

# TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

---

**¿La práctica en variabilidad es más efectiva al aplicarse tras una fase de estabilización del rendimiento en el aprendizaje de una tarea?**



Carmen Ruano Masiá

Tutor: Francisco Javier Moreno Hernández

Máster Universitario en Rendimiento Deportivo y Salud

Curso 2018/19

## Resumen

La variabilidad es una característica inherente al movimiento humano. Numerosos autores han estudiado el efecto de la práctica variable en el aprendizaje motor, obteniendo diferentes resultados en función de las características y nivel de la muestra. Sujetos adultos o experimentados han reportado mayores mejoras con este tipo de prácticas que sujetos noveles o niños. La Teoría de los Sistemas Dinámicos, el Síndrome General de Adaptación y la Teoría de la Alostasis pueden ser un marco adecuado para explicar estos resultados. Según algunos autores, el momento en que se introduce la práctica variable en el proceso de entrenamiento es muy importante, ya que influirá en el control del sujeto sobre la tarea, y por tanto en los efectos de esta práctica. En este trabajo se pretende comprobar si la aplicación de variabilidad tras un proceso de estabilización del rendimiento da lugar a mejores resultados que aplicar la práctica variable desde el inicio comparándolo además con la práctica en consistencia. Se midieron 17 adultos realizando una tarea simulada en computador del lanzamiento de una bola a una diana, mediante un joystick conectado a un dinamómetro. Los test consistieron en la realización de 3 series de 10 repeticiones de la tarea. La intervención se llevó a cabo en tres sesiones: en la primera se realizó un pre-test, un entrenamiento en función del grupo de práctica -consistencia, variabilidad desde el inicio y variabilidad desde la estabilización del rendimiento- y un post-test. Además se realizaron dos test de retención, tras 24 horas y una semana.

**Palabras clave:** entrenamiento; técnica; adaptación; rendimiento; práctica en consistencia.

## Introducción

La variabilidad es una característica propia de la naturaleza, observable en gran medida en los seres vivos y, lejos de ser considerada un error del sistema, se encuentra muy ligada a la capacidad de adaptación (Davids, Glazier, Araujo y Bartlett, 2003).

Diversas teorías a lo largo de los años han tratado de explicar las causas y consecuencias de la variabilidad en el movimiento humano, así como su influencia en el comportamiento y el aprendizaje motor. Schmidt, Zelaznick, Hawkins, Frank y Quinn (1979), a partir de la teoría del esquema motor (Schmidt, 1975), propusieron la teoría de la variabilidad del impulso. Esta teoría interpreta la variabilidad como ruido proveniente de una transmisión poco precisa de la información motora desde el sistema motor hacia la actividad neuromuscular, entendiendo así la variabilidad como un factor inversamente relacionado con la eficacia en una tarea. Por otra parte, existen teorías que han interpretado la variabilidad como algo más que una fuente de imprecisión. La teoría de los sistemas dinámicos (DST) propone que a través de la práctica variable se aprovechan fluctuaciones en el comportamiento para sacar ventaja de las mismas enriqueciendo el rango de soluciones del que dispone una persona para ejecutar una tarea específica (Savelsbergh, Kamper, Rabiús, De Koning, y Schöllhorn, 2010).

Se han realizado numerosos estudios en los que se ha aplicado variabilidad en contextos relacionados con la práctica deportiva, comprobando en su mayoría el efecto positivo de la misma, tanto a nivel de aprendizaje motor en general (Herzfeld y Shadmehr, 2014; Wu, Miyamoto, Castro, Ölveczky y Smith, 2014), como en diferentes deportes individuales (Menayo, Moreno, Fuentes, Reina y Damas, 2012; Urbán, Hernández-Davó y Moreno, 2012) y colectivos (Williams y Hodges, 2015).

