

El paradigma *stop signal* como medida de inhibición conductual

Isabel Introzzi*
María M. Richard's*
Ana Comesaña*
Lorena Canet-Juric*

*Doctora en Psicología. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Psicología. Investigadora del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Mar del Plata. Buenos Aires. Argentina.

Correspondencia: Dra. Isabel Introzzi. Dirección: Complejo Universitario - Funes 3250 - Cuerpo V - Nivel III - Teléfono: 54 223 475- 2526 (7600). Mar del Plata. Buenos Aires. Argentina. Correo electrónico: isaintrozzi@hotmail.com

RESUMEN

El Paradigma de la Señal de Parar, *Stop Signal* en inglés, es uno de los procedimientos más utilizados para medir el control inhibitorio. Su amplia difusión se explica por dos motivos: su extensa aplicación en el ámbito de la neuropsicología clínica y, porque aporta un índice –el tiempo de frenado- que no se obtiene con otros paradigmas o procedimientos. Esta medida, refiere al tiempo que necesita el individuo para inhibir una respuesta preponderante. El cálculo del índice deriva de un modelo clásico de inhibición, el “Modelo de Carrera de Caballos”. Sin embargo, el modelo no ha sido suficientemente difundido en nuestro medio, debido a la complejidad de los análisis matemáticos de base y a que la bibliografía disponible en español en este tema es casi inexistente. Por ello, el objetivo de este trabajo es efectuar una revisión sobre este método y presentar algunas de sus aplicaciones en la neuropsicología clínica y de la psicopatología, tales como para el trabajo con pacientes con trastorno obsesivo compulsivo, adicciones, y trastorno de atención, entre otros. MÉD.UIS. 2014;27(3):89-98

Palabras clave: Latencia de respuesta. Inhibición (Psicología). Detección de señal psicológica.

The Stop Signal Paradigm: a measure of behavioral inhibition

ABSTRACT

The Stop Signal Paradigm is one of the most used procedures for measuring the inhibitory control. Their widespread diffusion is due to two reasons: its extensive application in the field of clinical neuropsychology and because it provides an index-braking time-that is not accessible with other paradigms or procedures. This index is defined as the time required for inhibiting a dominant response. The method used to calculate this measure is based on a classical model of inhibition: the “Horse Race Model”. However, their diffusion is limited in our environment because the available literature in Spanish is poor due to the complexity of mathematical analysis involved. Therefore, the aim of this work is to carry out a review of this method and present some of its applications in the field of clinical neuropsychology and psychopathology, such as working with patients with obsessive compulsive disorder, addictions, and attention disorder, among others. MÉD.UIS. 2014;27(3):89-98.

Keywords: Reaction time. Inhibition (Psychology). Psychological signal detection.

¿Cómo citar este artículo?: Introzzi I, Richard's MM, Comesaña A, Canet-Juric L. El paradigma stop signal como medida de inhibición conductual. MÉD.UIS. 2014;27(3):89-98.

INTRODUCCIÓN

La vida cotidiana está plagada de actos que se inician y que deben detenerse antes de que se completen o finalicen. Los seres humanos son capaces de

parar de hablar, correr, escribir y hasta de pensar en determinados temas cuando consideran que estos dejan de ser útiles a sus propósitos o cuando simplemente cambian de planes. La posibilidad de parar o frenar una conducta cuando resulta irrelevante

o representa un peligro potencial para el organismo es una de las condiciones que permiten el desarrollo de un comportamiento flexible y orientado hacia los objetivos, y esto se puede realizar gracias a uno de los tipos de inhibición. La inhibición no hace referencia a un constructo unitario, sino a un rango de procesos^{1,2}. Diversos estudios han tomado distintas tareas que miden dicho proceso, encontrando disociaciones entre las mismas, proponiendo así la existencia de procesos inhibitorios específicos^{3,5}. Hasher y cols^{6,7} han propuesto tres funciones o procesos inhibitorios específicos: acceso, borrado y restricción. La inhibición de restricción, también llamada conductual, en la que está centrado este trabajo, consiste en la supresión de respuestas preponderantes pero inapropiadas, en una situación o momento determinado. Esta es la función inhibitoria más estudiada y a la que usualmente se hace referencia cuando se habla de inhibición⁸. Entre los paradigmas o procedimientos más utilizados para evaluar este mecanismo se destacan: el *Stop-signal* o señal de parar, y el *go-no-go*. La evaluación de la eficiencia de este mecanismo resulta de gran importancia en distintos ámbitos como la neurociencia, la neuropsicología y la psicopatología dado que, como el resto de los procesos ejecutivos presenta un rol protagónico en la autorregulación del comportamiento o lo que es lo mismo que, la habilidad de dirigir un pensamiento o una acción hacia el logro de una meta u objetivo⁸⁻¹³. En síntesis, y en palabras de Logan & Cowan¹⁴, la “inhibición implica un acto de control” y es por ello que su análisis constituye un objetivo prioritario para muchos investigadores.

El objetivo de este trabajo es hacer una revisión del método *stop signal* o de señal de parar ya que es uno de los métodos más utilizado para evaluar y medir el funcionamiento del proceso de inhibición de restricción o conductual y también explicar algunas de las aplicaciones de este método en el ámbito de la neurología clínica y de la psicopatología.

Paradigmas experimentales para la medición de la inhibición conductual: el paradigma *go-no-go* y el paradigma de la Señal de Parar

En los últimos años, se han diseñado distintos métodos para evaluar el funcionamiento del mecanismo de inhibición, que surgen de distintos modelos teóricos. El paradigma *go-no-go* y el paradigma de la señal de parar (del inglés *stop signal paradigm*), como ya se mencionó, son dos de los procedimientos más extensamente empleados en el

estudio de la inhibición conductual. En el paradigma *go-no-go*, el sujeto debe inhibir la respuesta ante un estímulo concreto y responder ante otro, en cambio en el Paradigma de la Señal de parar (PSP), el sujeto debe realizar una tarea primaria como por ejemplo, presionar la tecla izquierda del ratón del computador, cuando se presenta la letra X y la derecha frente a la letra O. Ocasionalmente y de manera imprevista, luego de la presentación del estímulo aparece una señal de parar que indica al sujeto que debe frenar el impulso a responder, es decir, inhibir la ejecución de su respuesta, no presionar la tecla. Lo interesante y distintivo de este método o procedimiento es que requiere la inhibición de una conducta en curso, es decir, de una respuesta que ya se ha iniciado o activado debido a la presentación de alguno de los dos estímulos. Por ello, los autores consideran que el PSP mide básicamente la habilidad del sujeto para inhibir una respuesta que ya ha sido iniciada y que debe detenerse rápidamente¹⁵.

