actividad física, conducta sedentaria y sueño se realizará mediante el análisis de información obtenida con la técnica denominada "acelerometría". Para ello, dispositivos portables, no-invasivos, similares a un reloj (acelerómetros) se colocarán a nivel de la muñeca, cintura, muslo y/o tobillo. Cada dispositivo se llevará puesto durante un mínimo de 7 días.
- (2) La condición física se valorará mediante diferentes tests o pruebas. Se definirá cual/cuales de las pruebas se realizará (o realizarán) teniendo en cuenta características del participante (ej. su edad, condiciones particulares específicas, motivación/colaboración), factores como disponibilidad de equipamiento, condiciones en las que se realiza la evaluación, así como consideraciones del evaluador. Previo a la realización de las evaluaciones propuestas se le explicará claramente el procedimiento a realizar, resultados y posibles respuestas. Entre las evaluaciones que se podrán realizar se encuentran:
  - **Composición corporal:** se podrá evaluar mediante equipamiento específico (ejemplo: balanzas de bioimpedancia), determinación de la masa (peso corporal), talla/altura (parado/sentado), perímetros (ejemplo: de cintura, cadera, brazo, muslo), pliegues cutáneos (ejemplo: bíceps, tríceps, abdominal, pierna, muslo) y diámetros (ejemplo: femoral, humeral). Diferentes herramientas (ejemplo: balanza, tallímetro, calibre, plicómetro, cinta métrica) podrán ser utilizadas para obtener los distintos registros.
  - **Capacidad cardio-respiratoria:** Se podrá evaluar mediante estudios de campo y/o laboratorio, con realización de esfuerzo constante o con aumento progresivo de la intensidad de ejercicio (en forma continua o no), utilizando protocolos máximos (hasta el agotamiento) o submáximos. Durante la evaluación (así como antes y después de la misma) se podrán registrar diferentes (variables) indicadores de la actividad (ejemplo: intensidad), de la respuesta y/o cambios asociados a la realización de la misma (ejemplo: frecuencia cardíaca, presión arterial, gases respiratorios, percepción de esfuerzo). La evaluación podrá requerir la utilización de equipamiento específico para la realización de actividad física. A modo de ejemplo, podrá realizarse ejercicio en cicloergómetro (bicicleta), tapiz rodante (cinta ergométrica) o remoergómetro (remo). Asimismo, la capacidad cardio-respiratoria podrá evaluarse sin emplear dispositivos específicos para la realización de actividad física, como en caso de tests en los que se determina el tiempo empleado en recorrer una distancia determinada o en los que se mide la distancia recorrida en un tiempo dado (ejemplo: test de recorrido en 12 minutos, test de marcha en 6 minutos, test de 1,6 km).

Si bien tal como fue descrito diferentes pruebas y protocolos podrán ser seleccionados, en todos los casos se seguirá el procedimiento general recomendado en guías internacionales específicas. Asimismo, la estructura de la evaluación será la misma siempre, iniciándose por una entrada en calor de intensidad baja, seguida de la realización de ejercicio y finalizando con una fase de recuperación. Cabe señalar que similar estructura de evaluación se considera para el caso de la evaluación de los componentes de la condición física que se describen a continuación.

- **Capacidad muscular (o músculo-esquelética):** Se dispondrá de diferentes herramientas para la evaluación muscular. La selección de la o las herramientas, así como del o los protocolos a emplear se realizará teniendo en cuenta factores similares a los descritos en el caso de la capacidad cardiorespiratoria. La evaluación se realizará de manera estática y/o dinámica. Las pruebas se ejecutarán con el propio peso del cuerpo o utilizando dispositivos especialmente diseñados y validados. A modo de ejemplo, se podrá utilizar para la evaluación tensiómetros de cable, dinamómetros de agarre manual, pesos libres (ej. mancuernas, barras) y máquinas de ejercicio (ej. equipo Dynasystem) que posibilitan la evaluación de diferentes grupos musculares y modalidades de ejercicio. Asimismo, podrá optarse por tests de múltiples repeticiones o de una repetición máxima. Previo a la evaluación propiamente dicha, se realizará una entrada en calor consistente en ejercicios aeróbicos, de flexibilidad y repeticiones de ejercicios específicos del test con carga ligera (cuando corresponda). Entre las propuestas de evaluación se podrá optar por valorar la fuerza de prensión manual con un dinamómetro, realizar tests que involucran diferentes tipos de saltos (en altura o longitud), realizar lagartijas o abdominales.