No obstante, algunos autores señalan que es de gran importancia la individualización de la aplicación de variabilidad (Caballero et. al, 2017), teniendo en cuenta las características de los sujetos en los que se emplea. Entre otros factores, es muy importante tener en cuenta la experiencia y el nivel de los mismos. En un estudio realizado por García-Herrero, Sabido, Barbado, Martínez y Moreno (2016) con jugadores de balonmano, se comprobó que aquellos más experimentados reportaban mejoras mayores ante mayores niveles de variabilidad, mientras que aquellos que se iniciaban en la práctica necesitaban niveles muy inferiores o incluso la ausencia de variabilidad externa, ya que su propia actitud exploratoria les ofrecía una variabilidad interna suficiente. Por tanto, una variabilidad muy elevada en individuos de nivel bajo podría retrasar la búsqueda de soluciones motoras óptimas ante una tarea (Wulf y Schmidt, 1994). En esta misma línea se encontrarían los resultados obtenidos por Brady (2004), en un metaanálisis en el que se compararon los efectos de variabilidad en niños y en adultos, encontrando resultados positivos en los segundos pero no en los primeros, al igual que habían reportado previamente en otro estudio Lee, Magill y Weeks (1985). Esto sugiere que la edad de la muestra también juega un papel importante en las consecuencias de la aplicación de variabilidad.

Estos resultados apoyan la idea de Moreno y Ordoño (2015), que proponen que la variabilidad supondría una carga para el organismo ante la cual debe adaptarse, y su efecto en el aprendizaje podría explicarse a través de diversas teorías. Una de ellas es la del Síndrome General de Adaptación (SGA) (Selye, 1956), que postula que ante una carga de práctica los organismos pasan por diferentes fases. En un primer momento de exposición se observaría un decremento en el rendimiento (fase de alarma). Si la persona continúa expuesta al agente estresor, se producirá una adaptación al mismo, aumentando el rendimiento por encima de los valores iniciales y con él la capacidad morfológica y funcional del organismo (fase de resistencia). Por otro lado, si la exposición continúa con una intensidad demasiado elevada o

por un período de tiempo demasiado prolongado, el rendimiento irá decayendo de nuevo, pudiendo llegar incluso a producirse daños en el sistema. Otra teoría relacionada sería la de la homeostasis (Sterling y Eyer, 1988), que defiende la idea de que ante la exposición a un agente estresor (la carga de variabilidad en este caso), el sistema sufre una serie de cambios debidos a una respuesta adaptativa. Estos cambios dependerán de la magnitud de la carga, pudiendo suponer respuestas desadaptativas para el sistema si la carga es insignificante o muy elevada, o adaptativas si se encuentra en consonancia con los requerimientos del mismo (Chrousos, 2009).

En esta línea, se han realizado estudios que proponen una magnitud media de variabilidad como óptima para obtener resultados positivos, frente a niveles muy elevados de carga (Harbourne y Stergiou, 2009). Diversos autores reportan resultados menos beneficiosos ante niveles muy elevados de variabilidad en comparación con niveles más moderados (Caballero, Luis y Sabido, 2012; Ranganathan y Newell, 2010). McEwen (2002) propone que la respuesta del organismo a una carga sigue una forma de U invertida, donde niveles muy bajos de carga no serían suficientes para producir adaptaciones, así como niveles muy elevados (situaciones de excesiva dificultad) podrían ser perjudiciales, causando adaptaciones no deseadas (Moreno y Ordoño, 2015). Por tanto, según esta idea los niveles intermedios de carga se corresponderían con los mayores aumentos en el rendimiento en la tarea propuesta.

Otro aspecto que influirá en gran medida en el resultado de la práctica variable es el nivel de la tarea en el que se introduce la variabilidad. Según Ranganathan y Newell (2013) encontramos dos niveles: el objetivo de la tarea y la redundancia en la ejecución. En el primer caso, el más empleado en las intervenciones, la variabilidad iría encaminada a la ejecución de tareas similares con objetivos diferentes. Estas variaciones pueden ser tanto estructuradas (se varían uno o más parámetros concretos de la tarea original) como no estructuradas (se varían diferentes parámetros de manera arbitraria). En cuanto a las variaciones en el nivel de

redundancia de la ejecución, se refiere a las diferentes formas de realización de una determinada acción para conseguir un mismo objetivo. Estas variaciones son estructuradas por definición y han sido menos estudiadas hasta el momento

Por último, otro de los factores relevantes que se debería tener en cuenta a la hora de implementar intervenciones de práctica variable es el momento en el que se introduce la carga de variabilidad dentro del proceso de aprendizaje o entrenamiento (Caballero et. al, 2017). La importancia de este momento de aplicación está ligada a los conceptos comentados anteriormente acerca de las fases por las que pasa un sujeto en el aprendizaje de una tarea ya que, según estos autores, el efecto de la aplicación de variabilidad no es el mismo si el sujeto se encuentra en etapas iniciales del aprendizaje de una tarea o si ya muestra un control sobre la misma. Por tanto, dependiendo de estos factores la magnitud óptima de la carga aplicada no debería ser la misma en todas las etapas del aprendizaje.