El PSP ha demostrado ser una de las herramientas más útiles y extensamente utilizadas para la evaluación de la respuesta de inhibición conductual. El uso de este paradigma presenta una ventaja fundamental en relación con el resto de las medidas neuropsicológicas clásicas como el test de Ejecución continua de Conners¹⁶, también conocido como CPT, en donde se presentan una serie de estímulos en una pantalla del computador en una sucesión muy rápida, y se le pide a la persona que se evalúa que responda, es decir, que pulse una tecla o un botón del ratón cuando aparezca un estímulo determinado o las tareas de tipo *go-no-go*¹⁷, que ya fueron explicadas.

Este PSP, se sustenta en un modelo teórico de inhibición que en español se conoce con el nombre de “modelo de carrera de caballos” de la expresión original en inglés *The Horse Race Model*. La importancia de este modelo se basa en la propuesta de un método para la medición de la latencia del acto interno de control, es decir, el tiempo que demora el sujeto en inhibir su respuesta. El otro de los paradigmas que es muy usado, el *go-no-go*, la principal medida de funcionamiento inhibitorio es el error, es decir, la frecuencia con que el sujeto falla o no logra inhibir su respuesta. En estos casos, el procedimiento es sencillo ya que existe una conducta observable factible de medición directa, la emisión de la respuesta que debía haber sido inhibida. La principal característica distintiva del PSP es que también permite obtener un índice del funcionamiento inhibitorio pero, cuando este resulta exitoso. La cuestión fundamental es que

el acto inhibitorio exitoso supone por definición la ausencia de una conducta observable, por lo que resulta imposible la medición directa. Por ello, el principal aporte del PSP consiste en la medición de la velocidad del acto inhibitorio exitoso. Esta medida, es el índice de desempeño principal del paradigma y constituye su mayor contribución.

A pesar que el PSP aporta una medida de gran utilidad para valorar el funcionamiento inhibitorio y que además no es posible de obtener a través de otros procedimientos, no se registran estudios que hayan implementado este paradigma en la evaluación de la inhibición conductual. Probablemente, esto se explique por dos razones fundamentales:

En primer lugar, la respuesta de inhibición no constituye una conducta observable, condición que dificulta o limita notablemente su medición. En este punto, el modelo de carrera de caballos resulta esencial, pues de sus supuestos principales se derivan los cálculos necesarios para la medición de este mecanismo. Sin embargo, la difusión de este modelo en Argentina es escasa, probablemente debido a la poca bibliografía disponible en español y a la complejidad de los análisis matemáticos implicados en los principales supuestos.

En segundo lugar, este paradigma resulta difícil de programar en relación a otros paradigmas experimentales, esto se debe a la multiplicidad de eventos que se solapan en los ensayos donde se presenta la señal de parar y al ajuste que resulta necesario efectuar en los intervalos de la presentación de la señal a lo largo del experimento. Esto ha motivado a los autores a desarrollar un software para su aplicación, *stop it*¹⁸, y para su análisis, *analyze it*, que son de acceso libre y cuyo objetivo principal consiste en facilitar su uso en distintos ámbitos. Estos programas son ejecutables con Windows y pueden ser descargados de: expsy.ugent.be/tscope/stop.html o de las páginas personales de los autores.

Descripción general del paradigma de PSP

El PSP consiste en un experimento de laboratorio análogo a una situación real en la que el sujeto debe detener una respuesta planeada o relevante^{14, 19}. En el paradigma clásico, los sujetos deben efectuar dos tareas concurrentes: una tarea de ejecución o *go task* y una tarea de frenado, *stop task* o tarea de parar. En la tarea de ejecución el sujeto debe responder de la manera más rápida y precisa a la señal de ejecución

o *go signal*, que se presenta como imperativa. Generalmente, la tarea de ejecución constituye una tarea de tiempo de reacción de elección por ejemplo, presionar la tecla izquierda si se presenta un cuadrado y la derecha si se presenta un círculo. Ocasionalmente, en el 25% de los ensayos, luego de la señal de ejecución y en distintos intervalos en relación a esta última, se presenta la señal de parar que indica al sujeto que debe frenar o inhibir su respuesta. La señal de parar suele ser una señal auditiva^{14,20} aunque también se utilizan señales visuales (ver ejemplos en 21 y 22). En el PSP la señal de ejecución se interpreta como el disparador del impulso y la respuesta al mismo como la respuesta relevante. La señal de parar es la señal de control que transforma la respuesta prepotente en una respuesta inapropiada. En el mundo real la señal de parar puede originarse en una fuente externa por ejemplo, un maestro o una fuente interna cuando la persona reevalúa una situación. En el contexto del laboratorio la fuente externa proviene de la computadora que es controlada por el experimentador y frente a la presentación de la señal de parar la respuesta inhibitoria supone el control eficaz del impulso y la emisión de la respuesta control inhibitorio ineficaz o débil.

El Modelo clásico de carrera de caballos

El modelo de carrera de caballos fue desarrollado por Logan y Cowan¹⁴ y Logan, Cowan & Davies¹⁵ para explicar el funcionamiento del mecanismo de la inhibición en base a la evidencia empírica obtenida a través de la aplicación del PSP. Como ya se dijo, su nombre proviene de la expresión en inglés *The Horse Race Model*, y se utilizó esta denominación debido a que explica la inhibición en términos de una carrera entre dos conjuntos de procesos: el proceso de ejecución y el proceso de frenado. Así, se considera que la habilidad de inhibir la respuesta depende del resultado de la carrera entre los dos procesos responsables de la ejecución y del frenado, respectivamente. Si el proceso de inhibición gana la carrera, entonces la acción en curso se frena. Sin embargo, si gana el proceso de ejecución, el sujeto emite la respuesta como si no se hubiera presentado la señal de parar. La importancia de conocer este modelo no solo radica en que constituye una teoría sólida de funcionamiento del proceso de inhibición, sino que también resulta esencial para comprender e interpretar de manera adecuada la lógica y las medidas principales del paradigma que surge de él para medir dicho proceso: el PSP.

