



***EFICIENCIA DE PROGRAMAS DE ACTIVIDAD FÍSICA  
INDIVIDUALIZADOS A LARGO PLAZO***

**MÁSTER EN ALTO RENDIMIENTO DEPORTIVO Y SALUD**

**TRABAJO DE FIN DE MASTER**

**2016/2017**

***Alejandro López Gracia***

**Tutor investigación**  
Diego Pastor Campos.  
**Tutor profesional**  
Manuel Moya Ramón.

## 1. INTRODUCCIÓN.

En la actualidad se está desarrollando un creciente interés por la actividad física, se conoce el término de actividad física, según McGinnis y Foege (1993) como “cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos y que tiene como resultado un gasto energético que se añade al metabolismo basal”, que no debe confundirse con ejercicio físico, que se define como “variedad de actividad física planificada, estructurada, repetitiva y realizada con un objetivo relacionado con la mejora o el mantenimiento de uno o más componentes de la aptitud física” (Hanifi, et al., 2002). Dicha preocupación por la actividad física se debe en gran medida, a un mayor interés de la sociedad por la salud, debido en parte al incremento de las enfermedades cardiovasculares, así como el creciente apoyo que recibe la medicina preventiva (Devís-Devís y Peiró-Velert, 1993). Sin embargo, la sociedad se está haciendo cada vez más sedentaria, debido en gran parte a trabajos cada vez menos activos en relación al movimiento corporal, una mayor disponibilidad de medios de transporte y un tiempo de ocio más pasivo (Varo y col., 2003). La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que el estilo de vida sedentario es una de las diez causas de muerte y/o discapacidad evitables en el mundo (Hanifi, et al., 2002). Por este motivo la actividad física es un gran predictor de la salud, llegando a clasificar al sedentarismo como un factor de riesgo potencial para las enfermedades modernas (Powell, Thompson, Caspersen y Kendrick, 1987; Tittel e Israel, 1991). Entre este tipo de riesgo podemos destacar, según Cenarruzabeitia y Hernández (2003) una asociación inversa entre la actividad física y diversas problemáticas para la salud, como la obesidad, el riesgo de cardiovascular, la diabetes, la osteoporosis, cánceres y enfermedades mentales.

Con objeto de reducir el riesgo de padecer ciertas enfermedades y mejorar la calidad de vida, se hace necesario incrementar los niveles de práctica de actividad física en la población. Dicha práctica debe de satisfacer las demandas generadas por la población a la vez de ser específica e individual para cada uno de los colectivos o sujetos que la practican. Por esta razón, existen recomendaciones para sujetos sanos con edades comprendidas entre los 18 hasta los 65 años, basándose en la realización de actividad de intensidad moderada, por un tiempo de 30 minutos durante, al menos, 5 días a la semana, o la realización de actividad de intensidad vigorosa, durante unos 20 minutos con un mínimo de tres días por semana (Haskell y col., 2007), otros organismos de prestigio mundial, como la OMS o American College Of Sport Medicine (ACSM), determinan una serie de recomendaciones generales para toda la población. La ACSM, elabora una serie de recomendaciones para la realización de actividad

