

**TRABAJO FIN DE GRADO**  
**CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE**



**UNIVERSIDAD DE ALMERÍA**

**EFFECTOS AGUDOS DE DOS PROTOCOLOS DE POTENCIACIÓN POST-  
ACTIVACIÓN ESTIMULADA (PAPE) SOBRE EL EJERCICIO DE SALTO  
CON CONTRAMOVIMIENTO**

**ACUTE EFFECTS OF TWO PROTOCOLS OF POST-ACTIVATION  
PERFORMANCE ENHANCEMENT (PAPE) ON THE COUNTERMOVEMENT  
JUMP EXERCISE**

**Autor:** Antonio Jesús Villar Ramiro

**Director:** Manuel Antonio Rodríguez Pérez

**Curso académico:** 2020-2021

**Convocatoria:** Mayo

facultad  
de  
ciencias  
de la  
educación 

## ÍNDICE

<b>Resumen</b> .....	3
<b>Abstract</b> .....	4
<b>Introducción</b> .....	5
<b>Método</b> .....	9
<i>Diseño del estudio</i> .....	9
<i>Aspectos éticos</i> .....	9
<i>Participantes</i> .....	9
<i>Procedimiento</i> .....	10
<i>Evaluaciones</i> .....	11
<b>Análisis estadístico</b> .....	13
<b>Discusión</b> .....	13
<b>Referencias</b> .....	15
<b>Anexos</b> .....	22

## **Resumen**

*Introducción:* Entrenadores y preparadores físicos, están aumentando el interés en los últimos años por conocer las estrategias y mecanismos por los cuales es posible inducir mejoras agudas sobre rendimiento en sus atletas, tras la realización de un estímulo potenciador previo. Desde sus inicios, alrededor del año 1871, han ido surgiendo nuevos términos para mencionar este mecanismo, hasta que recientemente se le ha dado el nombre de: “potenciación post-activación estimulada” (PAPE). Hasta ahora, este efecto ha sido inducido mediante distintos tipos de estímulos, como series con repeticiones excéntricas, isométricas o tradicionales de fuerza. Sin embargo, no existen estudios que comparen los efectos PAPE sobre el Salto con contramovimiento (CMJ), mediante series con repeticiones organizadas en bloques o más conocidas como Clúster, igualando la fatiga inducida a los sujetos mediante el control de la velocidad de ejecución.

*Objetivo:* Observar las mejoras agudas sobre el rendimiento en CMJ mediante dos protocolos PAPE en diferentes condiciones, a los 4,8,12 y 24 minutos tras la actividad condicionante.

*Método:* Los sujetos realizarán aleatoriamente dos protocolos de entrenamiento, en ambos se realizará una única serie de sentadilla completa con la carga individual diaria relacionada con el 60% 1RM. Por un lado, en el protocolo tradicional (PTRAD) se realizarán repeticiones continuas hasta alcanzar una pérdida en la velocidad media (VM) del 10% entre la primera y la última repetición. En el caso del protocolo clúster (PCLUS) los sujetos realizarán repeticiones distribuidas en bloques de 2, con descansos entre bloques de 30 segundos y finalizando la serie al llegar a la misma pérdida en la VM.

*Discusión:* Prácticamente, no existen hasta la fecha estudios que hayan comparado ambos tipos de protocolos siguiendo esta estructura, sin embargo, pensamos que el protocolo clúster inducirá un mayor efecto PAPE sobre el rendimiento en las diferentes condiciones de medición, al inducir un mayor estímulo en los individuos, pero igualando el grado de fatiga entre todos.

**Palabras clave:** rendimiento, clúster, salto vertical, potencia, velocidad de ejecución.

## **Abstract**

*Introduction:* Coaches and physical trainers have become increasingly interested in recent years in knowing the strategies and mechanisms by which it is possible to induce acute improvements in the performance of their athletes after a previous potentiating stimulus. Since its beginnings, around the year 1871, new terms have emerged to mention this mechanism, until recently it has been given the name: “post-activation performance enhancement” (PAPE). Until now, this effect has been induced by means of different types of stimuli, such as series with eccentric, isometric or traditional strength repetitions. However, there are no studies comparing the PAPE effects on Countermovement jump (CMJ), through sets with repetitions organized in blocks or better known as Cluster, matching the fatigue induced to the subjects by controlling the speed of execution.

*Objective:* To observe acute improvements on CMJ performance using two PAPE protocols under different conditions, at 4,8,12 and 24 minutes after the conditioning activity.

*Methodology:* The subjects will randomly perform two training protocols, in both of which a single set of full squat will be performed with the daily individual load related to 60% 1RM. On the one hand, in the traditional protocol (PTRAD) continuous repetitions will be performed until reaching a loss in mean velocity velocity (VM) of 10% between the first and last repetition. In the case of the cluster protocol (PCLUS) the subjects will perform repetitions distributed in blocks of 2, with 30-second rests between blocks and ending the series when reaching the same loss in MP.

*Discussion:* Practically, there are no studies to date that have compared both types of protocols following this structure, however, we believe that the cluster protocol will induce a greater PAPE effect on performance in the different measurement conditions, by inducing a greater stimulus in individuals, but equalizing the degree of fatigue among all.

**Key words: Performance, cluster, vertical jump, power, velocity based training.**

## **Introducción**

Las mejoras agudas y crónicas del rendimiento físico son el principal objetivo de entrenadores y atletas en el ámbito deportivo. Las mejoras crónicas del rendimiento se obtienen a largo plazo, gracias a una correcta planificación y periodización de las cargas durante todo el proceso de entrenamiento (Badillo & Serna, 2018). Las mejoras agudas, pueden conseguirse durante o previo al entrenamiento o competición mediante estrategias tanto psicológicas como físicas.

