



**UNIVERSITAS**  
*Miguel Hernández*



**Master en Rendimiento Deportivo y Salud**

**Curso 2021/2022**

**Convocatoria junio de 2022**

**Modalidad:** Diseño de una intervención.

**Título:** Relación entre la variabilidad motora con la fatiga producida y las modificaciones en el test de CMJ tras tareas de alta demanda de fuerza.

**Autora:** Luisa Rodríguez Reina.

**Tutor:** Rafael Sabido Solana.

## ÍNDICE

1. Introducción .....	2
2. Método .....	4
2.1. Muestra .....	4
2.2. Diseño experimental .....	4
2.3. Análisis de datos .....	5
3. Referencias bibliográficas .....	6



## 1. Introducción

En los últimos años, el control del movimiento humano se ha estudiado bajo los paradigmas científicos de la teoría del caos y de la complejidad, los cuales se han integrado con la aplicación de conceptos y herramientas bajo la teoría de los sistemas dinámicos, contradiciendo teorías tradicionales anteriores que entendían la variabilidad como ruido o error, reformando así nuestra comprensión del comportamiento del movimiento (Bartlett et al., 2003).

La teoría de los sistemas dinámicos se ha aplicado con éxito para el estudio de la coordinación del sistema nervioso, el control del desarrollo del movimiento y la adquisición de nuevas habilidades movimiento (Lintern, 1997; Van Emmerik & Van Wegen, 2002; Esther Thelen & Linda B. Smith, 1994). Concretamente, la teoría de los sistemas dinámicos aplicada a los seres vivos se puede definir como una teoría que intenta estudiar y entender los cambios estructurales y de comportamiento que ocurren en los sistemas biológicos con su entorno. Esta teoría ha sido adoptada para describir los procesos de progresión y de desarrollo humanos, así como para estudiar el fenómeno de la coordinación motriz (Corbetta & Vereijken, 1999)

Se ha puesto de manifiesto, en los sistemas dinámicos, que la formación espontánea de patrones entre las partes componentes surge a partir de procesos de autoorganización. Estos sistemas son propiamente sistemas termodinámicos “abiertos” que interactúan en transiciones de energía constante con el medio ambiente y que aparecen debido a las constricciones externas e internas que influyen a los componentes del sistemas para que se modifiquen (Bartlett et al., 2003).

Bajo esta perspectiva, la variabilidad, está de manera inherente en cada sistema debido a los distintos constreñimientos que dan forma al comportamiento de cada individuo (Bartlett et al., 2003), evaluándose dos dimensiones generales sobre ésta, por un lado, la magnitud y por otro, la estructura de la variabilidad, (Stergiou et al., 2006). La estructura de la variabilidad guarda vinculación con la complejidad refiriéndose a la relación entre puntos de datos sucesivos y la predictibilidad de estos en el tiempo, reflejando una variabilidad alta en un sujeto como una alta dimensión de soluciones ofrecidas por los grados de libertad (DOF). El movimiento humano se caracteriza por tener una variabilidad y fluctuaciones inherentes, complejas e irregulares, las cuales, no pueden ser analizadas por técnicas o fórmulas estadísticas convencionales, ya que dan una información muy limitada y cerrada sobre su comportamiento (Bastida Castillo et al., 2017; Skurvydas et al., 2010; Hamilton, Jones y Wolpert., 2004). West, Rigney y Goldberger (1990) explican que esto se debe a que los organismos siguen un modelo caótico y muy flexible, operando fuera del equilibrio lineal.

En el campo del análisis de sistemas dinámicos no lineales, encontramos muchas herramientas que pueden darnos información valiosa acerca del análisis de distintas señales cinemáticas (Parshad, McGregor, Busa, Skufca y Bollt., 2012). Especialmente, se han aplicado herramientas denominadas entropía (estadísticas de regularidad) al análisis de la marcha (McGregor et al., 2011; Parshad et al., 2012) o al control postural (Busa et al., 2016; McGregor et al., 2011). La entropía nos da información acerca de la regularidad de una serie de tiempo (Pincus, 1991). La literatura nos dice que un sistema menos complejo se corresponde con un sistema menos adaptativo y, por ende, con un valor de entropía más bajo (Orellana & Torres, 2010). Se cree que las salidas complejas son un sello distintivo de los sistemas fisiológicos saludables (Costa & Goldberger, 2009; Peng,

Costa y Goldberger, 2009; Goldberger, 1996; Slifkin y Newell, 1999). Una pérdida de complejidad parece ser una respuesta relacionada al envejecimiento y/o patología (Lipsitz, 1992).