física por parte de los adultos. En relación al entrenamiento de la resistencia cardiorespiratoria, determina una intensidad de tipo moderada superior a 30 minutos, durante 5 días a la semana, es decir, un volumen total de superior a 150 minutos semanales o una intensidad de tipo vigorosa superior a 20 minutos durante 3 o más días a la semana, lo que supone un volumen mayor o igual a 75 minutos de actividad por semana. La combinación de ambas intensidades debe de acumular un gasto energético semanal de mayor o igual a 500-1000 MET por semana. Por otra parte, recomienda el trabajo de fuerza muscular en los principales grupos musculares, durante dos o tres días semanales, ya que así se mejora las condiciones neuromusculares, la agilidad y la coordinación. Sin embargo, se deja claro que estas recomendaciones deben de ser modificadas en función del grado de actividad física que pueda llevar a cabo el sujeto, así como en función de su estado de salud, su condición física, etc, incluso se determina que para sujetos sedentarios se disminuyan los niveles de actividad recomendados con objeto de generar un adherencia y la obtención de resultados positivos para su salud (Garber et al., 2011). Además, la ACSM incluye una serie de recomendaciones para ancianos, haciendo especial mención en que este tipo de población debe de hacer actividad física en relación a sus condicionantes de salud, pero siempre deben de tener una vida activa. En relación al entrenamiento de resistencia cardiorrespiratoria deben de acumular entre 30 y 60 minutos de ejercicio, en periodos de al menos 10 minutos, para obtener un volumen semanal de 150 o 300 minutos siempre que la intensidad sea moderada, sin embargo, si la intensidad es vigorosa, deben de realizar entre 20 y 30 minutos para obtener un volumen semanal de 75-150 minutos, incluso sería interesante llevar a cabo una combinación de ambas intensidades, en el caso de que sea posible. También se recomienda el entrenamiento basado en la fuerza muscular, siempre que no genera un estrés ortopédico excesivo. Los ejercicios más recomendables son levantamiento de peso de forma progresiva o calistenia (movilización del propio peso corporal), se deben de realizar unos 8-10 ejercicios que involucren a los principales grupos musculares, con unas 8-12 repeticiones cada uno. En esta población es recomendable el entrenamiento basado en la flexibilidad, mediante estiramientos sostenidos para cada músculo principal y movimientos estáticos (se deben evitar movimientos de tipo balístico), así como ejercicios que potencien el equilibrio en aquellas personas con discapacidades o con problemas de movilidad (Chodzko-Zajko et al., 2009). Sin embargo, dichas recomendaciones son demasiado amplias para la población, ya que es posible que se generen contingencias debido a niveles de riesgo en función de sus parámetros individuales (posibles cardiopatías, enfermedades, herencia genética, etc), por este motivo se debe de realizar un protocolo de actuación para la obtención de información básica del sujeto y así,

poder determinar si es necesario un examen médico o puede incorporarse a la actividad física de forma inmediata y sin riesgo. Para iniciar el protocolo se estratifican a los sujetos en función de factores de riesgo, según un estudio llevado a cabo por Thompson, Arena, Riebe y Pescatello (2013), los sujetos con mayor riesgo en relación a seguir las recomendaciones son varones  $\geq 45$  años y mujeres  $\geq 55$  años. En base a lo anterior, el volumen recomendado de actividad física en función de los estratos de edad, diferenciando tres tipos diferentes de poblaciones destinatarias son según Hanifi et al. (2002) en primer lugar, sujetos con edades comprendidas entre los 5 y los 17 años, evidenciando una asociación positiva entre las intervenciones de la actividad física y la mejora de los indicadores de salud (Thompson, Arena, Riebe y Pescatello, 2008), además también muestra una relación positiva con la salud cardiorrespiratoria y metabólica en niños y jóvenes (Janssen y Leblanc, 2009). Una mayor asiduidad e intensidad de la actividad física desde la infancia y a lo largo de la vida adulta permite a las personas mantener un perfil de riesgo favorable y unas menores tasas de morbilidad y de mortalidad por enfermedad cardiovascular y diabetes mellitus tipo 2. Por lo que se recomienda la realización de actividad física para jóvenes de tipo aeróbico durante unos 60 minutos diarios a intensidades moderadas o vigorosas (el volumen total puede fragmentarse a lo largo de la jornada). Además, también es positiva la participación en actividades que busquen mejorar la fuerza, al menos dos o tres veces por semana, para potenciar así de forma significativa la fuerza útil de los niños y/o jóvenes. En segundo lugar, podemos encontrar al grupo que comprende a adultos sanos de 18-64 años de edad, aunque también es aplicable para personas que padezcan enfermedades crónicas no transmisibles y no relacionadas con la movilidad, como la hipertensión o la diabetes. Las mujeres, durante el embarazo o el puerperio, y las personas con trastornos cardíacos podrían tener que adoptar precauciones adicionales. Aquellos adultos inactivos o con algún tipo de limitación conseguirán mejorar su salud simplemente pasando de ser inactivos a hacer una cierta cantidad de actividad física diaria, por lo que los adultos que no cumplen los mínimos de actividad deben de proponerse el objetivo de incrementar, de forma lógica, la duración, la frecuencia y la intensidad de vida activa.