Para Logan y Cowan¹⁴ los momentos de finalización correspondientes a ambos procesos son aleatorios e independientes entre sí. Esto significa que la habilidad del individuo para inhibir depende del resultado del balance entre dos procesos independientes responsables de la producción y el frenado de la respuesta respectivamente. Por lo tanto, para el modelo el control inhibitorio depende tanto de la latencia de respuesta a la tarea primaria (*go signal reaction time*) como de la latencia de respuesta a la señal de parar (*stop signal reaction time*). La implicancia práctica de este supuesto para el control inhibitorio es evidente, ya que la falla en este mecanismo no solo admite ser explicada por una larga latencia frente a la señal de parar sino que también puede resultar de una respuesta muy rápida a la tarea primaria.

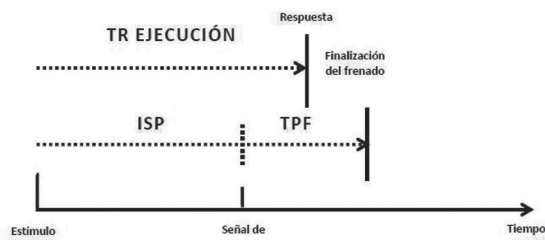


Figura 1 (A). Modelo de carrera de caballos: representación gráfica de la relación entre los procesos de ejecución e inhibición (frenado). Caso en el que falla el control inhibitorio de la respuesta.

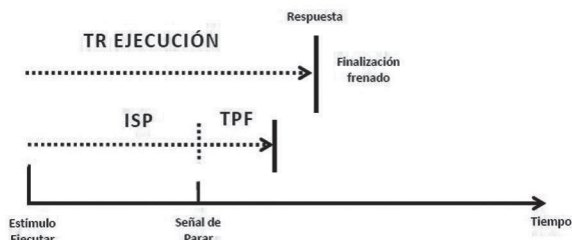


Figura 1 (B) Modelo de carrera de caballos: representación gráfica de la relación entre los procesos de ejecución e inhibición (frenado). Caso en el que se logra el control inhibitorio de la respuesta. Adaptado de Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 33, F. Verbruggen y G. D. Logan, Models of Response Inhibition in the Stop-signal and stop-change paradigms, 647–661, Copyright © (2009), permiso de reproducción otorgado por Elsevier.

Las figuras 1 (A y B) precedentes, representan el principal supuesto del modelo que consiste en la independencia entre los procesos de activación o ejecución e inhibición. La Figura 1 (A) muestra el caso en que el proceso de ejecución “gana” la carrera. En este ejemplo, el Tiempo de finalización del Proceso de Frenado (TPF) es posterior al proceso de finalización del proceso de ejecución (TR de ejecución), por lo que falla la inhibición o lo que lo que es lo mismo, el

sujeto emite su respuesta. En fórmula la situación se expresa de la siguiente manera:

TR < TPF + ISP (intervalo de presentación de la señal de parar)

La figura 1 (B) muestra el caso en que el proceso de ejecución “pierde” la carrera. En este ejemplo, TPF es anterior al (proceso de finalización del proceso de ejecución) TR de ejecución, por lo que el sujeto logra inhibir o controlar su respuesta. En fórmula la situación se expresa de la siguiente manera:

TR > TPF + ISP(intervalo de presentación de la señal de parar)

La longitud de las flechas representa la duración o latencia de los procesos, siendo el ISP, el Intervalo de presentación de la Señal de Parar, el TPF, el tiempo del proceso de frenado y el TR equivalente al tiempo del proceso de ejecución.

En síntesis, Logan²³ y Logan y Cowan¹⁴ proponen una carrera entre los procesos de ejecución y de frenado argumentado que es el tiempo relativo de finalización entre ambos procesos lo que determina si el sujeto puede frenar o inhibir la respuesta. Por este motivo, el modelo propuesto por los autores se conoce con el nombre de “modelo de carrera de caballos”.

El índice del tiempo de frenado

El tiempo de frenado o TPF constituye uno de los índices principales para la medición del control inhibitorio. La diferencia fundamental de este índice con el TR de ejecución es que no puede medirse de manera directa puesto que la inhibición de la respuesta no constituye una conducta observable. Más claro aún, el TPF por definición constituye la ausencia de respuesta. Sin embargo, a partir del modelo de carrera de caballos y del supuesto principal de la independencia entre los procesos, se han desarrollado un conjunto de métodos que permiten estimar el TPF y de este modo, analizar el control inhibitorio en distintos grupos y condiciones. El TPF corresponde al intervalo de tiempo que se encuentra entre en el inicio del proceso de frenado, que se da con la presentación de la señal de parar y su finalización. Es claro que para este modelo, el proceso de frenado comienza con la señal de parar, que es una condición controlada por el experimentador y que determina los distintos intervalos. Por otro lado, el punto en que finaliza el proceso de frenado

se estima, en función de la distribución de los TR de ejecución y de la probabilidad de responder, frente a un determinado ISP. En la práctica, existen distintos métodos para calcular el TPF (para una revisión ver 24, 25 y 26). Hay dos procedimientos básicos para estimar el ISP. El primero de ellos, consiste en la utilización de un número variable de ISP que se mantienen fijos o constantes a lo largo del experimento, este es el método fijo de estimación y el otro procedimiento implica el ajuste dinámico del ISP.