La fatiga neuromuscular se puede dividir en dos partes principales: por un lado, la disminución neurológica de la función y por otro, el fallo muscular (Claudino et al., 2017; Watkins et al., 2017). Una disminución en el rendimiento de cualquiera de los dos puede afectar la calidad del entrenamiento de fuerza, la efectividad o el rendimiento en el campo (Watkins et al., 2017). Una mejor comprensión de los mecanismos mecánicos y fisiológicos que subyacen al desarrollo de la fatiga durante las sesiones de entrenamiento de fuerza es esencial para mejorar nuestro conocimiento de la metodología del entrenamiento de fuerza (Fernando Pareja-Blanco et al., 2020; F. Pareja-Blanco et al., 2017)

El marcador más relevante para la evaluación de la fatiga en el entrenamiento de fuerza sería un test de rendimiento máximo específico que puede considerarse gold estándar para dicha evaluación (Halsen, 2014; Meeusen et al., 2013; Urhausen & Kindermann, 2002). Aunque esta metodología es ciertamente práctica, también está asociada a esfuerzos intensos, lo que podría inducir fatiga adicional si se usa con frecuencia en el campo práctico (Halsen, 2014). Por lo tanto, este enfoque parece ser una estrategia poco óptima para la evaluación rutinaria de la fatiga y la recuperación. El CMJ es un marcador potencialmente útil para la evaluación de la fatiga y su recuperación. Además, se observaron cambios significativos de este marcador después del entrenamiento y después de 3 días de recuperación, que fueron consistentes con los cambios de 1RM estimado (Raeder et al., 2011)

Entre los diferentes caminos para valorar la fatiga ante el entrenamiento de fuerza, en los últimos años la valoración del estado del deportista a través del CMJ ha cobrado especial relevancia, demostrándose la correlación de la disminución del rendimiento en CMJ con una disminución de volumen de repeticiones entre sesiones en el ejercicio de sentadilla trasera (Watkins et al., 2017)

Por otro lado, existe en la actualidad un auge creciente del estudio de las respuestas producidas durante el entrenamiento de fuerza (Bastida Castillo et al., 2017). En el contexto de la producción de fuerza, se cree que la complejidad refleja la adaptabilidad del sistema neuromuscular (Newell & Vaillancourt, 2001). Por lo cual, la pérdida de dicha complejidad va a afectar a la coordinación de manera negativa afectando al rendimiento de la tarea motora (Pethick et al., 2019). Recientemente, se ha demostrado que la fatiga neuromuscular reduce la complejidad de la producción fuerza durante contracciones isométricas tanto máximas como submáximas (Pethick et al., 2015), así como durante ejercicios excéntricos (Pethick et al., 2019). En cuanto a tareas con altas demandas de fuerza de carácter excéntrico-concéntrico, los estudios son menos habituales, destacando el de Bastida Castillo et al. (2017), quienes encontraron un decremento de la entropía proporcional al decremento de la velocidad media propulsiva en el ejercicio de media sentadilla. A pesar de los estudios y avances hasta la fecha sigue abierta la pregunta acerca de cómo medir y evaluar a partir de herramientas no lineales tareas discretas con altas demandas de fuerza como es la media sentadilla.

Por todo ello, el objetivo de este estudio fue describir la fatiga a través de la capacidad de salto y la variabilidad motora producida por distintas metodologías de entrenamiento de la fuerza.

## 2. Método

### 2.1. Muestra

Ocho participantes, mujeres y hombres físicamente activos [2 hombre y 6 mujeres; media: edad 22.63 ( $\pm$  1.85) años, altura 1.68 ( $\pm$  0.10) m, y masa corporal 66.69 ( $\pm$  5.23) kg] proporcionaron su consentimiento informado por escrito para participar en el estudio, que fue aprobado por el comité de ética de la Universidad de Miguel (número de referencia DCD.RSS.02.19). Ninguno de los participantes había participado en ningún entrenamiento de fuerza de las extremidades inferiores durante esas tres semanas. Se les indicó a los participantes que llegaran al laboratorio en un estado de reposo (sin haber realizado ningún ejercicio extenuante en las 24h anteriores) y que no hubieran consumido alimentos o bebidas con cafeína en las tres horas previas a la llegada. Los participantes asistieron al laboratorio a la misma hora del día ( $\pm$ 2 h) durante cada visita.