En cuanto a la mejora aguda del rendimiento, se ha prestado especial atención a estrategias que posibiliten una respuesta contráctil mejorada. Los primeros artículos enfocados en esta temática utilizaban “escalera” como término para definir este fenómeno (Bowditch, 1871), posteriormente se vinculó la potenciación y la fatiga (Brown & Tuttle, 1926), apareciendo en la década de los 30 el término “potenciación post-tetánica” (PTP) (Brown & von Euler, 1938; Guttman et al., 1936), describiendo este efecto como un aumento de la tensión de torsión tras una estimulación muscular tetánica sostenida de forma involuntaria, residiendo de manera exclusiva en el músculo y sin influencias del sistema nervioso central. El término “potenciación post-activación” (PAP) es más difícil de situar en el tiempo, sin embargo, (Burke et al., 1976) lo utilizaron como distinción de la PTP, aceptando posteriormente que la mejora del rendimiento es inducida por una contracción voluntaria máxima o submáxima. A nivel fisiológico esta respuesta potenciada parecía estar producida por una mayor fosforilación de las cadenas ligeras de la miosina dependientes del calcio, lo que conllevaba a una mayor sensibilidad del complejo actina-miosina (Persechini et al., 1985), aumentando la tasa de formación de puentes cruzados, lo que provocaba un aumento en la tasa de desarrollo de fuerza (RFD) (Brown & Euler, 1938). Gracias a la popularización de la PAP, diversas investigaciones (Belanger et al., 1983; Vandervoort et al., 1983) consiguieron entender y realizar avances sobre este término demostrando que la PAP dependía del tipo de músculo involucrado, la duración de las contracciones voluntarias máximas (CVM) <10 segundos respecto a contracciones más largas presentaban mejores resultados al producir sobre el sujeto una menor fatiga, aunque, el hallazgo más importante fue descubrir que el mayor efecto detectado tras las contracciones condicionantes fue inmediato a la finalización de estas, disminuyendo a la mitad después de 28 segundos y siendo casi inexistente a los 8-10 minutos posteriores al estímulo condicionante (Vandervoort et al., 1983). Por lo tanto, conociendo que los mayores efectos de la PAP se producen en los primeros 28 segundos pero que las mayores mejoras sobre el rendimiento aparecen a partir de los 6 minutos

posteriores al estímulo condicionante, se cuestiona si la explicación tradicional es la principal protagonista en la mejora aguda del rendimiento, sugiriendo que esta mejora puede tener orígenes tanto periféricos como centrales (Folland et al., 2008). Recientemente, (Cuenca-Fernández et al., 2017) han propuesto el término “potenciación post-activación estimulada” (PAPE) diferenciándose del término tradicional “potenciación post-activación” y exponiendo el mal uso que se ha hecho de éste desde la comunidad científica, al ser un efecto con causas y efectos temporales distintos, aunque en ciertos momentos ambos mecanismos podrían llegar a influenciarse mutuamente. El término PAPE tiene en cuenta tanto mecanismos periféricos como el incremento de la temperatura corporal, pH muscular, contenido en agua y/o flujo sanguíneo, como también mecanismos centrales incluyendo el aumento del impulso neural al tejido muscular, el arousal y la motivación (Blazevich & Babault, 2019; Boullosa et al., 2020). Por lo tanto, en este trabajo utilizaremos el término “potenciación post-activación estimulada” (PAPE) para referirnos a los aumentos en la producción voluntaria de fuerza (o rendimiento en un determinado ejercicio) tras una actividad o estímulo condicionante previo.

Se han utilizado múltiples estrategias como medio para producir un efecto PAPE, por ejemplo, la manipulación del tipo de contracción a través de isometrías mantenidas (Lim & Wong, 2018; Lim & Kong, 2013; Lum & Barbosa, 2019), incidiendo en la fase excéntrica o concéntrica del movimiento (Beato et al., 2020; Maroto-Izquierdo et al., 2020; Ong et al., 2016; Sañudo et al., 2020) o mediante series tradicionales de fuerza con cargas máximas, submáximas o ligeras (Bevan et al., 2010; Krzysztofik et al., 2020). Sin embargo existen pocos estudios que hayan utilizado la modificación de la serie tradicional para inducir una mejora aguda del rendimiento (Dello Iacono et al., 2020).

Por lo general, los entrenamientos tradicionales se caracterizan por la realización de repeticiones de manera continua, agrupándose en series de trabajo, seguidas por descansos generalmente pasivos que permiten al sujeto recuperarse parcial o totalmente del esfuerzo previo. Una alternativa a esta organización del trabajo se conoce como entrenamiento o series clúster (Ortega-Becerra et al., 2021). En este tipo de entrenamiento las repeticiones dentro de una misma serie (intra-serie) se organizan en pequeños bloques, seguidos de descansos de corta duración (en torno a 20-30 segundos), alternándose con descansos más largos entre series, como los realizados en el entrenamiento tradicional. El uso de este tipo de series en el entrenamiento de fuerza permite obtener grandes ventajas respecto al entrenamiento tradicional, por ejemplo, es posible trabajar con un mayor

volumen por serie ante una misma intensidad relativa, o viceversa, trabajar con una mayor intensidad ante un mismo volumen total, lo que permite maximizar el estímulo sin aumentar la fatiga, esto puede ser ideal tanto en poblaciones adultas como también en deportistas de rendimiento, los cuales necesitan obtener los máximos beneficios del trabajo con cargas en limitadas sesiones de entrenamiento, sobre todo durante la temporada (Jukic et al., 2021; Ortega-Becerra et al., 2021). Multitud de estudios comparan el rendimiento mecánico de las series clúster en comparación con las tradicionales durante la sesión (Denton, J. Cronin, 2006; Morales-Artacho et al., 2019; Ortega-Becerra et al., 2021) en actividades como el salto (Rial-Vázquez et al., 2020), sprint (Jukic et al., 2021) u otros ejercicios enfocados a la mejora del rendimiento (García-Ramos et al., 2015; Tufano et al., 2016) mostrando mejores resultados cinéticos de velocidad y potencia y una menor fatiga, ante un mismo volumen e intensidad para los sujetos que realizan series clúster (Ortega-Becerra et al., 2021). Sin embargo, es necesario destacar una desventaja importante de esta metodología, la cual podría ser el aumento en el tiempo total de la sesión de entrenamiento (Jukic et al., 2021; Tufano et al., 2017).