El software *Stop it* es un programa desarrollado por Verbruggen, Logan y Stevens¹⁸, como ya se mencionó, para la aplicación de este paradigma y que, utiliza para el cálculo del TPF, el método de ajuste dinámico. La característica principal de este procedimiento, consiste en la variación de los intervalos en los que se presenta la señal de parar a lo largo del experimento. Con el objeto de registrar la probabilidad de que un proceso prevalezca sobre el otro, o dicho en términos de los autores, de que el resultado de la carrera se incline a favor de uno u otro proceso²⁰. En el otro método mencionado, la estimación del TPF se calcula a través de la selección de un conjunto de ISP que se mantienen fijos a lo largo del experimento¹⁴. Sin embargo, varios investigadores han optado por variar los ISP de manera dinámica en función del desempeño del sujeto en el experimento²⁷⁻³⁰.

Este método de estimación del tiempo o latencia de frenado o TPF consiste en variar el ISP en función del éxito o fracaso de sujeto en cada ensayo que se presenta la señal de parar. De este modo, si el sujeto logra inhibir la respuesta, no emitiendo respuesta, se incrementa el ISP correspondiente al próximo ensayo de presentación de la señal de parar en 50 ms, pero si el sujeto no logra inhibir su respuesta, se procede a reducir en 50 ms el ISP correspondiente en el ensayo siguiente²⁰. El procedimiento de ajuste dinámico introducido por Osman, Kornblum y Meyer^{27,28} resulta en un ISP en el que el sujeto logra inhibir su respuesta el 50% de las veces^{20,31, 32}. Por lo tanto, la importancia de este intervalo reside en que representa el punto en que los procesos “empatan la carrera”, es decir, el intervalo en que los procesos de frenar y ejecutar finalizan al mismo tiempo, por lo que el resultado a favor de uno u otro depende de una variación aleatoria. De este modo, como representa el punto en que finaliza el proceso de frenado, esta información puede utilizarse para estimar el TPF. El resultado de la carrera depende de tres medidas: TR de ejecución, el TR de frenado y el ISP. El TR de ejecución corresponde al tiempo promedio que

demora el sujeto en emitir su respuesta. El ISP se calcula a partir del procedimiento de ajuste dinámico que permite establecer el intervalo en que el sujeto emite su respuesta en el 50 % de los ensayos. Estas dos medidas, el TR de ejecución y el ISP, resultan indispensables para la estimación final del tiempo de frenado, ya que el último paso consiste en restar el ISP del tiempo de respuesta promedio correspondiente a la tarea primaria o al tiempo de respuesta de ejecución. En líneas generales, los autores han considerado a este método como uno de los procedimientos más confiables de estimación del TPF^{20, 24}.

La función de inhibición

Una de las medidas más importantes vinculadas con este paradigma es la probabilidad de inhibir la respuesta frente a la señal de parar, o lo que es lo mismo, la probabilidad (p) de responder a la tarea primaria o de ejecución cuando se presenta la señal de parar. En este modelo, las funciones de inhibición representan la relación entre la probabilidad de responder p, respuesta/señal y el intervalo de presentación de la señal de parar o ISP. En relación a esta cuestión, los datos obtenidos a través del paradigma han permitido mostrar de manera consistente que cuando la señal de parar se presenta cerca del momento de la presentación del estímulo los sujetos logran inhibir su respuesta, pero si se presenta muy cerca del momento de ejecución, la inhibición resulta imposible. Teóricamente, p sería equivalente a 0, si la presentación de la señal de parar se presenta lo suficientemente cerca de la señal de ejecución y, equivalente a 1 si la señal de parar se presenta lo suficientemente lejos de la señal de ejecución^{14,26}. En teoría y práctica, la probabilidad de responder se incrementa monótonamente de 0 a 1 en la medida en que se incrementa el ISP, perfilando de este modo la función de inhibición²⁶.

La Figura 2, representa la función de inhibición, es decir la probabilidad de evitar la respuesta en función del momento en que se presenta la señal de parar¹⁴. Muestra las funciones de inhibición para tres casos distintos: J.M, G.L y J.C. Se observa que la probabilidad de respuesta varía en función del intervalo, ISP. Además, las funciones muestran diferencias interindividuales. Por ejemplo, la función correspondiente al sujeto J.C. muestra que la probabilidad de respuesta es mayor en todos los intervalos, lo que supone un menor control inhibitorio.

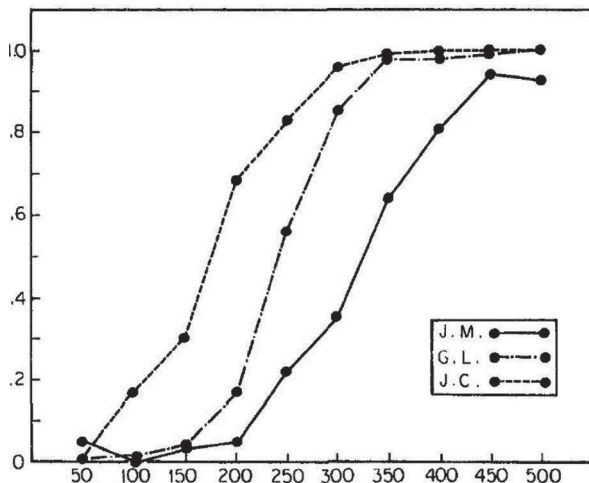


Figura 2. Las funciones de inhibición: la probabilidad de responder en función del momento de presentación de la señal de parar en tres sujetos distintos. Tomado de *Psychological Review*, 91(3), G. D. Logan y N. Cowan, *On The Ability to Inhibit Thought and Action*, 295-327, Copyright © 1984, American Psychological Association (APA).

La importancia teórica de esta función reside en que permiten reflejar el resultado de la carrera entre el proceso de ejecución y el de frenado. Por otro lado, su relevancia empírica se basa en la posibilidad de comparación del control inhibitorio en distintos grupos, tareas o condiciones¹⁴.

En síntesis, el modelo describe las funciones de inhibición estableciendo que los ISP afectan o condicionan los momentos relativos de finalización del proceso de ejecución y frenado, resultado que finalmente termina inclinando la carrera en favor de uno u otro proceso. Eso se manifiesta de manera sencilla en los siguientes supuestos: si la señal de parar aparece muy pronto, la respuesta es inhibida siempre, y si aparece muy tarde la respuesta se ejecuta siempre.

¿Cuáles son los factores que afectan las funciones de inhibición?