La realización de actividad física presenta una relación directa con la mejora de la salud cardiorrespiratoria, disminuyendo el riesgo de padecer alguna cardiopatía (Warburton, Charlesworth, Ivey, Nettlefold y Bredin, 2010). Por lo que las recomendaciones generales para este grupo de edad coinciden con las recomendaciones citadas con anterioridad por la ACSM. En tercer lugar, para sujetos con edades superiores a los 65 años, la actividad física

debe ser orientada el igual que los grupos de edad anteriores, a no ser que presenten algún inconveniente grave relativo a su salud, que le limiten la realización de determinados tipos de ejercicio físico. Este tipo de recomendaciones también son aplicables a personas con dolencias específicas (como enfermedad cardiovascular o diabetes), aunque deberían adoptar precauciones adicionales y solicitar asesoramiento médico antes de iniciarse en la actividad. Por este motivo, es necesario la adaptación de las actividades a las características individuales de cada uno de los sujetos. La actividad física aporta beneficios en todos los estratos de edad, pero se hace sensiblemente notable en este grupo, ya que la evidencia muestra un efecto protector sobre esta población, reduciendo las dolencias en aquellos sujetos que son más activos. Es por esto, que tanto hombre como mujeres que desarrollan una mayor actividad presentan tasas más bajas de mortalidad, de cardiopatía coronaria, hipertensión, accidente cerebrovascular, diabetes de tipo 2, cáncer de colón, cáncer de mama, funciones cardiorespiratorias y musculares mejoradas, una masa y composición corporal más sana y biomarcadores más favorables a la prevención de enfermedades cardiovasculares y de la diabetes tipo 2, y a la mejora de la salud ósea, para el conjunto de todas las causas (Paterson, Jones y Rice, 2007; Paterson y Warburton, 2010; Thompson et al., 2008). En el caso de no poder alcanzar los niveles necesarios de actividad física, los sujetos deben mantenerse activos hasta donde les sea posible y su salud lo permita, esta característica también se da en los adultos.

La evidencia muestra que la práctica de actividad física para mayores está asociada a una mejor salud funcional, dando lugar a un menor riesgo de caídas y a una mejora de las funciones cognitivas. Por tanto, según la OMS en relación a ancianos, al igual que sucede con población adulta, coincide en la prescripción de actividad física mediante las recomendaciones expuestas anteriormente con la ACSM.

En relación a lo expuesto con anterioridad, y para que los beneficios de la práctica ejercicio físico sean más óptimos, es necesario un proceso idóneo de cuantificación de la carga, de este modo, los profesionales de las Ciencias del Deporte establecen programas centrados en la frecuencia, la duración y la intensidad del entrenamiento, siempre orientado a las condiciones de cada sujeto, potenciando las mejoras y controlando los síntomas de sobreentrenamiento (Borresen y Lambert, 2009). Hay una gran multitud de medidas para la cuantificación de la carga de entrenamiento, pero las más empleadas son la monitorización de la frecuencia cardíaca, que se basa en el principio de una relación lineal entre la frecuencia cardíaca y la frecuencia de trabajo para intensidades submáximas por debajo del umbral