El uso del clúster como herramienta condicionante para producir un efecto potenciador sobre el rendimiento, ha sido muy poco estudiado hasta el momento. Recientemente se ha publicado un estudio (Dello Iacono et al., 2020), realizado a 26 jugadores de baloncesto profesionales, con el objetivo de observar la mejora del rendimiento en el salto con contramovimiento (CMJ) intra sesión tras la realización de dos protocolos PAPE. Los sujetos divididos en dos grupos realizaban aleatoriamente dos protocolos PAPE separados por 72 horas de descanso. Por un lado, entrenamiento tradicional, el cual consistía en 3 series de 6 repeticiones y, por otro lado, entrenamiento clúster, en el que se realizaban 3 series de 6 repeticiones distribuidas en bloques de 2 y con descansos entre bloques de 20 segundos. El descanso entre series para ambos protocolos era de 2 minutos y el ejercicio utilizado como estímulo condicionante era la sentadilla con salto (SJ). En ambos protocolos las mayores mejoras se observaron a los 8 minutos. La mejora en CMJ fue de 1,7 cm y 3,4 para el grupo tradicional y clúster, respectivamente. Las principales limitaciones de este estudio fueron en primer lugar, la ausencia de un grupo control que no realizara ningún tipo de actividad condicionante tras el calentamiento, por otro lado, la falta de información sobre el grado de fatiga generada a los sujetos en ambos protocolos, lo que provoca dudas sobre si todos los participantes obtuvieron el mismo estímulo condicionante, ya que ha sido ampliamente demostrado que ante un estímulo

concreto, por ejemplo, un número de repeticiones asociadas a una carga o porcentaje de RM, existe una respuesta individualizada que no puede ser comparada entre sujetos (Izquierdo et al., 2006). Para conocer e igualar el grado de fatiga inducida a un individuo por una actividad es necesario introducir el entrenamiento basado en la velocidad de ejecución (VBT) (González-Badillo et al., 2011; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). Esta herramienta ampliamente estudiada, hace posible igualar el estímulo inducido a diferentes sujetos, gracias a la relación existente entre la pérdida velocidad de desplazamiento de la barra en la fase concéntrica y la fatiga generada a nivel central y periférico ante una determinada carga (González-Badillo et al., 2011; Sánchez-Medina et al., 2013; Sánchez-Medina et al., 2017). En cada repetición, la velocidad de desplazamiento durante la fase concéntrica que se toma en cuenta puede ser diferente, velocidad media de toda la fase (VM), velocidad media propulsiva (VMP), desde el comienzo de la fase concéntrica hasta que la aceleración de la barra es menor que la gravedad [ -9,81 m.s] y la velocidad pico (VP), valor de la velocidad máxima instantánea alcanzada durante la fase concéntrica del ejercicio (González-Badillo et al., 2011; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). Además, gran cantidad de investigaciones han relacionado la velocidad de la primera repetición y el correspondiente porcentaje del RM en ese ejercicio (Sánchez-Medina et al., 2013; Sánchez-Medina et al., 2017). Por otro lado, tradicionalmente el 1RM ha sido un indicador de la mejora del rendimiento tras un proceso de entrenamiento y evaluado de forma directa a través de cargas progresivas hasta alcanzar la máxima carga que es capaz de desplazar un sujeto una sola vez (Badillo & Serna, 2018). Sin embargo, este método ha demostrado ser ineficiente y peligroso en deportistas no experimentados en el trabajo con cargas, además genera una fatiga que puede perjudicar al desempeño del máximo rendimiento en la tarea principal (Badillo & Serna, 2018; Sánchez-Medina & González-badillo, 2011) . Como solución a esto existen diferentes métodos en la literatura científica que nos ayudan a evaluar el 1RM en cada sesión de entrenamiento en diferentes ejercicios, generando además una mínima fatiga y realizándose de forma sencilla y rápida (Garcia-Ramos & Jaric, 2018; J. J. González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010b).

En vista de lo anterior, el objetivo de este estudio será investigar las respuestas de la PAPE a través de una configuración en clúster en comparación con una tradicional sobre el CMJ, utilizando la sentadilla completa como ejercicio condicionante. En ambos protocolos se igualará el grado de fatiga generada a los sujetos a través del uso del VBT. Nuestra principal hipótesis es que el grupo con una configuración en clúster obtendrá una mayor mejora aguda tras la actividad condicionante, ya que como hemos explicado anteriormente, este tipo de configuración permite maximizar el estímulo a través de un mayor volumen de repeticiones que el grupo que realice entrenamiento tradicional, igualando el grado de fatiga entre sujetos en los dos protocolos.

## **Método**

### *Diseño del estudio*

Se llevará a cabo un estudio con un diseño cruzado aleatorizado, en el cual los sujetos deberán asistir a una sesión de familiarización y dos sesiones experimentales donde realizarán: Protocolo tradicional (PTRAD) y protocolo clúster (PCLUS) en el ejercicio de sentadilla completa, ambos con una pérdida de la VMP del 10%, para observar las mejores intra-sesión en el CMJ. El orden de realización de los protocolos será aleatorizado (Anexo 1).