### 2.2. Diseño experimental

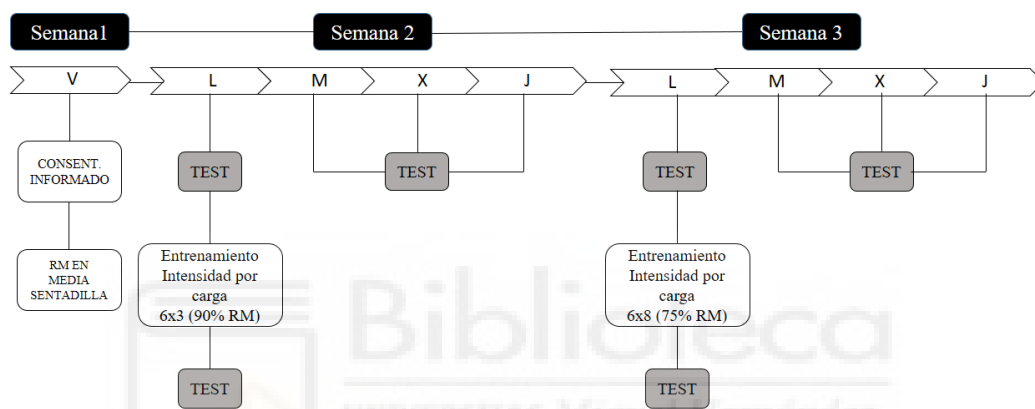
Los sujetos acudieron en 9 ocasiones al laboratorio durante tres semanas consecutivas. El primero de los días se les realizó una valoración de aspectos antropométricos (peso y talla), se les explicó detalladamente los protocolos a realizar y finalmente se les pasó un informe de consentimiento.

Ese mismo día los participantes realizaron dos test para determinar la repetición máxima (RM) en la tarea de media sentadilla. Previo al test de RM los participantes realizaron un calentamiento general de 10 minutos consistente en tres minutos de activación cardiorrespiratoria, cinco minutos de movilidad articular, terminando con cinco minutos de ejercicios de la zona corporal central y dos CMJ para la familiarización de éste. Tras ese calentamiento, los participantes fueron realizando series incrementales para alcanzar la carga propia de su RM. Para no tener que alcanzar el peso máximo, los tests de RM de media sentadilla fueron valorados con el encóder lineal (Chronojump Boscosystem) que permite determinar el RM al alcanzar velocidades próximas al RM, pero sin llegar a la ejecución de ese test de manera maximal hasta alcanzar una velocidad de 0,65 m/s, cada una de las series en las que se vaya incrementando la carga, los participantes descansaron de manera completa (cinco minutos) para garantizar las óptimas condiciones en los distintos movimientos (González-Badilo & Sánchez-Medina, 2010).

El siguiente día que se les convocó estuvo precedido de al menos 72 horas de descanso previas a la sesión de entrenamiento. Comenzó esta sesión con un calentamiento de 10 minutos, al igual que el primer día. Tras el calentamiento general realizaron un calentamiento específico que consistió en tres series de aproximación al 40%, 60% y 80% de su RM en media sentadilla. A continuación, realizaron el pretest que consistió en realizar dos CMJ y una serie de 10 repeticiones al 50% de su RM a la mayor velocidad posible, manteniendo una correcta ejecución técnica. Durante esa serie se valoró tanto la magnitud como la estructura de la variabilidad con la acelerometría (ISEN, STT System, San Sebastián, España) así como el promedio de los dos CMJ (plataforma de contacto Chronojump Boscosystem). A continuación, los sujetos llevaron a cabo una sesión de entrenamiento con cargas altas, consistente en realizar seis series de tres repeticiones con una carga del 90% del RM con un descanso de cuatro minutos entre series. Al finalizar el entrenamiento realizaron el postest de los dos CMJ y las 10 repeticiones al 50% para ver los cambios en la variabilidad, así como los dos CMJ. Esa misma serie fue repetida tras el correspondiente calentamiento a las 24, 48 y 72 horas del entrenamiento con el fin de

describir la curva de recuperación tanto de la variabilidad motora como de la altura en CMJ.