ventilatorio 2 (VT2), existen diferentes formas de determinar la frecuencia cardíaca, pero algunos autores, defienden el uso del porcentaje de la frecuencia cardíaca de reserva, que es la diferencia existente entre la frecuencia cardíaca máxima y la frecuencia cardíaca de reposo de un sujeto en cuestión, se emplea para el cálculo, mediante porcentaje, de zonas de entrenamiento. Por otra parte sería importante poder controlar factores contaminantes, como altitud, medicación e hidratación para una mayor precisión (Borresen y Lambert, 2009). Otra de las medidas más empleadas para la cuantificación de la actividad es el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2\text{máx}}$ ), aunque la principal limitación es que no es aplicable para ejercicios de tipo interválico, ni tampoco es muy útil para las actividades de tipo anaeróbicas (Borresen y Lambert, 2009). Otra de las medidas empleadas para la cuantificación de la carga de entrenamiento es la evaluación del esfuerzo percibido (RPE), que consiste en el entendimiento de que los atletas son capaces de controlar el estrés fisiológico que causa el ejercicio sobre su organismo, pudiendo así, ajustar su intensidad de entrenamiento en relación a sus propias percepciones del esfuerzo (Borresen y Lambert, 2009). A las tres anteriores medidas se debe de sumar una cuarta, la concentración de lactato en sangre, es una forma de cuantificación muy simple, ya que se obtiene con una gota de sangre sobre una tira reactiva. La concentración de lactato de forma general es de 1-2 mmol/L y su incremento nos permite conocer el uso de la vía anaeróbica en un momento puntual del entrenamiento, al igual que las demás medidas, tiene algunos factores limitantes que afectan en la medición, como la temperatura ambiente, la dieta, la cantidad de masa muscular del sujeto entre otros. (Borresen y Lambert, 2009).

El análisis de la eficiencia tiene por objeto conocer, dentro de múltiples posibilidades de entrenamiento, cual genera mayores beneficios con cargas o esfuerzos menores. Este análisis se puede llevar a cabo de forma matemática, mediante el uso de programación lineal conocida como Data Envelopment Analysis (DEA), un proceso propuesto por Charnes, Cooper y Rhodes (1978) que permite determinar de una población determinada de unidades productivas (DMU) cuales poseen la mejor relación ente productividad / gasto (outputs / inputs). Consiguiendo así identificar las fortalezas y las debilidades de los sujetos y establecer un camino para la mejora de dichas debilidades, es decir, una forma de entrenamiento óptima para las condiciones de cada sujeto o deportista en el ámbito deportivo concreto en el que se encuentren (Ruíz, Pastor y Pastor, 2013).

Estos procesos han sido aplicados al deporte con anterioridad, más concretamente en deportes como el baloncesto (Cooper, Ruiz y Sirvent, 2009), el béisbol (Anderson y Sharp,

1997; Chen y Jhonson, 2010; Sexton y Lewis, 2003), el golf (Fried, Lambrinos y Tyner, 2004) y el fútbol (Alp, 2006) entendiendo al deportista como un DMU, y determinando las variables del entrenamiento y/o el rendimiento como inputs y outputs (Ruíz et al., 2013). Este sistema puede ser aplicado como medida para conocer la relación entre el entrenamiento (visto como inputs) y la mejora del rendimiento (visto como outputs). Incluso puede ser empleado para la comparación de un deportista, no consigo mismo, sino con otro deportista, gracias a la comparación de la eficiencia cruzada, que es una extensión del DEA con el objeto de llevar a cabo una clasificación de DMUs (Doyle y Green, 1994), pudiendo realizar así una evaluación por pares.

El objetivo de este trabajo es analizar los planes de entrenamiento personalizado del programa PMC de la Universidad Miguel Hernández de Elche en sujetos y evaluar la eficiencia de los mismos mediante la aplicación de modelos DEA.



## **2. MATERIAL Y MÉTODO.**

### **Participantes.**

La muestra total obtenida consta de 42 sujetos, 18 hombres y 25 mujeres, accedieron de forma voluntaria al programa PMC. No existen criterios de inclusión estrictamente marcados, excepto que la muestra con algún problema de salud adjunte un justificante médico, en el que su médico de cabecera indique que pueden realizar ejercicio físico sin ningún tipo de problema. Los sujetos se agrupaban en pequeños grupos, cada grupo tenía un monitor deportivo cualificado. La totalidad de los monitores deportivos era de 7, mientras que la media de la muestra total de sujeto en relación a cada monitor es de 6 sujetos por monitor.