### *Aspectos éticos*

Los participantes serán informados acerca del procedimiento que se llevará a cabo previo a su realización y firmarán un consentimiento informado. Si alguno de los participantes fuese menor de edad, sus padres o tutor/es legales deberán dar permiso para su participación. El comité de ética de la universidad de Almería será el encargado de aprobar el procedimiento de acuerdo con la declaración de Helsinki.

### *Participantes*

Se reclutarán a 25 sujetos hombres con una edad comprendida entre los 18 y los 35 años. Los criterios de inclusión serán: Tener una experiencia mínima de al menos 1 año en el trabajo con cargas y estar familiarizado en el ejercicio de sentadilla completa, no haber tenido una lesión en el miembro inferior en los últimos 6 meses y no estar consumiendo actualmente ninguna sustancia dopante, medicamento o cualquier tipo de ayuda exógena que pueda alterar el rendimiento.

### *Procedimiento*

El estudio tendrá una duración de dos semanas, realizándose en la primera la sesión de familiarización y en la segunda las dos sesiones experimentales. La separación entre sesiones será de al menos 72 horas. El orden en la realización de los protocolos será de forma aleatoria.

En la primera sesión los participantes se familiarizarán con el ejercicio de sentadilla profunda y CMJ, se determinará el 1RM a través de una relación carga-velocidad y se recogerán medidas antropométricas de talla y peso (tallímetro con base SECA 213; Inbody 270), además, rellenarán un cuestionario personal (Anexo 2).

Los sujetos en todas las sesiones serán citados por la mañana en el Laboratorio 1, del Centro deportivo de la Universidad de Almería, a la misma hora, con unas condiciones ambientales similares (22-24° C y 60% de humedad). Cada sesión será supervisada por dos investigadores familiarizados con el procedimiento a seguir.

*Técnica del ejercicio sentadilla profunda:* Los participantes realizarán la sentadilla profunda con barra alta como ejercicio condicionante. Este ejercicio ha sido ampliamente estudiado en la literatura científica (Sánchez-Medina et al., 2017), mostrando mejores resultados frente a la sentadilla paralela o media sentadilla en pruebas como Wingate, 20 metros y CMJ (Pallarés et al., 2020).

Los usuarios colocarán la barra en la parte superior de sus trapecios, realizarán un agarre que les resulte cómodo atendiendo a su movilidad individual y que será repetido en todas las sesiones, los pies se colocarán debajo de la barra a una anchura similar a la de sus hombros con una ligera inclinación de hasta 15°. Cada repetición partirá desde una posición erguida mantenida durante 1 segundo, posteriormente los sujetos descenderán de forma controlada hasta llegar a un ángulo tibiofemoral 35-45° o hasta que la parte inferior del fémur entre en contacto con la tibia, una vez ahí, se ascenderá con la máxima intención de velocidad hasta la posición de partida (Imagen 1). Se controlará el desplazamiento vertical de la barra durante todas las repeticiones para evitar una reducción excesiva del rango de movimiento y no se permitirá que los pies se despeguen totalmente del suelo al final de la fase concéntrica. Los investigadores motivarán verbalmente a los participantes en cada repetición para realizar la fase concéntrica a la máxima velocidad posible.

Todas las repeticiones se realizarán con una máquina Smith (Peruga Fitness, Murcia, España) con rodamientos a ambos lados que permiten únicamente desplazamientos verticales de la barra. En uno de los extremos, se fijará mediante una correa un sistema de medición dinámica, también conocido como transductor de velocidad lineal (T-Force System; Ergotech, España) validado (Sánchez-Medina & González-badillo, 2011) y que estará conectado mediante un cable a un ordenador, el cual contará con el software instalado para visualizar en tiempo real las salidas mecánicas de cada repetición. En cada repetición se tomará en cuenta la VMP y VM, descrita anteriormente en la primera sección de este trabajo.

### *Evaluaciones*

Al comienzo de todas las sesiones los participantes realizarán un calentamiento que comenzará con 5 minutos de carrera continua a intensidad moderada, seguido de ejercicios de movilidad articular general incidiendo en caderas, rodillas y tobillos y, por último, se ejecutarán estiramientos dinámicos activos sobre el miembro inferior. Tras esto, descansarán 3 minutos manteniéndose de pie sin realizar ningún tipo de actividad, para realizar posteriormente la medición del 1RM diario. Una vez calculado, descansarán de nuevo 3 minutos y se realizará el cálculo del CMJ pre-protocolo. Este último se repetirá al concluir el protocolo correspondiente a los 4, 8, 12 y 24 minutos.

*Evaluación del salto con contramovimiento (CMJ):* Cada prueba constará de 3 saltos, recogiendo el mejor de ellos para su posterior análisis.

La realización de este ejercicio ha sido ampliamente descrita en la literatura científica (Petrigna et al., 2019). Los sujetos partirán desde una posición totalmente erguida con la mirada al frente y las manos colocadas en la cintura. Tras mantener la posición de partida durante 1-2 segundos los sujetos descenderán hasta que la articulación tibiofemoral forme un ángulo de 90°, aproximadamente, una vez ahí los sujetos realizarán una triple extensión máxima y posteriormente, caerán manteniendo la planta de los pies de forma paralela al suelo, para así evitar cualquier confusión con los resultados (Imagen 2).

Para la medición de todos los saltos se utilizará un sistema de obtención óptica de datos (Optojump next, Microgate), el cual ha sido validado previamente (Mpelleri & Affiuletti, 2011) y que será conectado a un ordenador con el Software instalado (OptoJumpNext), donde se analizarán los datos para obtener los resultados individuales, como el tiempo de vuelo y la altura alcanzada por el centro de masas.

