

# Explicación de LeT y primera etapa para su simulación en Excel

---

Explanation of LeT and first stage for its simulation in excel

---

Recepción: 10 marzo 2017 | Revisado: 16 abril 2017 | Aceptado: 08 mayo 2017

SANTIAGO CASTIELLO DE OBESO<sup>1</sup>

## RESUMEN

El presente contenido hace un esclarecimiento y replica del Modelo LeT, formulado por Machado mediante una simulación en Excel. Existe tres escalas de estimación temporal, la más usada es la temporal según: hora, minuto y segundo, utilizados frecuentemente en el análisis de la conducta, donde se presenta datos simultáneos, el modelo ayuda a plantear teorías formales y con la estimación con parametros estadístico desde la psicología experimental.

*Palabras clave:* simulación de excel, modelo, escala

## ABSTRACT

In the present content an explanation and replication of the LeT model formulated by Machado 1997 is made by means of an Excel simulation, there are the scale of temporal estimation, the most used, is the temporal one according, the hours, minutes and second, frequently used in behavior analysis, where simultaneous data are present, the model helps to raise formal theories, scale, estimation with stadistical para meters from experimental psychology

*Keywords:* key excel, simulation, modelo

---

<sup>1</sup> ITESO, Universidad Jesuita de Guadalajara,  
México  
santiagocdo@gmail.com

El presente texto es una explicación y réplica del modelo LeT (learning-to-time model) formulado por Machado (1997) mediante una simulación en Excel 2013. Antes de hablar sobre el modelo se presenta una breve introducción a la estimación temporal, fenómeno por el cual surge el modelo.

La estimación temporal es un fenómeno ampliamente estudiado en análisis de la conducta y en neurociencia. Para los animales la estimación del tiempo es una herramienta de alto valor adaptativo. Una gran mayoría de los fenómenos en la naturaleza pueden ser descritos en términos de intervalos temporales, por lo que un animal que estima mejor el tiempo tiene más probabilidades de ajustarse al ambiente (Vasconcelos, de Carvalho y Machado, in press).

Hay tres distintas escalas de estimación temporal: (1) la sincronización circadiana (días), son las regulaciones del apetito, y los ciclos de sueño-vigilia; (2) la sincronización de intervalos (horas, minutos, segundos), escala a nivel de toma de decisiones, forrajeo, y estimación 'consciente' del tiempo; y (3) la sincronización de milisegundos, regula el control motor, y el habla (Buhusi y Meck, 2005).

La escala de estimación temporal de horas, minutos y segundos, ha sido la más estudiada en el análisis de la conducta. El modelo más reconocido, y uno de los primeros se llama SET (scalar expectancy theory) y fue propuesto por Gibbon (1977). SET es un modelo cognocitivistista que utiliza términos como contador, comparador, y un acumulador de pulsos (pulso unidad básica de tiempo subjetivo); es un modelo muy "elegante" (Machado, 1997, pp. 241) que ha podido explicar casi todas las tareas conductuales de estimación temporal. Otro modelo conocido en el área es BeT (behavioral theory of timing), el cual es el antecesor de LeT, fue el primero que postula estados conductuales para dar una explicación conductual de la estimación temporal; fue creado por Killeen & Fetterman (1988). Y por último

LeT (Machado, 1997) también es un modelo cuantitativo de la estimación temporal en animales. La plausibilidad de LeT está dada por considerar tres principios básicos del aprendizaje (i.e. el reforzamiento, la extinción, y la generalización) en sus reglas para dar cuenta de la estimación temporal (de Carvalho, Machado, & Vasconcelos, 2016).

### El modelo LeT

Las Figuras 1 y 2, son una réplica de las figuras del artículo de Machado (1997). Estas fueron llevadas a cabo con el programa Excel 2013.

LeT ha explicado exitosamente varias tareas conductuales como: intervalos fijos, procedimiento de pico, bisección temporal, y doble bisección temporal; aunque en el presente documento solo se simule el estado general de activación, fuerza asociativa, y tasa de respuesta. El modelo asume tres cosas: (1) activación seriada de estados conductuales durante el intervalo entre reforzadores; (2) asociación entre estados conductuales y respuesta operante; y (3) una regla que relaciona cada la activación por estado y su fuerza asociativa con la tasa o probabilidad de respuesta (Machado, 1997).

La función de probabilidad de activación de un estado conductual  $n$  en un determinado momento  $t$  se le nombra:  $X(t, n)$ . Machado plantea un sistema de ecuaciones diferenciales con sus respectivos valores iniciales (Apéndice 1), el cuales se solucionan con la siguiente ecuación:

$$X(t, n) = \frac{e^{-\lambda t} \lambda t^n}{n!} \quad (1)$$

La letra  $\lambda$  se interpreta como la tasa de activación de los estados conductuales. Machado concluye que la ecuación resultante es muy similar a una función de densidad gamma, con base en un proceso de Poisson de la activación de estados conductuales durante el tiempo. Por motivo de análisis y comprensión del modelo, se trató la ecuación (1) como una fun-

ción discreta (en la variable  $t$ ), como si fuese una distribución de Poisson y se obtuvieron

las distribuciones de masa de probabilidad presentadas en la Figura 1.