Se podrán realizar test que permiten evaluar elementos de la capacidad motora como velocidad y agilidad. A modo de ejemplo, entre estos tests están la carrera de ida y vuelta de 4 x 10mts y test (ej. Tapping) que evalúan la velocidad de los miembros superiores

- **Flexibilidad:** Siguiendo los mismos criterios de selección descritos anteriormente, se podrá utilizar pruebas de evaluación dinámica y/o estática. En estas últimas se determinará la amplitud del movimiento (indicador de flexibilidad) mediante métodos directos o indirectos. En el primer caso se podrá medir el rango de movimiento articular (en grados), utilizando diferentes instrumentos (ej. goniómetro, flexómetro). Entre los métodos indirectos que podrán seleccionarse para evaluar la flexibilidad se encuentran el test de sentarse y alcanzar (sit and reach), tests de flexión (ej. hacia adelante y lateral) y extensión de tronco.
  - **Coordinación y equilibrio** Se reconocen como componentes de la condición física, y se refieren a la capacidad de desarrollar en secuencia ordenada, armónica y eficaz un gesto o acción motora. Se proponen diferentes test para la evaluación de la coordinación y equilibrio (junto a la agilidad en algunos casos). A modo de ejemplo, se podrá analizar y evaluar el equilibrio estático (habilidad de mantener el cuerpo erguido estable sin desplazamiento) y el equilibrio dinámico (habilidad o capacidad para mantener el cuerpo erguido y estable en acciones que incluyan movimiento o desplazamiento del sujeto) a los que se puede añadir múltiples combinaciones con objetos o móviles. La selección del o los tests será realizada por el evaluador, teniendo en cuenta factores similares a los descritos previamente al referirnos a la evaluación de otros componentes de la condición física.
- (3) La evaluación cardiovascular no-invasiva requiere que inicialmente (antes de comenzar los estudios arteriales) permanezca en reposo, acostado en una camilla por un periodo de aproximadamente 8-10 minutos en un ambiente cómodo y tranquilo. Durante ese período se realizarán registros de la frecuencia cardiaca y la presión arterial por medio de un manguito (brazalete) de presión colocado en el brazo (forma clásica de medir la presión arterial). Seguidamente se realizará:
- **evaluación de las arterias carótidas (cuello) y femorales (cintura) mediante ecografía.** Con ello se evaluarán los diámetros, espesores y distensibilidad de las arterias, así como también las velocidades. Se analizará la permeabilidad de las arterias y eventual presencia de depósitos (ej. placas de ateroma) y/u obstrucciones.
  - **medición de la presión en la aorta torácica (presión aortica central) e indicadores de rigidez y reflexiones de onda a partir del registro y análisis de la onda del pulso de presión en la arteria radial (muñeca).** Para ello, se apoyará durante 20-30 segundos un sensor de forma similar a un lápiz (tonómetro de aplanamiento) sobre la piel de la muñeca sobre la arteria radial (donde habitualmente se toma el pulso).
  - **medición de la rigidez de la arteria aorta y de arterias de miembro superior mediante determinación de la velocidad de la onda del pulso carótido-femoral y carótido-radial.** Para ello se colocará (secuencialmente) sobre la piel situada por encima de las arterias carótida (cuello), femoral (ingle) y radial (muñeca), el tonómetro de aplanamiento (ver arriba). Se medirá la distancia entre los sitios de registro de las ondas de pulso mediante el uso de una cinta métrica ubicada sobre la superficie corporal.
  - **medición del índice tobillo-brazo:** se obtendrá mediante el registro de la presión en tobillos y brazos utilizando esfigmomanómetros (mediciones habituales) y/o velocímetros Doppler.
  - **medición del gasto cardiaco y resistencias vasculares periféricas:** mediante cardiografía por impedancia, Para este fin se colocarán sobre la piel del cuello y tórax, sensores adhesivos (similares a los utilizados para registros de electrocardiograma convencional).
  - **medición de la reactividad vascular (capacidad arterial de contraerse y/o dilatarse) a nivel de la arteria del brazo (braquial).** Se colocará a nivel del antebrazo izquierdo un manguito de presión, el cual se insuflará por encima de su presión arterial máxima durante 3 a 5 minutos. Transcurrido ese tiempo se liberará el manguito. Si bien es poco probable, podrá sentir una sensación de hormigueo durante la oclusión y de calor tras su liberación. Durante las maniobras descritas y luego de las mismas se obtendrá registro de la arteria braquial, para posterior análisis.
  - Se realizará un breve cuestionario médico, para conocer la historia personal del participante y antecedentes familiares de enfermedades.