Finalmente, solo se han obtenido datos completos de 11 sujetos de los 42 que se iniciaron en el programa.

### **Instrumental.**

Para establecer una valoración funcional de los participantes, se realizan una serie de mediciones y de test validados. Los test empleados para la valoración funcional han sido:

*Bioimpedancia:* Se realizará una bioimpedancia electrónica con una Tanita a los sujetos, además de una medición del índice cintura-cadera. Este tipo de evaluación también será realizada en sujetos con edad superior a los 65 años.

*Registros frecuencia cardíaca:* control de la frecuencia cardíaca de reposo y medición de la tensión arterial. Será realizada de igual forma para sujetos mayores de 65 años.

*Y-Balance:* Se trata de un test de equilibrio. El participante se sitúa sobre una estrella dibujada en el suelo, situando el centro de su pie descalzo en el centro de la estrella. El test consiste en realizar un ligero toque con el pie (sin apoyar el pie o impulsarse con él) a la máxima distancia que se pueda, sin levantar ni mover el pie de apoyo. Se considera finalizada la repetición cuando vuelva a la posición de inicio. Las manos deben estar apoyadas sobre la cadera durante todo el ejercicio. Únicamente evaluamos las regiones anterior, posteromedial y posterolateral.

*Test de Biering-Sorensen:* Consiste en mantener el tronco suspendido en el aire en posición horizontal y paralelo al suelo, el mayor tiempo posible. El test finaliza cuando el participante no puede mantener la posición y pierde la horizontalidad (la cabeza y hombros



dirección hacia el suelo). El participante debe de estar en posición decúbito prono sobre la camilla, donde ésta le quedará a la altura de la cintura, es decir, todo el miembro superior del sujeto, hasta la cintura, quedará suspendido en el aire.

*Test de resistencia dinámica de musculatura abdominal (Flexo-rotation trunk):* Consiste en realizar el mayor número de movimiento de flexo-rotación posible durante 90 segundos. Los participantes se sitúan en posición decúbito supino sobre una superficie semi-rígida, con los pies apoyados en el suelo y las rodillas flexionadas en 90°.

Los test para la valoración de la resistencia se reflejan a continuación, en todos ellos se debe anotar la FC máxima obtenida por el participante.

*Diper en cinta o bici:* Se debe de conocer la velocidad máxima del sujeto, bien en cinta o en cicloergómetro. Con ese dato se establecen 15 escalones de incremento de velocidad hasta llegar a la intensidad máxima. Para que el test sea válido, se necesita cubrir 15 escalones. Los cambios tienen un incremento de 0.3 Km/h y se cambian cada 30 segundos.

*Test de la milla:* Consiste en recorrer una distancia de 1.609 metros a un ritmo constante sobre un circuito trazado con conos o sobre un tapiz rodante. Se puede obtener el  $VO_2$ máx. Este test también será aplicado a sujetos mayores de 65 años, con la única particularidad de que se debe prestar atención a su frecuencia cardíaca en el último cuarto de la prueba.

*Test del escalón:* Se deben realizar subidas continuas a un banco de 40 cm, durante 3 minutos, a un ritmo de 24 subidas/minuto (hombres) y 22 subidas/minuto (mujeres). Tras finalizar el test, el sujeto debe sentarse y registrar, inmediatamente, su FC pico durante 60 segundos.

*Toe-Touch:* Este test se encarga de medir la flexibilidad de los participantes. Los sujetos se suben a un cajón de 40 cm, descalzos. Manteniendo las piernas rectas sin flexionarlas bajarán a tocar la regla colocada en el cajón con los dedos. Si logran pasar del 0 cm se contabilizan como centímetros positivos, por el contrario, si no lo logran se contabilizan como negativos.