Este último aspecto es uno de los que menos se ha estudiado en la literatura, existiendo cierta incertidumbre respecto al momento óptimo de aplicación de variabilidad dentro del proceso de aprendizaje de una tarea.

Por tanto, el objetivo del presente trabajo es tratar de esclarecer en qué momento dentro del aprendizaje de una tarea es más beneficiosa la aplicación de variabilidad: desde el principio de la práctica, una vez la persona ha estabilizado su rendimiento en la tarea, o si por el contrario se obtienen mayores beneficios con la práctica en consistencia.

## **Metodología**

### **Participantes**

El presente estudio contó con 17 participantes ( $n=17$ ), todos ellos adultos sanos, con una edad media de  $30.47 \pm 11.76$  años, una estatura de  $170.76 \pm 8.54$  cm y un peso de

65.47±9.18 kg, de los cuales 6 eran mujeres y 11 hombres. Ninguno de ellos reportó patologías de ningún tipo en el momento del estudio ni en los seis meses previos al mismo. Todos firmaron un consentimiento informado previo a la intervención, en el que fueron conocedores de los objetivos de este trabajo.

Los sujetos se dividieron en tres grupos en función del tipo de entrenamiento que iban a seguir durante la intervención: en consistencia, en variabilidad o en variabilidad desde la estabilización del aprendizaje de la tarea. La distribución de los grupos se realizó en base a los resultados del pre test, balanceando los resultados para contar con una muestra homogénea en cuanto a su nivel en los tres grupos evitando así la influencia en el resultado final de las diferencias de partida entre grupos. En la tabla 1 podemos observar los estadísticos de la muestra en función de los grupos de intervención.

Tabla 1.  
*Estadísticos descriptivos de los participantes*

<b>Grupo</b>	<b>Edad (años)</b>	<b>Estatura (cm)</b>	<b>Peso (kg)</b>
Consistencia (n=5)	27.4±4.28	171.2±5.22	66.2±8.90
Variabilidad (n=5)	30.2±15.55	164±7.04	59.6±7.37
Estabilización (n=7)	32.86±13.46	175.29±9.01	69.14±9.53

## **Instrumento**

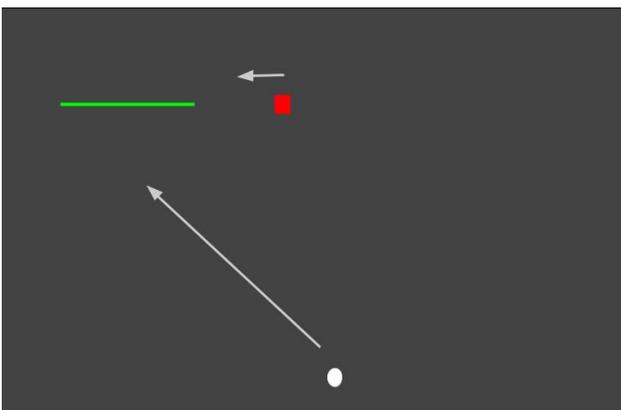
Para el desarrollo de la presente intervención se ha optado por una tarea manual sencilla llevada a cabo en condiciones de laboratorio, siguiendo la línea de estudios anteriores (Herzfeld y Shadmehr, 2014; Ranganathan y Newell, 2009; Wu et al., 2014).

La tarea planteada consistía en el lanzamiento simulado de una bola en un computador. La bola debía impactar en una diana móvil dentro de una zona delimitada, como se puede observar en la Figura 1. Esta tarea estaba diseñada por el laboratorio expresamente para el

estudio, empleando el software Labview en su versión 11 (National Instruments, Texas, EE.UU).

Los lanzamientos se realizaban a través de un joystick fijo conectado a un dinamómetro modelo FSSB R3 Warthog (RealSimulator, Madrid, España) que registraba a una frecuencia de 100 Hz las fuerzas aplicadas sobre él en los ejes anteroposterior y mediolateral. De la combinación de éstas surgía el ángulo de salida de la bola, del que dependería si se conseguía alcanzar o no la diana. El joystick estaba colocado sobre una mesa a una distancia de 30 cm de la pantalla del ordenador.