La evaluación terminará cuando se alcancen los criterios de finalización correspondientes para cada uno de los tests propuestos. Asimismo la prueba se detendrá si se identifican condiciones, signos o síntomas considerados criterios de suspensión, y en cualquier momento que el participante manifieste querer detener la evaluación

Es muy importante dejar claro que:

1. Toda la información de los participantes: registros médicos y los resultados de los estudios serán manejados en forma confidencial. La información que le identifique a usted o a su hijo/menor a cargo será conocida solamente por el equipo de investigación y en ninguna circunstancia será divulgada. Toda la información colectada podrá ser utilizada exclusivamente con fines de investigación científica.
2. Los participantes/padres/tutores podrán recibir informe escrito con resultados de las evaluaciones realizadas. Los datos obtenidos no se compartirán con nadie sin autorización del participante/padre o tutor legal. Si el participante lo desea, podrá compartir los resultados con su médico para que sean incorporados a su historia clínica. El participante no obtendrá ningún beneficio adicional por participar en este estudio.
3. Los participantes no recibirán ningún tipo de remuneración económica por participar del estudio.

Referencias bibliográficas:

Urbina EM, Williams RV, Alpert BS, et al. Noninvasive assessment of subclinical atherosclerosis in children and adolescents: recommendations for standard assessment for clinical research: a scientific statement from the American Heart Association. *Hypertension*. 2010;54(5):919-50. (2) Zócalo Y, Arana M, Curcio S, et al. Daño arterial subclínico en niños, adolescentes y jóvenes: Análisis de la asociación con factores de riesgo, con la aterosclerosis del adulto y de su reversibilidad mediante intervención temprana. *Rev Urug Cardiol*. 2015;30(2):176-187. (A). (3) Gidding S. Assembling evidence to justify prevention of atherosclerosis beginning in youth. *Circulation* 2010;122(24):2493-4. (4) Zócalo Y, Arana M, García V, et al. Estudios arteriales no-invasivos para detección temprana o valoración de cambios arteriales en niños y jóvenes expuestos a factores de riesgo cardiovascular y/o patologías sistémicas. *Arch Pediatr Urug* 2015; 86(3) (B)(5) Joy EL, Blair SN, McBride P, Sallis R. Physical activity counselling in sports medicine: a call to action. *Br J Sports Med*. 2013;47(1):49-53. (6) Rinninella E, Cintoni M, Addolorato G, Triarico S, Ruggiero A; Perna A, Silvestri G, Gasbarrini A; Cristina M. Phase angle and impedance ratio: Two specular ways to analyze body composition. *Ann Clin Nutr*. 2018; 1: 1003. (7) Kuchnia AJ, Teigen LM, Cole AJ, Mulasi U, Gonzalez MC, Heymsfield SB, Vock DM, Earthman CP. Phase Angle and Impedance Ratio: Reference Cut-Points From the United States National Health and Nutrition Examination Survey 1999-2004 From Bioimpedance Spectroscopy Data. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2017 Nov;41(8):1310-1315. doi: 10.1177/0148607116670378. Epub 2016 Sep 26. PMID: 27670250. (8) Lukaski HC, Kyle UG, Kondrup J. Assessment of adult malnutrition and prognosis with bioelectrical impedance analysis: phase angle and impedance ratio. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2017 Sep;20(5):330-339. (9) American College of Sports Medicine. ACSM's health-related physical fitness assessment manual. 2013 Lippincott Williams & Wilkins. (10) Roldão da Silva P, Castilho Dos Santos G, Marcio da Silva J, Ferreira de Faria W, Gonçalves de Oliveira R, Stabelini Neto A. Health-related physical fitness indicators and clustered cardiometabolic risk factors in adolescents: A longitudinal study. *J Exerc Sci Fit*. 2020 Sep;18(3):162-167. (11) Morikawa SY, Fujihara K, Hatta M, Osawa T, Ishizawa M, Yamamoto M, Furukawa K, Ishiguro H, Matsunaga S, Ogawa Y, Shimano H, Sone H. Relationships among cardiorespiratory fitness, muscular fitness, and cardiometabolic risk factors in Japanese adolescents: Niigata screening for and preventing the development of non-communicable disease study-Agano (NICE EVIDENCE Study-Agano) 2. *Pediatr Diabetes*. 2018 Jun;19(4):593-602. (12) Baumgartner L, Weberruß H, Oberhoffer-Fritz R, Schulz T. Vascular Structure and Function in Children and Adolescents: What Impact Do Physical Activity, Health-Related Physical Fitness, and Exercise Have? *Front Pediatr*. 2020 Mar 19;8:103. doi: 10.3389/fped.2020.00103. PMID: 32266183; PMCID: PMC7096378.