*Fuerza isométrica máxima:* Este test determina la fuerza máxima de agarre empleando un dinamómetro. El sujeto debe estar de pie, en posición erguida y mirando al frente. Con el brazo extendido y la mano en posición neutra. Desde esa posición apretará con todas sus

fuerzas el instrumento de medición durante 5 segundos. Se llevarán a cabo dos repeticiones, en el caso de que la diferencia entre ambas sea superior a un 10%, se deberá llevar una tercera repetición. El descanso entre repeticiones es de 30 segundos. Se escoge el máximo valor obtenido. Este mismo test, de forma similar, es aplicado también a los sujetos mayores de 65 años

*Fuerza dinámica máxima (1RM y Carácter del Esfuerzo):* Protocolo para la estimación del 1 RM. Se inicia con un calentamiento con mínima resistencia en la máquina (12-15 repeticiones). Se realiza, a continuación, una serie de calentamiento con una carga  $\leq 50\%$  del 1RM en función de la percepción del esfuerzo (12-15 repeticiones). Se incrementa el peso a movilizar utilizando una carga  $\leq 75\%$  del 1RM en función de la percepción del esfuerzo (8-12 repeticiones). Realizar una o dos series más para ajustar la realización de 8-10 repeticiones. Se debe llegar al límite (no superar las 8-10 repeticiones). Para su cálculo, se sigue la fórmula elaborada por Brzycki (1993), que es  $1RM = \text{kg}/(1.0278 - 0.0278 * \text{rep})$ . Dicho test será aplicado bajo las mismas condiciones a los sujetos mayores de 65 años.

Por otra parte, dichas valoraciones funcionales son realizadas en aquellos sujetos con edades comprendidas entre los 25-65 años, ya que para los sujetos mayores de 65 años se han establecido otra serie de test adaptados a sus condiciones y que valoran aquello que más relevancia tiene en esta población. Algunos de estos test son similares para ambos grupos de edad. Los test aplicados de forma específica a esta población, han sido:

*Cuestionarios psicológicos:* Se llevan a cabo 4 cuestionarios diferentes para conocer la motivación hacia la práctica deportiva, el estado de ánimo y el estado físico del participante. Los cuestionarios son:

1. Karolinska sleep diary (KSD): Se pretende conocer la calidad del sueño durante el periodo de entrenamiento.
2. Escala de adjetivo de estado afectivo: Se emplea para conocer cómo se siente el sujeto tras cada sesión de entrenamiento.
3. Vitalidad subjetiva (VS): Se pretende conocer cómo se siente el sujeto de forma habitual.
4. Escala de satisfacción con la vida: Pretende saber cómo de satisfecho se siente con la vida en estos momentos.

También se aplican test para determinar la capacidad de equilibrio estático del que gozan los participantes, los test son:

*Bipodal 10 segundos:* De pie en posición erguida y manos apoyadas en la cadera, el participante debe mantener la postura durante 10 segundos.

*Semi tándem 10 segundos:* Se pie, en posición erguida, manos apoyadas en la cadera y un pie ligeramente adelantado, el participante deberá mantener la postura durante 10 segundos.

*Tándem 10 segundos:* De pie en posición erguida, manos apoyadas en la cadera y un pie colocado delante del otro, el participante deberá mantener la postura durante 10 segundos.

*Monopodal:* De pie, en posición erguida, manos apoyadas en la cadera y apoyados sobre otro pie, el participante deberá mantener la postura durante 10 segundos.

También se aplican test para valorar el equilibrio de tipo dinámico, que son:

*T25:* Los participantes recorrerán una distancia de 10 metros caminando lo más rápido posible, para ello se colocan previo a los 10 metros, 2 metros de aceleración y 2 metros de frenado.

*8 foot time up and go:* Este test determina la agilidad y el equilibrio dinámico. Se inicia sentados en una silla con las manos descansando sobre las rodillas y los pies en el suelo. A la señal, los participantes deben levantarse, caminar hasta el otro cono y volver a sentarse lo más rápido posible sin llegar a correr.