El sujeto debía realizar la tarea con la mano no dominante. Para la ejecución de la misma debía colocarse en una silla cuyo brazo del lado de lanzamiento se encontrase frente al joystick, quedando este así alineado con el hombro del brazo de lanzamiento. En cuanto a la posición del sujeto en la silla y la distancia al joystick se les indicó que adoptaran una posición que les resultase cómoda, manteniendo el brazo contrario reposado en el lateral del cuerpo. La posición de los sujetos se puede observar en la Figura 2.



*Figura 1.* Esquema de la tarea a realizar. El cuadrado rojo representa la diana que se mueve de lado a lado, sobre la que tiene que impactar el círculo blanco, que representa la bola que el sujeto debe lanzar empleando el joystick. La línea verde representa la zona fija en la que la bola debe impactar sobre la diana.



*Figura 2.* Colocación de los sujetos para la realización de la tarea.

## Procedimiento

La intervención se basó en la comparación de un pre-test, un post-test, y dos test de retención, todos ellos consistentes en la ejecución de la tarea mencionada en líneas anteriores. Entre el pre test y el post test se llevó a cabo un período de entrenamiento de 44 series que fue diferente en función de los tres grupos en los que se dividió a los participantes en el estudio:

- **Entrenamiento en consistencia:** práctica de la misma tarea que se llevó a cabo en los test de evaluación. En ella la diana se movía a una frecuencia de 250hz en cada una de las repeticiones ejecutadas.
- **Entrenamiento en variabilidad:** para este grupo se aplicó una práctica en variabilidad en el nivel del objetivo de la tarea (Ranganathan y Newell, 2013), ya que el parámetro modificado entre las diferentes repeticiones es la frecuencia de movimiento de la diana. Se ha optado por un tipo de práctica variable no estructurada, ya que las variaciones en la frecuencia se darán de manera aleatoria entre 125 y 500 Hz. Según Ranganathan y Newell (2013) este tipo de variaciones incentivan la capacidad de búsqueda de soluciones óptimas en la ejecución de una misma tarea, lo que según Davids, Button y Bennett (2008) es uno de los principales beneficios del entrenamiento en variabilidad.
- **Entrenamiento en variabilidad una vez estabilizado el rendimiento:** para este grupo se siguió la propuesta de Caballero et al. (2017), basada en que los sujetos que mayores beneficios experimentan tras la práctica en variabilidad son aquellos que muestran cierta experiencia en la actividad que se esté realizando. Para ello se programó el software de manera que el sujeto comenzaba a entrenar en consistencia, mientras el programa calculaba la mejora del rendimiento medido como la distancia entre la bola y la diana en cada una de las series. Se aseguró una práctica mínima en consistencia de siete series de 10 ensayos, tras las cuales una vez que el sujeto no

experimentara una mejora en dos series sucesivas, se interpretaba como el momento de estabilización del aprendizaje. En ese momento el sujeto comenzaba a entrenar en variabilidad siguiendo el mismo protocolo que el grupo anterior hasta completar las 44 series estipuladas de entrenamiento.

La intervención contó con diferentes fases:

- **Test inicial (pre test):** Consistente en la ejecución de 3 series de 10 repeticiones de la tarea en consistencia, con un breve descanso de 10 segundos entre ellas. Antes de la realización de las mismas se explicó al sujeto el funcionamiento del instrumental empleado en las mediciones y se le permitió la ejecución de 5 repeticiones de prueba para familiarizarse con la tarea.
- **Entrenamiento:** Todos los participantes, independientemente del grupo al que pertenecieran debían realizar 44 series de 10 repeticiones a modo de entrenamiento, con 15 segundos de descanso entre ellas. Estas series se realizaron tras 2 min de descanso tras el test inicial. Los sujetos realizaron diferentes tipos de tarea en esta fase en función del grupo en el que se encontraban, tal y como ha quedado detallado en el apartado anterior (consistencia, variabilidad y variabilidad desde la estabilización del rendimiento). Los sujetos pertenecientes a este último grupo realizaron práctica en consistencia hasta que llegaron al momento de estabilización. A partir de ese punto realizaron práctica en variabilidad hasta completar las 44 series estipuladas de entrenamiento.
- **Test final (post test):** Tras el período de entrenamiento los sujetos descansaron durante 2 min antes de pasar a esta fase, en la que se repitió el protocolo realizado en el test inicial en todos los sujetos, independientemente del grupo de entrenamiento al que pertenecieran.