Tras haber descansado al menos 72 horas desde la quinta sesión, se llevó a cabo la sexta. La sexta sesión para los participantes fue una réplica de la sesión de entrenamiento expuesta en el párrafo anterior, pero en esta ocasión orientada a las cargas submáximas. Así pues, tras el calentamiento y la valoración inicial de los dos CMJ y la serie de 10 repeticiones al 50%, se llevó a cabo una sesión de seis series de ocho repeticiones con una carga del 75% de la RM con un descanso de dos minutos entre series. Las ejecuciones de este entrenamiento fueron realizadas a la mayor velocidad posible. Nuevamente tras el entrenamiento y a las 24, 48 y 72 horas se repitió el test de los dos CMJ y la serie al 50% para observar los cambios en la variabilidad motora y en el CMJ.



\*Todos los test: 2 CMJ y 1 x 10 (50% RM a la mayor velocidad posible)

Ilustración 1. Procedimiento de intervención.

### 2.3. Análisis de datos

Se analizó la normalidad de los datos mediante el test de Kolmogorov-Smirnov y Levene. Tras comprobar la normalidad de estos se realizó un ANOVA de medidas repetidas que nos permitió analizar las variaciones pre, post y en los retest para el grupo analizado. Para las comparaciones múltiples entre las diferentes intervenciones y las variaciones pre, post y en los retest, se realizó un análisis post-hoc con ajuste de Bonferroni, estableciendo el nivel de significación estadística en  $p < 0.05$ . Para complementar los resultados del ANOVA, el tamaño del efecto se calculó a través de la  $d$  de Cohen e interpretado en función de los valores sugeridos por Rhea (24004). Un análisis correlacional se realizó para conocer la evolución de las variables que describen la variabilidad motora con la variable del CMJ para conocer la posible relación entre estas variables. Para estos análisis estadísticos, se utilizó el paquete ofimático SPSS 20.0 (SPSS Inc, Chicago, Il, USA).

### 3. Referencias bibliográficas

Badillo, J. J. G., & Serna, J. R. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza* (Vol. 308). Inde.

Bartlett, R., Davids, K., Glazier, P., & Ara, D. (2003). Movement Systems As Dynamical Systems: The Functional Role Of Variability And Its Implications For Sports Medicine. *Sports Medicine*, 33(4), 245–260.

Bastida Castillo, A., Gómez Carmona, C., & Pino Ortega, J. (2017). Relationship Between Aproximate Entropy and Mean Propulsive Velocity Loss During Half Squat Exercise. *Kronos: Revista Universitaria de La Actividad Física y El Deporte*, 16(2), 2.

Busa, M. A., Jones, S. L., Hamill, J., & van Emmerik, R. E. A. (2016). Multiscale entropy identifies differences in complexity in postural control in women with multiple sclerosis. *Gait and Posture*, 45, 7–11. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.12.007>

Claudino, J. G., Cronin, J., Mezêncio, B., McMaster, D. T., McGuigan, M., Tricoli, V., Amadio, A. C., & Serrão, J. C. (2017). The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(4), 397–402. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.011>

Corbetta, D., & Vereijken, B. (1999). Understanding development and learning of motor coordination in sport: The contribution of dynamic systems theory. *International Journal of Sport Psychology*, 30(4), 507–530.

Costa, M., & Goldberger, A. R. Y. L. (2009). *Adaptive data analysis of complex fluctuations in physiologic time series*. 1(1), 61–70.

González-Badilo, J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *Medicine & Science in Sports*, 31(April), 346–352.

Halson, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine*, 44, 139–147. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>

Hamilton, A. F. D. C., Jones, K. E., & Wolpert, D. M. (2004). The scaling of motor noise with muscle strength and motor unit number in humans. *Experimental Brain Research*, 157(4), 417–430. <https://doi.org/10.1007/s00221-004-1856-7>

Lintern, G. (1997). Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior. *Complexity*, 2(3), 45–46. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0526\(199701/02\)2:3<45::AID-CPLX8>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0526(199701/02)2:3<45::AID-CPLX8>3.0.CO;2-M)