## 6. ANEXO 6: Cuestionario internacional de actividad física IPAQ

### CUESTIONARIO INTERNACIONAL DE ACTIVIDAD FISICA

Estamos interesados en averiguar acerca de los tipos de actividad física que hace la gente en su vida cotidiana. Las preguntas se referirán al tiempo que usted destinó a estar físicamente activo en los **últimos 7 días**. Por favor responda a cada pregunta aún si no se considera una persona activa. Por favor, piense acerca de las actividades que realiza en su trabajo, como parte de sus tareas en el hogar o en el jardín, moviéndose de un lugar a otro, o en su tiempo libre para la recreación, el ejercicio o el deporte.

Piense en todas las actividades **intensas** que usted realizó en los **últimos 7 días**. Las actividades físicas **intensas** se refieren a aquellas que implican un esfuerzo físico intenso y que lo hacen respirar mucho más intensamente que lo normal. Piense *solo* en aquellas actividades físicas que realizó durante por lo menos **10 minutos** seguidos.

1. Durante los **últimos 7 días**, ¿en cuántos realizó actividades físicas **intensas** tales como levantar pesos pesados, cavar, hacer ejercicios aeróbicos o andar rápido en bicicleta?

\_\_\_\_\_ **días por semana**

Ninguna actividad física intensa



**Vaya a la pregunta 3**

2. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a una actividad física **intensa** en uno de esos días?

\_\_\_\_\_ **horas por día**

\_\_\_\_\_ **minutos por día**

No sabe/No está seguro

---

Piense en todas las actividades **moderadas** que usted realizó en los **últimos 7 días**. Las actividades **moderadas** son aquellas que requieren un esfuerzo físico moderado que lo hace respirar algo más intensamente que lo normal. Piense *solo* en aquellas actividades físicas que realizó durante por lo menos **10 minutos** seguidos.

3. Durante los **últimos 7 días**, ¿en cuántos días hizo actividades físicas **moderadas** como transportar pesos livianos, andar en bicicleta a velocidad regular o jugar dobles de tenis? **No** incluya caminar.

\_\_\_\_\_ **días por semana**

Ninguna actividad física moderada



**Vaya a la pregunta 5**

4. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a una actividad física **moderada** en uno de esos días?