- **Test de retención (re test):** El protocolo llevado a cabo en los test inicial y final fue repetido por todos los sujetos en dos ocasiones (Test de retención 1 y 2), la primera tras 24 h de la realización del test inicial y la segunda tras una semana del mismo.

La distribución temporal de los test se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.  
*Distribución temporal de los test*

Día 1		Día 2		Día 3	
Test inicial	Entrenamiento	Test final	Test retención 1	Test retención 2	
3 x 10 reps	44 x 10 reps	3 x 10 reps	3 x 10 reps	3 x 10 reps	
	50 series		3 series	3 series	

### Variables de estudio

En el presente estudio se ha llevado a cabo un diseño mixto, ya que se han analizado tanto variables independientes entre-grupos como intra-grupos. En cuanto a la primera, encontramos los tres tipos diferentes de práctica (consistencia, variabilidad y variabilidad tras estabilización), mientras que la segunda se refiere a los diferentes momentos en los que se ha evaluado el rendimiento (pre-test, post-test, re-test 1 y re-test 2). Además, en el grupo de entrenamiento de variabilidad tras la estabilización del aprendizaje se han analizado también las tres series previas y posteriores a la aplicación de variabilidad con el fin de corroborar que la misma suponía realmente una dificultad añadida para los sujetos.

Por lo que a las variables dependientes respecta, se ha analizado la distancia en valor absoluto de la bola a la marca, de la bola a la diana y de la diana a la marca en el momento del impacto.

Tabla 3.  
*Variables independientes y dependientes del estudio, y sus respectivos niveles*

<b>Variables Independientes (VI)</b>	<b>Entre-grupos</b>	Consistencia
		Variabilidad
		Variabilidad desde estabilización
	<b>Intra-grupos</b>	Pre-test
		Pre-variabilidad (sólo grupo 2)
		Post-variabilidad (sólo grupo 2)
		Post-test
		Re-test 1
		Re-test 2
<b>Variables Dependientes (VD)</b>	Distancia bola-marca	
	Distancia bola-diana	
	Distancia diana-marca	

### **Análisis de datos**

Los datos obtenidos de los test fueron introducidos en una base de datos empleando la hoja de cálculo Excel (Microsoft Office). Seguidamente fueron analizados empleando el paquete estadístico IBM SPSS Statistics 24. En primer lugar se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para asegurar la distribución normal de los datos. Una vez realizada, se procedió a un análisis ANOVA de medidas repetidas con post hoc de Bonferroni para la comparación por pares. Para las variables que mostraron diferencias significativas en esta comparación por pares se realizó además una prueba T de medidas repetidas. Además se calculó el índice del tamaño del efecto (d) para su posterior análisis mediante el criterio de Rhea (2004). El nivel de significación establecido para la totalidad de los análisis realizados fue de  $p < 0.05$ .

### **Referencias**

Brady, F. (2004). Contextual interference: a meta-analytic study. *Perceptual Motor Skills*, 99(1), 116-126. doi:10.2466/pms.99.1.116-126

- Caballero, C., Moreno, F. J., Reina, R., Roldán, A., Coves, Á., y Barbado, D. (2017). The role of motor variability in motor control and learning depends on the nature of the task and the individual's capabilities. *European Journal of Human Movement*, 38, 12-26.
- Caballero, C.; Luis, V., y Sabido, R. (2012). Efecto de diferentes estrategias de aprendizaje sobre el rendimiento y la cinemática en el lanzamiento del armado clásico en balonmano. *European Journal of Human Movement*, 28, 1-21.
- Chrousos, G. P. (2009). Stress and disorders of the stress system. *Nature reviews endocrinology*, 5(7), 374. <http://dx.doi.org/10.1038/nrendo.2009.106>
- Davids, K., Glazier, P., Araujo, D., y Bartlett, R. (2003). Movement systems as dynamical systems. *Sports medicine*, 33(4), 245-260. <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-200333040-00001>
- Davids, K.; Button, C., y Bennett, S. (2008). Dynamics of Skill Acquisition: A Constraints-led Approach. Champaign, Illinois. *Human Kinetics*.
- Garcia-Herrero, J. A., Sabido, R., Barbado, D., Martinez, I., y Moreno, F. J. (2016). The load of practice variability must be regulated in relation with learner expertise. *International Journal of Sport Psychology*, 47(6), 559-570.
- Harbourne R.T. y Stergiou N.(2009) Movement variability and the use of nonlinear tools: Principles to guide physical therapist practice. *Physical Therapy*, 89(3):267-282. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080130>
- Herzfeld, D. J. y Shadmehr, R. (2014). Motor variability is not noise, but grist for the learning mill. *Nature neuroscience*, 17(2), 149-150. <http://dx.doi.org/10.1038/nn.3633>