Los autores consideran que las diferencias en las funciones de inhibición pueden responder a varios factores diferentes y, esta situación en algunos casos puede complicar su interpretación^{14,18,25,26}. Los tres factores principales que afectan las funciones de inhibición son: el intervalo de presentación de la señal de parar, la distribución de los TR en la tarea de ejecución y la distribución del tiempo de frenado. Las figuras 3 (A, B y C) muestran las relaciones entre estos factores.

El modelo asume que el intervalo de señal de parar afecta el tiempo relativo de finalización del proceso de frenado: cuando se incrementa el ISP, el proceso de frenado comienza más tarde por lo que también finaliza más tarde en relación al proceso de ejecución. Consecuentemente, se incrementa la probabilidad de que el proceso de ejecución finalice antes que el proceso de frenado por lo que la respuesta de inhibición resulta menos frecuente. Esta relación entre el ISP y la probabilidad de responder se representa, a continuación, en la figura 3 (A).

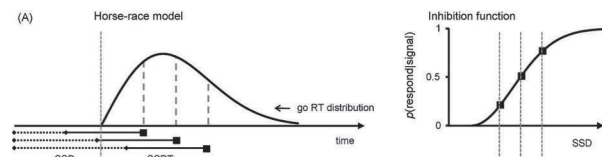


Figura 3 (A). Efecto de distintos intervalos en que se presenta la señal de parar sobre la probabilidad de respuesta a la señal (P). Adaptado de *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33, F. Verbrughen y G. D. Logan, *Models of Response Inhibition in the Stop-signal and stop-change paradigms*, 647-661, Copyright © (2009), con permiso de Elsevier.

El panel izquierdo de la Figura 3 (A) representa la predicción de la probabilidad de respuesta p basada en el supuesto de independencia de los procesos del modelo de carrera de caballos. En el panel derecho se presenta la función de inhibición correspondiente a una misma distribución de TR de ejecución e intervalos TPF pero distintos ISP. Esta representación gráfica muestra la probabilidad de responder que corresponde a las áreas ubicadas a la izquierda de la línea segmentada. Como se puede observar, en la medida en que se incrementa el ISP la línea corta una parte más extensa de la distribución de los TR de ejecución. Es decir, p podría ser equivalente a 0 si la presentación de la señal de parar está suficientemente cerca de la señal de ejecución y equivalente a 1 si la señal de parar se presenta lo suficientemente lejos de la señal. Como se describió anteriormente, la probabilidad de responder se incrementa monótonamente de 0 a 1 en la medida en que se incrementa el ISP, delineando de este modo la función de inhibición. Ver el panel derecho de la figura 3 (A).

La Figura 3 (B) precedente, representa la p para cada ISP con la correspondiente función de inhibición (panel derecho) cuando la distribución de TR de ejecución se desplaza a la derecha es decir, se lentifica o retrasa el TR de ejecución. Mientras la figura anterior representaba la incidencia de los distintos ISP sobre la probabilidad de respuesta p ,

esta figura muestra la manera en que el cambio en los TR de ejecución puede afectar la probabilidad de respuesta p . En síntesis, las diferencias entre los TR de ejecución y de TPF también afectan la probabilidad de respuesta p . Esto significa que para un determinado ISP, si se incrementa el TR de ejecución disminuye la p , puesto que se incrementa la probabilidad de que el proceso de frenado finalice antes que el de ejecución. El panel derecho, compara la función de inhibición descrita en la figura anterior, con la función de inhibición que corresponde al enlentecimiento de los TR de ejecución. La importancia práctica de este hallazgo es fundamental, dado que muestra la factibilidad de que los sujetos puedan mantener una p equivalente a través de distintos ISP lentificando su TR de ejecución. Por este motivo, la mayoría de los investigadores que aplican este paradigma suelen controlar, a través de distintos métodos, la tendencia de los participantes a enlentecer sus respuestas a lo largo de la tarea^{17, 33, 34}.

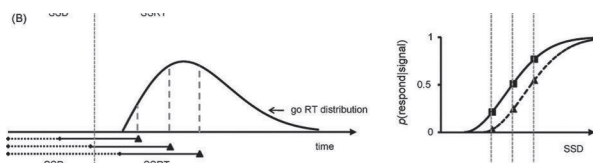


Figura 3 (B). Efecto de la distribución del TR de ejecución sobre la probabilidad de respuesta a la señal (P). Adaptado de *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33, F. Verbrughen y G. D. Logan, *Models of Response Inhibition in the Stop-signal and stop-change paradigms*, 647–661, Copyright © (2009), con permiso de Elsevier.

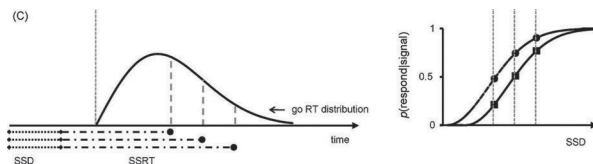


Figura 3(C). Efectos de distintas latencias de frenado sobre la probabilidad de responder a la señal de parar (P). Adaptado de *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33, F. Verbrughen y G. D. Logan, *Models of Response Inhibition in the Stop-signal and stop-change paradigms*, 647–661, Copyright © (2009), con permiso de Elsevier.

Por último, el panel izquierdo de la figura 3(C) representa la probabilidad de respuesta cuando el ISP se mantiene constante pero se extiende el TPF. El panel derecho muestra la correspondiente función de inhibición, la línea sólida representa la función de inhibición de la Figura 3(A). En este caso, la figura permite observar cómo el aumento de los intervalos en que se presenta la señal de parar o TPF incrementa la probabilidad de que el proceso de frenado o control inhibitorio finalice después que el de ejecución.

Aplicación del paradigma psp para medir la inhibición conductual en el ámbito de la neurología clínica y la psicopatología

La utilización de este método o paradigma para medir el proceso de inhibición conductual se ha implementado en ámbitos tan diversos como la neuropsicología, neurociencias, la psicología cognitiva y la psicopatología^{26, 35} lo que ha permitido el análisis del mecanismo de la inhibición en distintos grupos, tareas y condiciones^{20, 36-9}.