*Evaluación de la 1RM:* En este estudio el método utilizado para obtener la carga relacionada con la 1RM será el conocido como método de dos puntos, el cual, ha demostrado tener una alta fiabilidad y correlación comparado con la medición de forma directa, generando además una fatiga mínima (García-Ramos & Jaric, 2018).

Con este método se seleccionarán dos cargas distales cercanas a los puntos de interés, por ejemplo, al 50% y al 80% de la 1RM y se anotarán las cargas relacionados con la VM. La VM de la 1RM para este ejercicio ha sido establecida a 0,32 m/s (Sánchez-Medina et al., 2017). Los descansos entre series serán de aproximadamente 3 minutos.

Los datos correspondientes a VM y carga utilizada en cada serie se anotarán en una hoja de cálculo (Microsoft Excel) y utilizados para para el cálculo de la carga asociada al 1RM, mediante la ecuación individual, la cual ha mostrado una mayor confiabilidad respecto a la ecuación general, al tener en cuenta las diferencias entre sujetos (Benavides-Ubric et al., 2020; García-Ramos et al., 2019)

#### Protocolo clúster (PCLUS)

Los evaluadores ajustarán la carga correspondiente al 60% del 1RM. Este porcentaje de carga permite producir las máximas salidas de potencia en el ejercicio de sentadilla completa (CORMIE et al., 2007).

Los participantes realizarán una única serie distribuida en bloques de 2 repeticiones con descansos entre bloques de 30'', hasta llegar a una pérdida de la VM del 10%, tomando en cuenta la repetición más rápida.

#### Protocolo tradicional (PTRAD)

Al igual que con el protocolo clúster los usuarios realizarán una serie con una carga correspondiente al 60% del 1RM. Sin embargo, la ejecución de las repeticiones será de forma continua hasta alcanzar una pérdida del 10% de la VM, teniendo como referencia al igual que en el protocolo clúster la repetición más rápida.

### **Análisis estadístico**

Los datos serán presentados como media  $\pm$  desviación estándar (SD). Se comprobará la normalidad de los datos absolutos mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Además, se examinará la confiabilidad entre días del CMJ basal en los días 2 y 3 a través de la correlación de Pearson.

Para comparar los resultados del protocolo clúster frente al tradicional, se calcularán las diferencias intra sujeto entre el CMJ post-intervención en cada protocolo y los resultados en el CMJ basal diario. Estas diferencias se comprobarán a los 4, 8, 12 y 24 minutos tras la actividad condicionante. Por otro lado, se analizarán las diferencias entre sujetos en las dos condiciones de investigación y en todas las condiciones a los 4, 8, 12 y 24 minutos tras la actividad condicionante.

El programa utilizado para el análisis estadístico será IBM SPSS (versión 26) y el nivel de significación estadística (p.valor) se establecerá en  $<0,005$ .

### **Discusión**

Este estudio, hasta donde se conoce, ha sido el primero en comparar los efectos de dos protocolos PAPE sobre el CMJ, utilizando la pérdida de velocidad en la serie como herramienta para igualar la fatiga inducida por el estímulo condicionante.

Nuestra principal hipótesis debe cumplirse ya que estudios previos (Dello Iacono et al., 2020), han mostrado una mayor mejora en el CMJ tras la realización del protocolo clúster en comparación con el tradicional en todas las condiciones de tiempo. Esto podría deberse a que las salidas mecánicas producidas en las series en clúster son mayores en comparación con el protocolo clúster, además producen una menor fatiga igualando la carga y el volumen de trabajo. En nuestro caso, el porcentaje de carga en todas las condiciones será igual, pero, el volumen de repeticiones estará condicionado por la pérdida de velocidad en la serie, para provocar en todos los sujetos y en ambas condiciones el mismo grado de fatiga.

Por otro lado, las mayores mejoras del rendimiento se esperan que se produzcan a partir de los 12 minutos e incluso es posible que mantengan el efecto potenciador varias horas tras el estímulo condicionante. Esto ha sido observado en otro estudio (Dello Iacono et al., 2020), donde las mayores respuestas sobre el CMJ se encontraron a los 8 minutos. Además, estudios recientes muestran que los efectos de la PAPE pueden permanecer incluso 48 horas después de la actividad condicionante (Boullosa, 2021).

La realización de una única serie puede ser una limitación de este estudio, sin embargo, estudios han manifestado que actividades condicionantes de bajo volumen pueden obtener mejores respuestas en comparación con la realización de volúmenes de trabajo mayores (Baena-Raya et al., 2020).

Es importante destacar que la realización de este u otro protocolo PAPE puede o no inducir efectos en otras actividades como el sprint o el cambio de dirección y que será importante probar su efecto en diferentes deportistas, condiciones y niveles para obtener un Feedback y poder realizar modificaciones individuales (Blazevich & Babault, 2019; Boullosa, 2021).

Existen otras limitaciones en este estudio como por ejemplo, no incluir un protocolo control en el que no se realice ningún tipo de actividad tras el calentamiento, por otro lado, no controlar la temperatura corporal durante todas las sesiones, ya que se ha demostrado que puede ser importante para la mejora del rendimiento agudo tras la realización de protocolos PAPE (Blazevich & Babault, 2019; Boullosa, 2021).

Futuras investigaciones deberían estudiar el efecto de varios protocolos PAPE, incluyendo además una condición de control. Por otro lado, sería interesante controlar durante las distintas sesiones la temperatura central de los sujetos mediante diferentes dispositivos. Por último, comprobar las respuestas PAPE en distintas actividades e incluso varias horas después de la actividad condicionante puede ser útil a entrenadores y atletas de cara a introducirlo en competiciones o entrenamientos.