\_\_\_\_\_ horas por día

\_\_\_\_\_ minutos por día

No sabe/No está seguro

---

Piense en el tiempo que usted dedicó a **caminar** en los **últimos 7 días**. Esto incluye caminar en el trabajo o en la casa, para trasladarse de un lugar a otro, o cualquier otra caminata que usted podría hacer solamente para la recreación, el deporte, el ejercicio o el ocio.

5. Durante los **últimos 7 días**, ¿En cuántos **camino** por lo menos **10 minutos** seguidos?

\_\_\_\_\_ días por semana

Ninguna caminata



**Vaya a la pregunta 7**

6. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a caminar en uno de esos días?

\_\_\_\_\_ horas por día

\_\_\_\_\_ minutos por día

No sabe/No está seguro

---

La última pregunta es acerca del tiempo que pasó usted **sentado** durante los días hábiles de los **últimos 7 días**. Esto incluye el tiempo dedicado al trabajo, en la casa, en una clase, y durante el tiempo libre. Puede incluir el tiempo que pasó sentado ante un escritorio, visitando amigos, leyendo, viajando en ómnibus, o sentado o recostado mirando la televisión.

7. Durante los **últimos 7 días** ¿cuánto tiempo pasó **sentado** durante un **día hábil**?

\_\_\_\_\_ horas por día

\_\_\_\_\_ minutos por día

No sabe/No está seguro

7. **ANEXO 7: Análisis de acuerdo (Bland-Altman) entre la primer (M1) y segunda (M2) medición de la variables obtenidas con test: Sit and Reach, Salto Contra-Movimiento, y Dinamometría de miembros superiores.**

**Tabla: Análisis de acuerdo (Bland-Altman) entre primer (M1) y segunda (M2) medición de la variables obtenidas con test: Sit & Reach, Salto Contra-Movimiento (CMJ), y Dinamometría (Handgrip) de miembros superiores**

	Sit & Reach (cms)	CMJ (cms)	Handgrip MSD (Kg)	Handgrip MSI (Kg)
<b>Diferencias (M1 - M2)</b>				
Error medio	1.62	1.14	1.19	1.49
Error medio, 95% I.C.	1.3345 to 1.9082	0.9716 to 1.3022	1.0246 to 1.3631	1.2562 to 1.7142
P (H <sub>0</sub> : Error media = 0)	<b>&lt;1.0E-14</b>	<b>&lt;1.0E-14</b>	<b>&lt;1.0E-14</b>	<b>&lt;1.0E-14</b>
Error medio, Límite Inferior	-1.6311	-0.7229	-0.7404	-1.1516
Error medio, Límite Superior (95% I.C.)	-2.1225 to -1.1396	-1.0062 to -0.4397	-1.0304 to -0.4504	-1.5439 to -0.7592
Error medio, Límite Superior	4.8738	2.9967	3.128	4.1219
Error medio, Límite Superior (95% I.C.)	4.3824 to 5.3653	2.7135 to 3.2800	2.8380 to 3.4180	3.7296 to 4.5143
Ecuación de Regresión	y=1.8821-0.009063*x	y=1.0847+0.001862*x	y=0.6922+0.01403*x	y=0.7331+0.02190*x
<b>Intercepto</b>				
Coefficiente	1.8821	1.0847	0.6922	0.7331
Error Estándar	0.4422	0.3336	0.2971	0.401
Valor p	<b>3.97E-05</b>	<b>1.50E-03</b>	<b>2.13E-02</b>	<b>6.98E-02</b>
95% I.C.	1.0072 a 2.7570	0.4246 a 1.7448	0.1045 to 1.2800	-0.06011 to 1.5263
<b>Pendiente</b>				
Coefficiente	-0.009063	0.001862	0.01403	0.0219
Error Estándar	0.01452	0.01152	0.007963	0.01119
Valor p	0.5336	0.8718	0.0805	0.0524
95% I.C.	-0.03779 to 0.01966	-0.02093 to 0.02465	-0.001724 to 0.02978	-0.0002330 to 0.04404

Ho: Hipótesis nula. EE: error estándar. I.C.: Intervalo de Confianza. MSD y MSI: miembro superior derecho e izquierdo, respectivamente.