Actualmente, la inhibición parece formar parte fundamental de un conjunto heterogéneo de fenómenos. En el campo del desarrollo cognitivo, se ha estudiado este proceso y se lo postula como el principal mecanismo responsable del desarrollo cognitivo. Distintos estudios, por ejemplo han obtenido evidencia que muestra la estrecha relación existente entre el progreso que experimentan los niños en la comprensión lectora, la memoria de trabajo, la atención y el incremento en la eficiencia de uso de este mecanismo inhibitorio^{17,40,41}, estudiaron la función inhibitoria de restricción, encontrando que se producía un incremento constante en la habilidad de inhibición entre los cuatro y los seis años. Por otro lado, Becker, Isaac y Hynd⁴² estudiaron el rendimiento en niños de cinco a 12 años en tareas ejecutivas que incluían medidas de inhibición restrictivas, y observaron que los niños de seis años y algunos de ocho años tenían más dificultad en estas tareas que los niños de 10 y 12 años. Concluyeron que hay una transición en el desarrollo que ocurre entre los seis y los nueve años de edad.

En el caso de los trastornos psicopatológicos y neurológicos se han relacionado las fallas en el control de la inhibición conductual, por ejemplo, en los niños con síndrome de déficit de atención e hiperactividad lo que suele estar típicamente asociado con un pobre control de los impulsos, numerosos estudios relacionan esta patología con un enlentecimiento en los TR a la señal de parar⁴³. Estos hallazgos llevaron a algunos investigadores a sugerir la idea de que las fallas en la inhibición a la señal de parar podrían ser un endofenotipo de este trastorno de atención^{44, 45}. A menudo, un enlentecimiento en los TR a la señal de parar también es acompañado en estos niños, por un TR más lento a los ensayos en donde tienen que ejecutar una respuesta, lo que estaría indicando un déficit en el control cognitivo. Al contrario de esto, en los adultos con trastorno por déficit de atención con hiperactividad, el enlentecimiento en los TR a la

señal de parar no va acompañado de TR de ejecución más lenta, lo que indica un déficit selectivo de la inhibición. Los niños con este trastorno enlentecen menos sus TR de ejecución luego de una inhibición fallida, que los sujetos control sanos. Estos ajustes post-errores no están correlacionados con los TR a la señal de parar, lo que indica una disociación de la inhibición de la respuesta y el seguimiento o ajuste. No está claro si el deterioro del comportamiento refleja un déficit en el proceso de monitoreo o en el de ajuste¹⁸. También, se encontraron tiempos de reacción más prolongados a la señal de parar en personas con trastorno obsesivo compulsivo y con el síndrome de Tourette^{46,47}. Estos déficits inhibitorios traen como resultado los problemas en el control de la conducta, lo que es característico de los pacientes con estas patologías. Los TR de ejecución, en general no se ven afectados, lo que apoya la idea de un déficit selectivo de la inhibición. Un estudio reciente con neuroimágenes funcionales ha mostrado que las personas con trastornos obsesivo compulsivo presentan una reducción de la activación del cuerpo estriado en la región orbito-frontal cuando la inhibición se realiza correctamente y una reducción en la activación de la corteza media y dorsolateral prefrontal cuando la inhibición no es exitosa o es fallida. Esto indica que, tanto la respuesta a la inhibición como el control del monitoreo, están deteriorados en personas con este trastorno⁴⁸. Sin embargo, estos resultados deben interpretarse con cautela porque el tamaño de la muestra utilizado fue pequeño, menor a 20 pacientes.

Las fallas en el control inhibitorio también son características en los trastornos por abusos de sustancias. Los TR en respuesta a la señal de parar son más prolongados en los consumidores crónicos de cocaína y de otras sustancias tóxicas^{49,50} como también en sujetos dependientes del alcohol⁴⁷, en comparación con un grupo de sujetos control normales, lo que indica un déficit de respuesta de inhibición. No está claro si estas diferencias en los TR a la señal de parar reflejan diferencias premórbidas en el control inhibitorio o anomalías postmórbida como consecuencia del abuso crónico de sustancias químicas o ambos. Sin embargo, TR prolongado a la señal de parar en adolescentes de alto riesgo, predicen el alcoholismo y otros trastornos por abuso de sustancias⁵¹, lo que indica que estos tiempos más prolongados en los adictos crónicos a diferentes sustancias podrían reflejar diferencias premórbidas en control inhibitorio.

Estos estudios demuestran que contar con un método de estudio para la inhibición por restricción o conductual, como el paradigma de *Stop Signal*, puede permitir analizar cuáles son diferentes aspectos de dicho proceso que están fallando en estas personas con alguna patología y así poder planificar y realizar un tratamiento o una rehabilitación neuropsicológica de esta función, para aumentar su capacidad de frenar o inhibir una respuesta cuando esta ya no resulta apropiada y que debe frenarse o ser inhibida y consecuentemente mejorar el control de toda su conducta.

CONCLUSIONES

Este trabajo se ha propuesto describir de manera sintética los principales aspectos del modelo de carrera de caballos desarrollado por Logan y Cowan¹⁴ y del paradigma de la señal de parar que surge de este modelo. Su importancia reside en que constituye una teoría formal del acto de control de la conducta que permite comprender los procesos que intervienen en la ejecución del PSP, que es uno de los más utilizados en la medición de la inhibición conductual o de restricción. Dicho paradigma o método, proporciona una medida de control inhibitorio interno del comportamiento no manifiesto en una conducta observable. Esta medida refleja la velocidad del proceso de inhibición o, lo que es lo mismo, la latencia del acto interno de control. Esta es una de las principales ventajas del paradigma en relación con otras tareas y paradigmas clásicos de inhibición, como el *go-no-go* y el test de ejecución continua o CPT de Conners¹⁶. La importancia práctica de medir el TPF es que permite discriminar entre distintos grupos y condiciones. En relación con las diferencias interindividuales, se ha encontrado que los adultos impulsivos presentan TPF más largos o mayor latencia que, los no impulsivos, como ya fue explicado en el último apartado²⁰. La aplicación de este paradigma resulta especialmente relevante tanto en el ámbito de la investigación, como en el ámbito clínico. Como ya se mencionó, porque es un método que permite medir con precisión las diferencias individuales en la función de la inhibición conductual de la manera lo más pura posible y pudiendo obtener algunos índices específicos como el TPF, sin que intervengan otras funciones como la atención, o la memoria que suelen estar muy emparentadas con dicha inhibición, y de allí la precisión y rigurosidad que brinda para ser utilizado en el campo de la investigación científica. En cuanto al ámbito clínico, este paradigma permite que

las personas que presentan un déficit en esta función y en otras funciones relacionadas como la atención, debido a una patología como el síndrome por déficit de atención, pueda rehabilitarla diseñando distintas tareas siguiendo este paradigma, y que sean específicas y resulten atractiva para la persona, lo que se consigue con la utilización de los programas informatizados específicos.