## Referencias

- Badillo, J. J. G., & Serna, J. R. (2018). *EDITORIAL INDE - Bases de la Programación del entrenamiento de fuerza - 3ª edición* (J. R.-S. Juan José González Badillo (ed.)). [https://www.inde.com/es/productos/detail/pro\\_id/200](https://www.inde.com/es/productos/detail/pro_id/200)
- Baena-Raya, A., Sánchez-López, S., Rodríguez-Pérez, M. A., García-Ramos, A., & Jiménez-Reyes, P. (2020). Effects of two drop-jump protocols with different volumes on vertical jump performance and its association with the force–velocity profile. *European Journal of Applied Physiology*, *120*(2), 317–324. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04276-6>
- Beato, M., McErlain-Naylor, S. A., Halperin, I., & Dello Iacono, A. (2020). Current Evidence and Practical Applications of Flywheel Eccentric Overload Exercises as Postactivation Potentiation Protocols: A Brief Review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *15*(2), 154–161. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0476>
- Belanger, A. Y., McComas, A. J., & Elder, G. B. C. (1983). Physiological properties of two antagonistic human muscle groups. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *51*(3), 381–393. <https://doi.org/10.1007/BF00429075>
- Benavides-Ubric, A., Díez-Fernández, D. M., Rodríguez-Pérez, M. A., Ortega-Becerra, M., & Pareja-Blanco, F. (2020). Analysis of the load-velocity relationship in deadlift exercise. *Journal of Sports Science and Medicine*, *19*(3), 452–459.
- Bevan, H. R., Cunningham, D. J., Tooley, E. P., Owen, N. J., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2010). Influence of Postactivation Potentiation on Sprinting Performance in Professional Rugby Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(3), 701–705. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c7b68a>
- Blazevich, A. J., & Babault, N. (2019). Post-activation Potentiation Versus Post-activation Performance Enhancement in Humans: Historical Perspective, Underlying Mechanisms, and Current Issues. *Frontiers in Physiology*, *10*(November). <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01359>
- Boullosa, D. (2021). Post-activation performance enhancement strategies in sport: a brief review for practitioners. *Human Movement, March*. <https://doi.org/10.5114/hm.2021.103280>

- Boullosa, D., Beato, M., Iacono, A. Dello, Cuenca-Fernández, F., Doma, K., Schumann, M., Zagatto, A. M., Loturco, I., & Behm, D. G. (2020). A new taxonomy for postactivation potentiation in sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *15*(8), 1197–1200. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2020-0350>
- Brown, G. L., & von Euler, U. S. (1938). The after effects of a tetanus on mammalian muscle. *The Journal of Physiology*, *93*(1), 39–60. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1938.sp003623>
- Brown, L. T., & Tuttle, W. W. (1926). THE PHENOMENON OF TREPPE IN INTACT HUMAN SKELETAL MUSCLE. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, *77*(2), 483–490. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1926.77.2.483>
- Burke, R. E., Rudomin, P., & Zajac, F. E. (1976). The effect of activation history on tension production by individual muscle units. *Brain Research*, *109*(3), 515–529. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(76\)90031-7](https://doi.org/10.1016/0006-8993(76)90031-7)
- CORMIE, P., MCCAULLEY, G. O., TRIPLETT, N. T., & MCBRIDE, J. M. (2007). Optimal Loading for Maximal Power Output during Lower-Body Resistance Exercises. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *39*(2), 340–349. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000246993.71599.bf>
- Cuenca-Fernández, F., Smith, I. C., Jordan, M. J., MacIntosh, B. R., López-Contreras, G., Arellano, R., & Herzog, W. (2017). Nonlocalized postactivation performance enhancement (PAPE) effects in trained athletes: a pilot study. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *42*(10), 1122–1125. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0217>
- Dello Iacono, A., Beato, M., & Halperin, I. (2020). The Effects of Cluster-Set and Traditional-Set Postactivation Potentiation Protocols on Vertical Jump Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *15*(4), 464–469. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0186>
- Denton, J. Cronin, J. (2006). Kinematic, kinetic, and blood lactate. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *20*(3), 528–534.

- Folland, J. P., Wakamatsu, T., & Fimland, M. S. (2008). The influence of maximal isometric activity on twitch and H-reflex potentiation, and quadriceps femoris performance. *European Journal of Applied Physiology*, *104*(4), 739–748. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0823-6>
- Garcia-Ramos, A., & Jaric, S. (2018). Two-point method: A quick and fatigue-free procedure for assessment of muscle mechanical capacities and the 1 repetition maximum. *Strength and Conditioning Journal*, *40*(2), 54–66. <https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000359>
- García-Ramos, A., Padial, P., Haff, G. G., Argüelles-Cienfuegos, J., García-Ramos, M., Conde-Pipó, J., & Feriche, B. (2015). Effect of Different Interrepetition Rest Periods on Barbell Velocity Loss During the Ballistic Bench Press Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *29*(9), 2388–2396. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000891>
- García-Ramos, A., Ulloa-Díaz, D., Barboza-González, P., Rodríguez-Perea, Á., Martínez-García, D., Quidel-Catrilebún, M., Guede-Rojas, F., Cuevas-Aburto, J., Janicijevic, D., & Weakley, J. (2019). Assessment of the load-velocity profile in the free-weight prone bench pull exercise through different velocity variables and regression models. *PLoS ONE*, *14*(2), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212085>
- González-Badillo, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2010a). Movement Velocity as a Measure of Loading Intensity in Resistance Training. *International Journal of Sports Medicine*, *31*(05), 347–352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>
- González-Badillo, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2010b). Movement Velocity as a Measure of Loading Intensity in Resistance Training. *International Journal of Sports Medicine*, *31*(05), 347–352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>
- González-Badillo, J., Marques, M., & Sánchez-Medina, L. (2011). The Importance of Movement Velocity as a Measure to Control Resistance Training Intensity. *Journal of Human Kinetics*, *29A*(Special-Issue), 15–19. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0053-6>