Test para medir la flexibilidad, son:

*Chair sit and reach:* Los participantes se sientan en el borde de la silla. Una pierna flexionada y apoyada en el suelo. La otra, dominante, estará estirada con el tobillo apoyado en el suelo y el pie en flexión. Los participantes intentarán llegar a tocar con la punta de los dedos la punta del pie, manteniendo la posición final al menos 2 segundos y evitando rebotes. Si los dedos consiguen pasar la punta del pie, se consideran como valores positivos, mientras que si no lo hacen se consideran valores negativos. Se llevan a cabo 2 intentos con cada pierna.

*Back scratch:* El test se realiza de pie. La mano dominante se coloca por encima del hombro intentando bajar los dedos tanto como sea posible. La otra mano se coloca en la

espalda con la palma de la mano mirando hacia fuera, intentaremos unirla junto a la otra mano tanto como sea posible. Cogerse los dedos no está permitido. Una regla de 30 cm. Será usada para el test. La distancia medida entre los dedos corazón de las manos será el resultado del test. Si los dedos se superponen el valor será positivo, en caso contrario será negativo. Realizarán 2 intentos con cada brazo.

Los test para valorar la fuerza/potencia, son:

*Flexión de brazos con pesas (the arm Curl):* Los participantes estarán sentados en una silla con una altura de 44 centímetros. La espalda debe estar pegada al respaldo y los pies en el suelo. Se sujeta una pesa de 2Kg para mujeres y de 3.5 para hombres. El test se realiza con ambos brazos. El brazo debe descansar a lo largo del cuerpo y la silla perpendicular al suelo. El sujeto debe flexionar el codo y poner en posición supina la mano, posteriormente extenderla para volver a la posición inicial. Se debe contar el número de repeticiones completas que realice el sujeto durante 30 segundos.

*Modelo de análisis de eficiencia:* En este trabajo se recurrirá a un análisis DEA para estimar la eficiencia de los diferentes sujetos entendidos como unidades de producción. El modelo para calcular la distancia de la unidad evaluada a la frontera tecnológica será un modelo de escala variable evolucionado del propuesto por Banker et al. (1984), en el cual se aplicarán límites que permitan un retorno constante de escala siguiendo la publicación de Cooper et al. (2011).

$$\begin{aligned}
 BAM_{VRS}(X_k, Y_k) = \underset{\lambda, s^-, s^+}{Min} & \quad 1 - \frac{1}{m+s} \left( \sum_{r=1}^m \frac{s_r^-}{L_{rk}} + \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{U_{rk}} \right) \\
 s.a. & \quad \sum_{j \in E_{VRS}} \lambda_j X_{ij} = X_{ik} - s_{ik}^-, \quad i = 1, \dots, m \\
 & \quad \sum_{j \in E_{VRS}} \lambda_j Y_{rj} = Y_{rk} + s_{rk}^+, \quad r = 1, \dots, s \\
 & \quad \sum_{j \in E_{VRS}} \lambda_j = 1, \\
 & \quad \lambda_j \geq 0, \quad j \in E_{VRS} \\
 & \quad s_{ik}^- \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \\
 & \quad s_{rk}^+ \geq 0, \quad r = 1, \dots, s
 \end{aligned}$$

### 3. BIBLIOGRAFÍA.

- Alp, I. (2006). Performance evaluation of goalkeepers of the world cup. G.U. *Journal of Science*, 19, 119-125.
- Anderson, T. R., & Sharp, G. P. (1997). A new measure of football batters using DEA. *Annals of Operations Research*, 73, 141-155.
- Banker R. D., Carnes A., & Cooper W.W. (1984) Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science* 30: 1078-1092
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2009). The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sports Medicine*, 39(9), 779-795.
- Brzycki, M. (1993). Strength testing—predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 64(1), 88-90.
- Cenarruzabeitia, J. J. V., Hernández, J. A. M., & Martínez-González, M. Á. (2003). Beneficios de la actividad física y riesgos del sedentarismo. *Medicina clínica*, 121(17), 665-672.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.
- Chen, W.-C., & Johnson, A. L. (2010). The dynamics of performance space of major league baseball pitchers 1871-2006. *Annals of Operations Research*, 181, 287-302.
- Chodzko-Zajko, W. J., Proctor, D. N., Singh, M. A. F., Minson, C. T., Nigg, C. R., Salem, G. J., & Skinner, J. S. (2009). Exercise and physical activity for older adults. *Medicine & science in sports & exercise*, 41(7), 1510-1530.
- Cooper W. W., Pastor J.T., Borrás F., Aparicio J. & Pastor D. (2011). BAM: a bounded adjusted measure of efficiency for use with bounded additive models. *Journal of Productivity Analysis* 35: 85-94.
- Devís Devís, J., & Peiró Velert, C. (1993). La actividad física y la promoción de la salud en niños/as y jóvenes. *Revista de psicología del deporte*, 2(2), 0071-86.