Actualmente, existe un fuerte debate en relación a la naturaleza y definición conceptual del mecanismo de inhibición. Mientras algunas postulaciones teóricas plantean la existencia de un mecanismo inhibitorio único y global⁵², otras como la que fue desarrollada en este trabajo, consideran la necesidad de fragmentarlo en distintos procesos^{6,53}. Esta última línea la llevan adelante principalmente Hasher y cols^{6,7,54}. En dicho modelo, el PSP resulta fundamental para la evaluación de una de las funciones inhibitorias mencionadas: la inhibición conductual o la inhibición de restricción. Es claro que, en el contexto de esta discusión el PSP cobra especial relevancia pues, además de aportar información específica para la comparación con otras medidas inhibitorias también permite analizar un aspecto de la inhibición conductual que no es abordable con otros procedimientos: la habilidad de frenar una conducta que ya se ha iniciado pero que debe suprimirse rápidamente.

Actualmente, los autores del paradigma trabajado en este artículo han desarrollado un *software* de acceso libre¹⁸ el cual facilita el uso y aplicación del mismo. Sin embargo, para interpretar los resultados obtenidos en esta tarea, resulta imprescindible el conocimiento y la comprensión del modelo teórico de base. Más allá de la importancia de la profundización y la difusión del paradigma en habla hispana, los aportes y clarificaciones de este trabajo se constituyen en una guía imprescindible para la aplicación e interpretación de los resultados devenidos del uso de este método. Por último, es importante disponer de una herramienta conceptual que permita discriminar este método para medir la inhibición de otros procedimientos usados para medir el control inhibitorio de cara a una posible utilización diagnóstica clínica y psicoeducativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Harnishfeger K K. The development of cognitive inhibition: Theories, definitions, and research evidence. In: Dempster FN y Brainerd CJ, editors. *Interference and inhibition in cognition*. San Diego: Academic Press; 1995. p. 175-204.
- Nigg JT. On inhibition/desinhibition in developmental psychopathology: views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychol Bull.* 2000;126(2):220-46.
- Borella E, Carretti B, Cornoldi C, De Beni R. Working memory, control of interference and everyday experience of thought interference: when age makes the difference. *Aging Clin Exp Res.* 2007;19(3):200-6.
- Friedman NP, Miyake A. The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis. *J Exp Psychol Gen.* 2004;133(1):101-35.
- Hamilton AC, Martin RC. Dissociations among tasks involving inhibition: a single case of study. *Cogn Affect Behav Neurosci.* 2005;5(1):1-13.
- Hasher L, Lustig C, Zacks RT. Inhibitory mechanisms and the control of attention. In: Conway A, Jarrold C, Kane M, Miyake A, Towse J, editores. *Variation in Working Memory*. New York: Oxford University Press; 2007.
- Hasher L, Tonev ST, Lustig C, Zacks R. Inhibitory control, environmental support, and self initiated processing in aging. In: Naveh-Benjamin M, Moscovitch M, Roediger RL, Editores. *Perspectives on Human Memory and Cognitive Aging: Essays in Honour of Fergus Craik*. East Sussex, UK: Psychology Press; 2001. p. 286-97.
- Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ, Witzki AH, Howerter A, Wager TD. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cogn Psychol.* 2000;41(1):49-100.
- Andres P. Frontal cortex as the central executive of working memory: time to revise our view. *Cortex.* 2003;39(4-5):871-95.
- Aron AR. The neural basis of inhibition in cognitive control. *Neuroscientist.* 2007;13(3):214-28.
- Logan GD. Executive control of thought and action. *Acta Psychol.* 1985;60(2-3):193-210.
- Stuphorn V, Schall JD. Executive control of countermanding saccades by the supplementary eye field. *Nat Neurosci.* 2006;9(7):925-31.
- Verbruggen F, Logan GD. Response inhibition in the stop-signal paradigm. *Trends Cogn Sci.* 2008;12(11):418-24.
- Logan GD, Cowan WB. On the ability to inhibit thought and action: a theory of an act of control. *Psychol Rev.* 1984;91(3):295-327.
- Logan GD, Cowan WB, Davis KA. On the ability to inhibit simple and choice reaction time responses: a model and a method. *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 1984;10(2):276-91.
- Conners CK. The computerized continuous performance test. *Psychopharmacol Bull.* 1985;21: 891-2.
- Bedard AC, Nichols S, Barbosa JA, Schachar R, Logan GD, Tannock R. The development of selective inhibitory control across the life span. *Dev Neuropsychol.* 2002;21(1):93-111.
- Verbruggen F, Logan GD, Stevens MA. STOP-IT: Windows executable software for the stop-signal paradigm. *Behav Res Methods.* 2008;40(2):479-83.
- Lappin JS, Eriksen CW. Use of delayed signal to stop a visual reaction-time response. *J Exp Psychol.* 1966;72(6):805-11.
- H Logan GD, Schachar RJ, Tannock R. Impulsivity and inhibitory control. *Clin Psychol Sci Pract.* 1997;8(1):60-4.
- Colzato LS, Ruiz MJ, Van Den Wildenberg WP, Bajo MT, Hommel B. Long-term effects of chronic Khat use: impaired inhibitory control. *Front Psychol.* 2010;1:219.
- Van den Wildenberg WP, Van Boxtel GJ, Van der Molen MW. The duration of response inhibition in the stop-signal paradigm varies with response force. *Acta Psychol (Amst).* 2003;114(2):115-29.
- Logan GD. Attention, automaticity, and the ability to stop a speeded choice response. In: Long J, Baddeley AD editors. *Attention and Performance IX*. Hillsdale, NY: Erlbaum; 1981. p. 205-22.
- Band GP, van der Molen MW, Logan GD. Horse-race model simulations of the stop-signal procedure. *Acta Psychol (Amst).* 2003;112(2):105-42.
- Logan GD. On the ability to inhibit thought and action: a user's guide to the stop signal paradigm. In: Dagenbach D, Carr Th editors. *Inhibitory Processes in Attention, Memory and Language*. San Diego: Academic; 1994. p. 189-239.
- Verbruggen F, Logan GD. Models of response inhibition in the stop-signal and stop-change paradigms. *Neurosci Biobehav Rev.* 2009;33(5):647-61.