- Guttman, S. A., Horton, R. G., & Wilber, D. T. (1936). Enhancement of Muscle Contraction after Tetanus. *Experimental Biology and Medicine*, 34(2), 219–221. <https://doi.org/10.3181/00379727-34-8565P>
- Izquierdo, M., Ibañez, J., González-Badillo, J. J., Häkkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., French, D. N., Eslava, J., Altadill, A., Asiain, X., & Gorostiaga, E. M. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *Journal of Applied Physiology*, 100(5), 1647–1656. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01400.2005>
- Jukic, I., Van Hooren, B., Ramos, A. G., Helms, E. R., McGuigan, M. R., & Tufano, J. J. (2021). The Effects of Set Structure Manipulation on Chronic Adaptations to Resistance Training: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01423-4>
- Krzysztofik, M., Wilk, M., Filip, A., Zmijewski, P., Zajac, A., & Tufano, J. J. (2020). Can Post-Activation Performance Enhancement (PAPE) Improve Resistance Training Volume during the Bench Press Exercise? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), 2554. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072554>
- Lim, H. Y., & Wong, S. H. (2018). Effects of isometric, eccentric, or heavy slow resistance exercises on pain and function in individuals with patellar tendinopathy: A systematic review. *Physiotherapy Research International*, 23(4), e1721. <https://doi.org/10.1002/pri.1721>
- Lim, J. J. H., & Kong, P. W. (2013). Effects of Isometric and Dynamic Postactivation Potentiation Protocols on Maximal Sprint Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(10), 2730–2736. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182815995>
- Lum, D., & Barbosa, T. M. (2019). Brief Review: Effects of Isometric Strength Training on Strength and Dynamic Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 40(06), 363–375. <https://doi.org/10.1055/a-0863-4539>

- Maroto-Izquierdo, S., Bautista, I., & Rivera, F. (2020). Post-activation performance enhancement (PAPE) after a single-bout of high-intensity flywheel resistance training. *Biology of Sport*, 37(4), 343–350. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2020.96318>
- Morales-Artacho, A. J., García-Ramos, A., Pérez-Castilla, A., Padial, P., Gomez, A. M., Peinado, A. M., Pérez-Córdoba, J. L., & Feriche, B. (2019). Muscle Activation During Power-Oriented Resistance Training: Continuous vs. Cluster Set Configurations. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(1), S95–S102. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002811>
- Mpellizzeri, F. R. M. I., & Affiulletti, N. I. A. M. (2011). *VALIDITY AND RELIABILITY OF OPTOJUMP PHOTOELECTRIC CELLS FOR ESTIMATING VERTICAL JUMP HEIGHT*. 556–560.
- Ong, J. H., Lim, J., Chong, E., & Tan, F. (2016). The Effects of Eccentric Conditioning Stimuli on Subsequent Counter-Movement Jump Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(3), 747–754. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001154>
- Ortega-Becerra, M., Sánchez-Moreno, M., & Pareja-Blanco, F. (2021). Effects of Cluster Set Configuration on Mechanical Performance and Neuromuscular Activity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(2), 310–317. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003907>
- Pallarés, J. G., Cava, A. M., Courel-Ibáñez, J., González-Badillo, J. J., & Morán-Navarro, R. (2020). Full squat produces greater neuromuscular and functional adaptations and lower pain than partial squats after prolonged resistance training. *European Journal of Sport Science*, 20(1), 115–124. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1612952>
- Persechini, A., Stull, J. T., & Cooke, R. (1985). The effect of myosin phosphorylation on the contractile properties of skinned rabbit skeletal muscle fibers. *Journal of Biological Chemistry*, 260(13), 7951–7954. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(17\)39544-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(17)39544-3)

- Petrigna, L., Karsten, B., Marcolin, G., Paoli, A., D'Antona, G., Palma, A., & Bianco, A. (2019). A Review of Countermovement and Squat Jump Testing Methods in the Context of Public Health Examination in Adolescence: Reliability and Feasibility of Current Testing Procedures. *Frontiers in Physiology*, *10*(November), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01384>
- Rial-Vázquez, J., Mayo, X., Tufano, J. J., Fariñas, J., Rúa-Alonso, M., & Iglesias-Soler, E. (2020). Cluster vs. traditional training programmes: changes in the force–velocity relationship. *Sports Biomechanics*, *00*(00), 1–19. <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1718197>
- Sánchez-medina, L., & González-badillo, J. J. (2011). Velocity Loss as an Indicator of Neuromuscular Fatigue during Resistance Training. *Med Sci Sports Exerc*, *2*, 1725–1735.
- Sánchez-Medina, L., González-Badillo, J., Pérez, C., & Pallarés, J. (2013). Velocity- and Power-Load Relationships of the Bench Pull vs. Bench Press Exercises. *International Journal of Sports Medicine*, *35*(03), 209–216. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1351252>
- Sánchez-Medina, Luis, Pallarés, J., Pérez, C., Morán-Navarro, R., & González-Badillo, J. (2017). Estimation of Relative Load From Bar Velocity in the Full Back Squat Exercise. *Sports Medicine International Open*, *01*(02), E80–E88. <https://doi.org/10.1055/s-0043-102933>
- Sañudo, B., de Hoyo, M., Haff, G. G., & Muñoz-López, A. (2020). Influence of Strength Level on the Acute Post-Activation Performance Enhancement Following Flywheel and Free Weight Resistance Training. *Sensors*, *20*(24), 7156. <https://doi.org/10.3390/s20247156>
- Tufano, J. J., Brown, L. E., & Haff, G. G. (2017). Theoretical and Practical Aspects of Different Cluster Set Structures: A Systematic Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(3), 848–867. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001581>