- Lee, T. D., Magill, R. A. y Weeks, D. J. (1985). Influence of practice schedule on testing schema theory predictions in adults. *Journal of motor behavior*, 17(3), 283-299.  
<http://dx.doi.org/10.1080/00222895.1985.10735350>
- McEwen, B. S. (2002). *The end of stress as we know it*. Washington, DC. Joseph Henry Press.
- Menayo, R., Moreno, F., Fuentes, J., Reina, R., y Damas, J. S. (2012 ). Relationship between motor variability, accuracy and ball speed in the tennis serve. *Journal of Human Kinetics*, 33, 45-53.
- Moreno, F. J., y Ordoño, E. M. (2015). Variability and practice load in motor learning. *RICYDE. Revista internacional de ciencias del deporte*, 39(11), 62-78.  
<http://dx.doi.org/10.5232/ricyde2015.03905>
- Ranganathan, R., y Newell, K. M. (2009). Influence of augmented feedback on coordination strategies. *Journal of motor behavior*, 41(4), 317-330.  
<http://dx.doi.org/10.3200/JMBR.41.4.317-330>
- Ranganathan, R., y Newell, K. M. (2010). Motor learning through induced variability at the task goal and execution redundancy levels. *Journal of motor behavior*, 42(5), 307-316.  
<http://dx.doi.org/10.1080/00222895.2010.510542>
- Ranganathan, R., y Newell, K. M. (2013). Changing up the routine: intervention-induced variability in motor learning. *Exercise and sport sciences reviews*, 41(1), 64-70. <http://dx.doi.org/10.1097/JES.0b013e318259beb5>.
- Rhea, M. R. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *Journal of strength and conditioning research*, 18, 918-920. <http://dx.doi.org/10.1519/14403.1>

- Savelsbergh, G.; Kamper, W.J.; Rabijs, J.; De Koning, J.J., y Schöllhorn, W. (2010). A new method to learn to start in speed skating: A differential learning approach. *International Journal Sport Psychology*, 41, 415-427.
- Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82(4), 225-60. <http://dx.doi.org/10.1037/h0076770>
- Schmidt, R.A.; Zelaznick, H.N.; Hawkins, B.; Frank, J.S. y Quinn, J.Y. (1979). Motor-output variability of rapid motor acts. *Psychological Review*, 86, 415-451.
- Selye H. (1956). *The stress of life*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Sterling, P., y Eyer, J. (1988). Allostasis: A new paradigm to explain arousal pathology. In: Fisher S, Reason J, (Eds). *Handbook of life stress, cognition, and health*. (pp. 629–649). Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Urbán, T., Hernández-Davó, H., y Moreno, F. J. (2012). Kinematics and movement variability related to service performance in young tennis players. *European Journal of Human Movement*, 29, 49-60.
- Williams, A. M., y Hodges, N. J. (2005). Practice, instruction and skill acquisition in soccer: Challenging tradition. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 637-650. <http://dx.doi.org/10.1080/02640410400021328>
- Wu, H. G., Miyamoto, Y. R., Castro, L. N. G., Ölveczky, B. P., y Smith, M. A. (2014). Temporal structure of motor variability is dynamically regulated and predicts motor learning ability. *Nature neuroscience*, 17(2), 312-321.
- Wulf, G., y Schmidt, R. A. (1994). Feedback-Induced Variability and the Learning of Generalized Motor Programs. *Journal of Motor Behavior*, 26(4), 348-361. doi:10.1080/00222895.1994.9941691