27. Osman A, Kornblum S, Meyer DE. The point of no return in choice reaction time: controlled and ballistic stages of response preparation. *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 1986;12(3):243-58.
28. Osman A, Kornblum S, Meyer DE. Does motor programming necessitate response execution?. *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 1990;16(1):183-98.
29. Schachar R, Logan GD. Impulsivity and inhibitory control in normal development and childhood psychopathology. *Dev Psychobiol.* 1990;26(5):710-20.
30. Schachar R, Tannock R, Marriott M, Logan G. Deficient inhibitory control in attention deficit hyperactivity disorder. *J Abnorm Child Psychol.* 1995;23(4):411-37.
31. Aron AR, Poldrack RA. Cortical and subcortical contributions to stop signal response inhibition: role of the subthalamic nucleus. *J Neurosci.* 2006;26(9):2424-33.
32. Verbruggen F, Liefvooghe B, Vandierendonck A. The interaction between stop signal inhibition and distractor interference in the flanker and Stroop task. *Acta Psychol (Amst).* 2004;116(1):21-37.
33. Verbruggen F, De Houwer J. Do emotional stimuli interfere with response inhibition? Evidence from the stop signal paradigm. *Cogn Emot.* 2007;21(2):391-403.
34. Williams BR, Ponesse JS, Schachar RJ, Logan GD, Tannock R. Development of inhibitory control across the life span. *Dev Psychol.* 1999;35(1):205-13.
35. Boucher L, Palmeri TJ, Logan GD, Schall JD. Inhibitory control in mind and brain: an interactive race model of countermanding saccades. *Psychol Rev.* 2007;114(2):376-97.
36. Fillmore MT, Rush CR. Impaired inhibitory control of behavior in chronic cocaine users. *Drug Alcohol Depend.* 2002;66(3):265-73.
37. Mirabella G, Pani P, Paré M, Ferraina S. Inhibitory control of reaching movements in humans. *Exp Brain Res.* 2006;174(2):240-55.
38. H Morein-Zamir S, Kingstone A. Fixation offset and stop signal intensity effects on saccadic countermanding: a crossmodal investigation. *Exp Brain Res.* 2006;175(3):453-62.
39. Blaye A, Chevalier N, Paour JL. The development of intentional control of categorization behaviour: a study of children's relational flexibility. *Cognition, Brian, Behavior.* 2007;11(4):791-808.
40. Robert C, Borella E, Fagot D, Lecerf T, Ribaupierre A. Working memory and inhibitory control across the life span: Intrusion errors in the reading span test. *Mem Cognit.* 2009;37(3):336-45.
41. Davidson MC, Amso D, Anderson LC, Diamond A. Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia.* 2006;44(11):2037-2078.
42. Becker MG, Isaac W, Hynd GW. Neuropsychological development of nonverbal behaviors attributed to "frontal lobe" functioning. *Dev Neuropsychol.* 1987;3(3-4):275-298.
43. Lijffijt M, Kenemans JL, Verbaten MN, van Engeland H. A meta-analytic review of stopping performance in attention-deficit/hyperactivity disorder: deficient inhibitory motor control? *J Abnorm Psychol.* 2005;114(2):216-22.
44. Schachar RJ, Crosbie J, Barr CL, Ornstein TJ, Kennedy J, Malone M, et al. Inhibition of motor responses in siblings concordant and discordant for attention deficit hyperactivity disorder. *Am J Psychiatry.* 2005;162(6):1076-82.
45. Aron AR, Poldrack RA. The cognitive neuroscience of response inhibition: relevance for genetic research in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biol Psychiatry.* 2005;57(11):1285-92.
46. Chamberlain, S.R. et al. Motor inhibition and cognitive flexibility in obsessive-compulsive disorder and trichotillomania. *Am. J. Psychiatry,* 2006, 163:1282-1284
47. Goudriaan, A.E. et al. Neurocognitive functions in pathological gambling: a comparison with alcohol dependence, Tourette syndrome and normal controls. *Addiction,*2006, 101: 534-547
48. Woolley, J. et al. Brain activation in pediatric obsessive compulsive disorder during tasks of inhibitory control. *Br. J. Psychiatry,* 2008, 192: 25-31
49. Fillmore, M.T. and Rush, C.R. Impaired inhibitory control of behavior in chronic cocaine users. *Drug Alcohol Depend,* 2002, 66: 265- 273
50. Monterosso, J.R. et al. Deficits in response inhibition associated with chronic methamphetamine abuse. *Drug Alcohol Depend,* 2005, 79: 273- 277
51. Nigg, J.T. et al. Poor response inhibition as a predictor of problem drinking and illicit drug use in adolescents at risk for alcoholism and other substance use disorders. *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry,* 2006, 45: 468-475.
52. Luria, A. R., Tsvetkova, L. S. La resolución de problemas y sus trastornos. Barcelona: Fontanella; 1981.
53. Dempster, F. N. Interference and inhibition in cognition: An historical perspective. En FN. Dempster y C.J. Brainerd (Eds.), *Interference and inhibition in cognition.* San Diego: Academic Press, 1995. p. 3-26.
54. Hasher, L., Zacks, R. T., May, C. P. Inhibitory control, circadian arousal, and age. En D.Gopher y A. Koriat editores. *Attention and Performance, XVII.* Cambridge, MA: MIT Press; 1999. p. 653-675.