Tufano, J. J., Conlon, J. A., Nimphius, S., Brown, L. E., Seitz, L. B., Williamson, B. D., & Haff, G. G. (2016). Maintenance of Velocity and Power With Cluster Sets During High-Volume Back Squats. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(7), 885–892. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0602>

Vandervoort, A. A., Quinlan, J., & McComas, A. J. (1983). Twitch potentiation after voluntary contraction. *Experimental Neurology*, *81*(1), 141–152. [https://doi.org/10.1016/0014-4886\(83\)90163-2](https://doi.org/10.1016/0014-4886(83)90163-2)

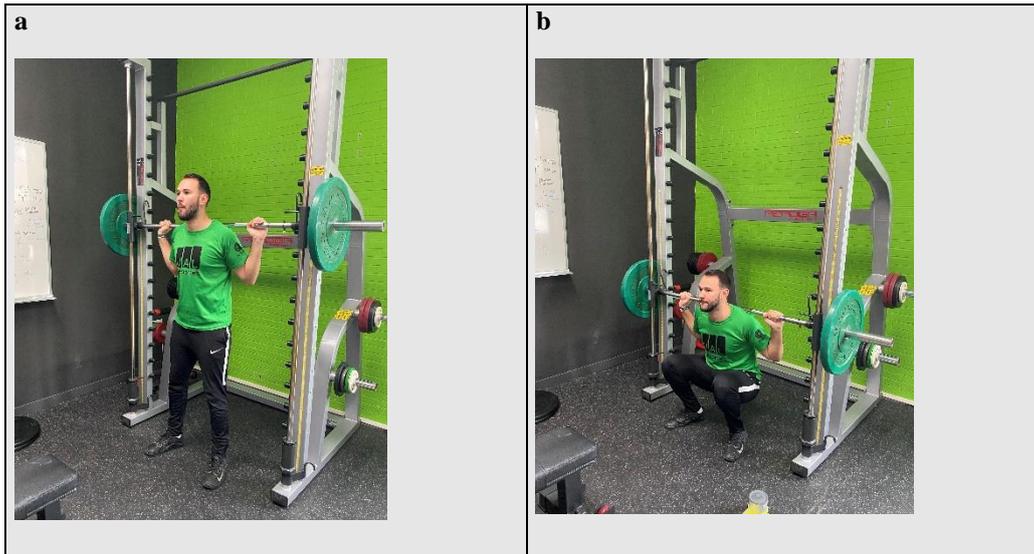
## Anexos

### Anexo 1: Plan de trabajo

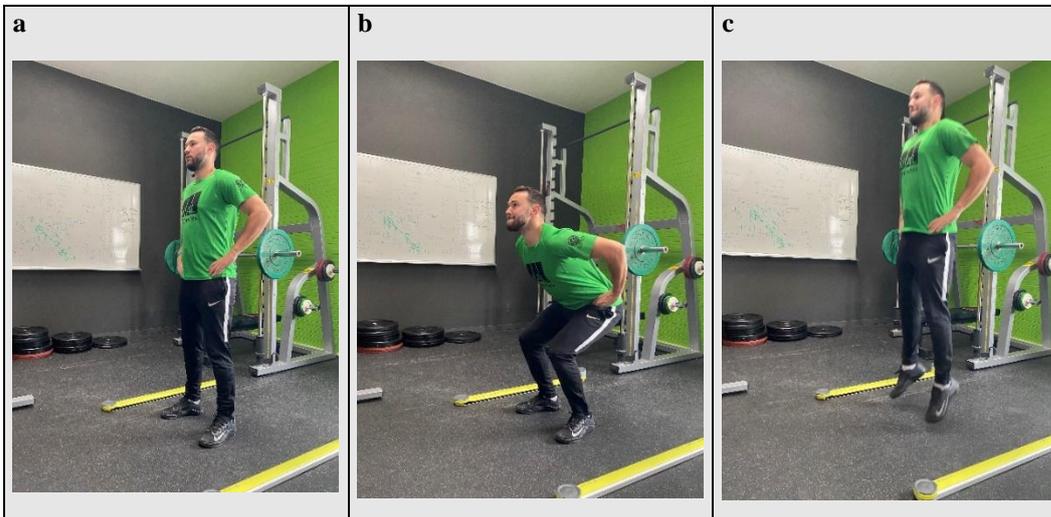
ACTIVIDAD	RESPONSABLES	SEMANAS PREVIAS	SESIÓN 1	SESIÓN 2	SESIÓN 3
Dirección general del proyecto	Investigador 1 y 2				
Reunión inicial del proyecto	Investigador 1 y 2				
Reclutamiento de los participantes	Investigador 1 y 2				
Sesión de familiarización y recogida de información inicial	Investigador 1 y 2				
Protocolo 1	Investigador 1 y 2				
Protocolo 2	Investigador 1 y 2				

### Anexo 2: Cuestionario

INFORMACIÓN INDIVIDUAL	
Código individual del participante	
Fecha evaluación, sesión 1 y sesión 2	
Fecha de nacimiento	
Peso (kg)	
Talla(m)	



**Imagen 1 – Sentadilla profunda: a) Posición de partida / b) Final fase excéntrica**



**Imagen 2 – Salto con contramovimiento: a) Posición de partida / b) Inicio del empuje / c) fase de vuelo**