Lipsitz, L. A. (1992). Loss of “Complexity” and Aging. *Jama*, 267(13), 1806. <https://doi.org/10.1001/jama.1992.03480130122036>

McGregor, S. J., Armstrong, W. J., Yaggie, J. A., Bollt, E. M., Parshad, R., Bailey, J. J., Johnson, S. M., Goin, A. M., & Kelly, S. R. (2011). Lower extremity fatigue increases complexity of postural control during a single-legged stance. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-8-43>

Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., Raglin, J., Rietjens, G., Steinacker, J., & Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(1), 186–205. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318279a10a>

Newell, K. M., & Vaillancourt, D. E. (2001). Dimensional change in motor learning. *Human Movement Science*, 20(4–5), 695–715. [https://doi.org/10.1016/S0167-9457\(01\)00073-2](https://doi.org/10.1016/S0167-9457(01)00073-2)

Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J. M., Morales-Alamo, D., Pérez-Suárez, I., Calbet, J. A. L., & González-Badillo, J. J. (2017). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27(7), 724–735. <https://doi.org/10.1111/sms.12678>

Pareja-Blanco, Fernando, Alcazar, J., Sánchez-Valdepeñas, J., Cornejo-Daza, P. J., Piqueras-Sanchiz, F., Mora-Vela, R., Sánchez-Moreno, M., Bachero-Mena, B., Ortega-Becerra, M., & Alegre, L. M. (2020). Velocity Loss as a Critical Variable Determining the Adaptations to Strength Training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(8), 1752–1762. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002295>

Parshad, R. D., McGregor, S. J., Busa, M. A., Skufca, J. D., & Bollt, E. (2012). A statistical approach to the use of control entropy identifies differences in constraints of gait in highly trained versus untrained runners. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 9(1), 123–145. <https://doi.org/10.3934/mbe.2012.9.123>

Pethick, J., Whiteaway, K., Winter, S. L., & Burnley, M. (2019). Prolonged depression of knee-extensor torque complexity following eccentric exercise. *Experimental Physiology*, 104(1), 100–111. <https://doi.org/10.1113/EP087295>

Pethick, J., Winter, S. L., & Burnley, M. (2015). Fatigue reduces the complexity of knee extensor torque fluctuations during maximal and submaximal intermittent isometric contractions in man. *Journal of Physiology*, 593(8), 2085–2096. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2015.284380>

Pincus, S. M. (1991). Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88(6), 2297–2301. <https://doi.org/10.1073/pnas.88.6.2297>

Raeder, c., Wiewelhove, T., Simola, R. Á. D. P., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M., Mark Pfeiffer, & Ferrauti, A. (2011). Assessment of fatigue and recovery in male and female athletes after 6 days of intensified strength training. 164–169.

Rhea MR. Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J Strength Cond Res*. 2004 Nov;18(4):918-20. doi: 10.1519/14403.1. PMID: 15574101.



Skurvydas, A., Brazaitis, M., & Kamandulis, S. (2010). Prolonged muscle damage depends on force variability. *International Journal of Sports Medicine*, 31(2), 77–81. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1241213>

Stergiou, N., Harbourne, R. T., & Cavanaugh, J. T. (2006). Optimal Movement Variability. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 30(3), 120–129. <https://doi.org/10.1097/01.npt.0000281949.48193.d9>

Thelen, E., & Smith, L. B. (1998). Dynamic systems theories. In W. Damon & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology: Theoretical models of human development* (pp. 563–634). John Wiley & Sons Inc.

Urhausen, A., & Kindermann, W. (2002). Diagnosis of overtraining: what tools do we have? / Diagnostic de surentrainement: quels moyens possédons nous? *Sports Medicine*, 32(2), 95–102. <http://articles.sirc.ca/search.cfm?id=S-811818%5Cnhttp://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=SPHS-811818&site=ehost-live%5Cnhttp://www.adis.com>

Van Emmerik, R. E. A., & Van Wegen, E. E. H. (2002). On the functional aspects of variability in postural control. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(4), 177–183. <https://doi.org/10.1097/00003677-200210000-00007>

Watkins, c. M., Barillas, s. R., Wong, m. A., Archer, D. C., Dobbs, I. J., Lockie, R. G., Coburn, J. W., Tran, T. T., & Brown, L. E. (2017). *Determination of vertical jump as a measure of neuromuscular readiness and fatigue*. 31(12), 3305–3310.