- Doyle, J. R., & Green, R. H. (1994). Efficiency and cross-efficiency in DEA: Derivations, meanings and uses. *Journal of the Operational Research Society*, 45, 567-578.
- Fried, H. O., Lambrinos, J., & Tyner, J. (2004). Evaluating the performance of profesional golfers on the PGA, LPGA and SPGA tours. *European Journal of Operational Research*, 154, 548-561.
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., & Swain, D. P. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(7), 1334-1359.
- Hanifi, R., Lambert, Vicky., Fulton, Janet., Haskell, W., Buchner, D., Tremblay, M., Alkandri, J.R., Khan, S., Bull, F., Oja, P., Leetongin, G., Bauman, A., Leung, T.H. (2002). Recomendaciones mundiales sobre la actividad física para la salud.
- Haskell, W. L., Lee, I. M., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A. & Bauman, A. (2007). Physical activity and public health. Updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation*.
- Janssen, I., & LeBlanc, A. G. (2010). Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth. *International Journal of Behavioral nutrition and physical activity*, 7(1), 40.
- McGinnis, J. M., & Foege, W. H. (1993). Actual causes of death in the United States. *Jama*, 270(18), 2207-2212.
- Paterson, D. H., & Warburton, D. E. (2010). Physical activity and functional limitations in older adults: a systematic review related to Canada's Physical Activity Guidelines. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 7(1), 38.
- Paterson, D. H., Jones, G. R., & Rice, C. L. (2007). Ageing and physical activity: evidence to develop exercise recommendations for older adults. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 32(S2E), S69-S108.

- Powell, K.E., Thompson, P.D., Casperson, C., Kendrick, J.S. (1987). Physical activity and the incidence of coronary heart disease. *Annual Review of Public Health*, 8,253-87.
- Ruiz, J. L., Pastor, D., & Pastor, J. T. (2013). Assessing professional tennis players using data envelopment analysis (DEA). *Journal of Sports Economics*, 14(3), 276-302.
- Sexton, T. R., & Lewis, H. F. (2003). Two-stage DEA: An application to major league baseball. *Journal of Productivity Analysis*, 19, 227-249.
- Thompson, P. D., Arena, R., Riebe, D., & Pescatello, L. S. (2008). ACSM's new preparticipation health screening recommendations from ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. *Current sports medicine reports*, 12(4), 215-217
- Thompson, P. D., Arena, R., Riebe, D., & Pescatello, L. S. (2013). ACSM's new preparticipation health screening recommendations from ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. *Current sports medicine reports*, 12(4), 215-217.
- Tirrel, K. e Israel, L. (1991). La inactividad física aumenta los factores de riesgo para la salud y la capacidad física (Declaración de posición de la Federación Internacional de Medicina del Deporte -FIMS). *Boletín Femedede*, 12,2-3.
- Varo JJ, Martínez-González MA, De Irala-Estévez J, Kearney J, Gibney M, Martínez JA. (2003). Distribution and determinants of sedentary lifestyles in the European Union. *Int J Epidemiol*, 32:138-46.
- Warburton, D. E., Charlesworth, S., Ivey, A., Nettlefold, L., & Bredin, S. S. (2010). A systematic review of the evidence for Canada's Physical Activity Guidelines for Adults. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 7(1), 39.