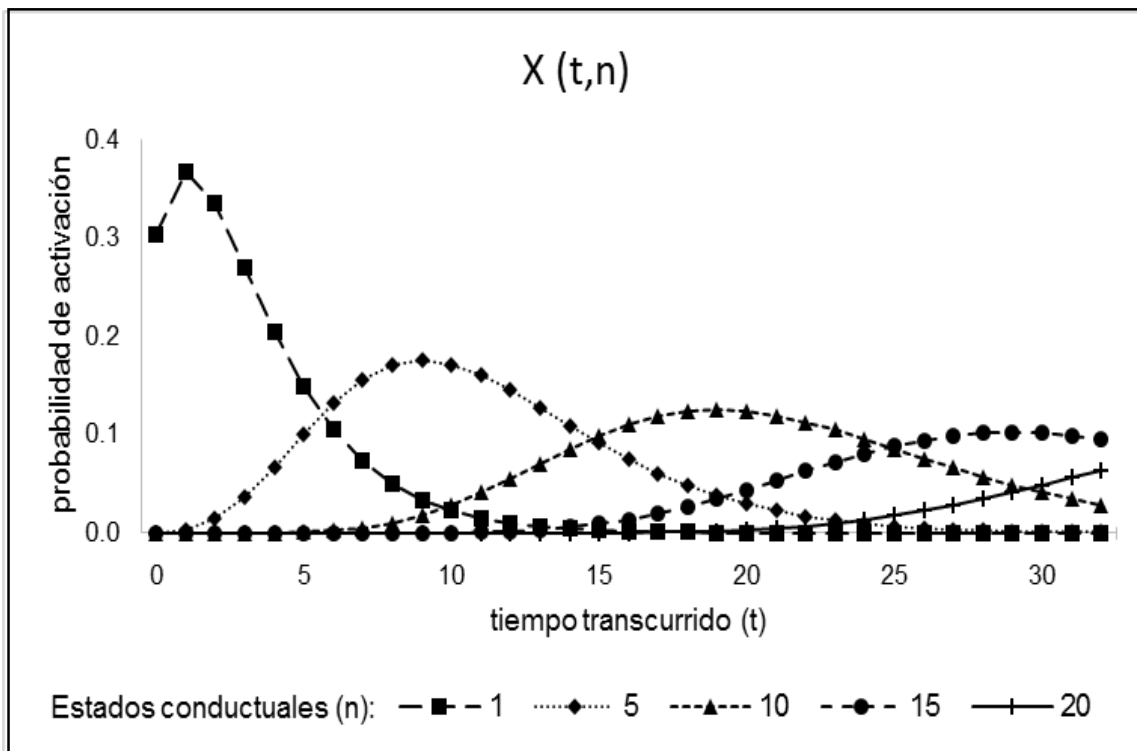


Figura 1. Probabilidad de activación dependiendo el estado conductual ( $n$ ) y el momento temporal ( $t$ ). Asumiendo  $\lambda$  constante en 0.5 para fines demostrativos. En cada momento temporal ( $t$ ) están activos los 30 estados conductuales ( $n$ ) —no presentados por motivos de saturación de gráfico—.

En esta figura se observan los estados conductuales activos en cada  $t$  y su probabilidad de activación. Además de  $X(t,n)$  el modelo calcula la fuerza asociativa  $W(t,n)$ , la cual se calcula de dos formas: para cuando no hay reforzador disponible:

$$W(t, n) = W(0, n) * \exp[-\alpha \sum X(t, n)] \quad (2)$$

Y para cuando está disponible:

$$W(d, n) = K - (K - W(T, n)) * \exp[-\beta X(T, n)d] \quad (3)$$

Donde  $d$  es la duración del reforzador;  $K$  es el valor máximo de asociación,  $W(0,n)$  es la fuerza asociativa en tiempo 0;  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros de sensibilidad; y  $T$  es un momento antes de la entrega del reforzador (Machado, 1997).

Tomando como ejemplo la vista instantánea presentada por Machado (1997), se toman valores iguales o inferidos:  $W(0,n)$  de 0.8;  $\lambda$  de 0.5;  $\alpha$  y  $\beta$  de 0.01 (inferidos);  $T$  de  $30t$ , es decir  $30t$  sin reforzador; y por último  $d$  de 3, es decir,  $3t$  con reforzador. A partir de estos valores se obtienen los gráficos de la Figura 2.

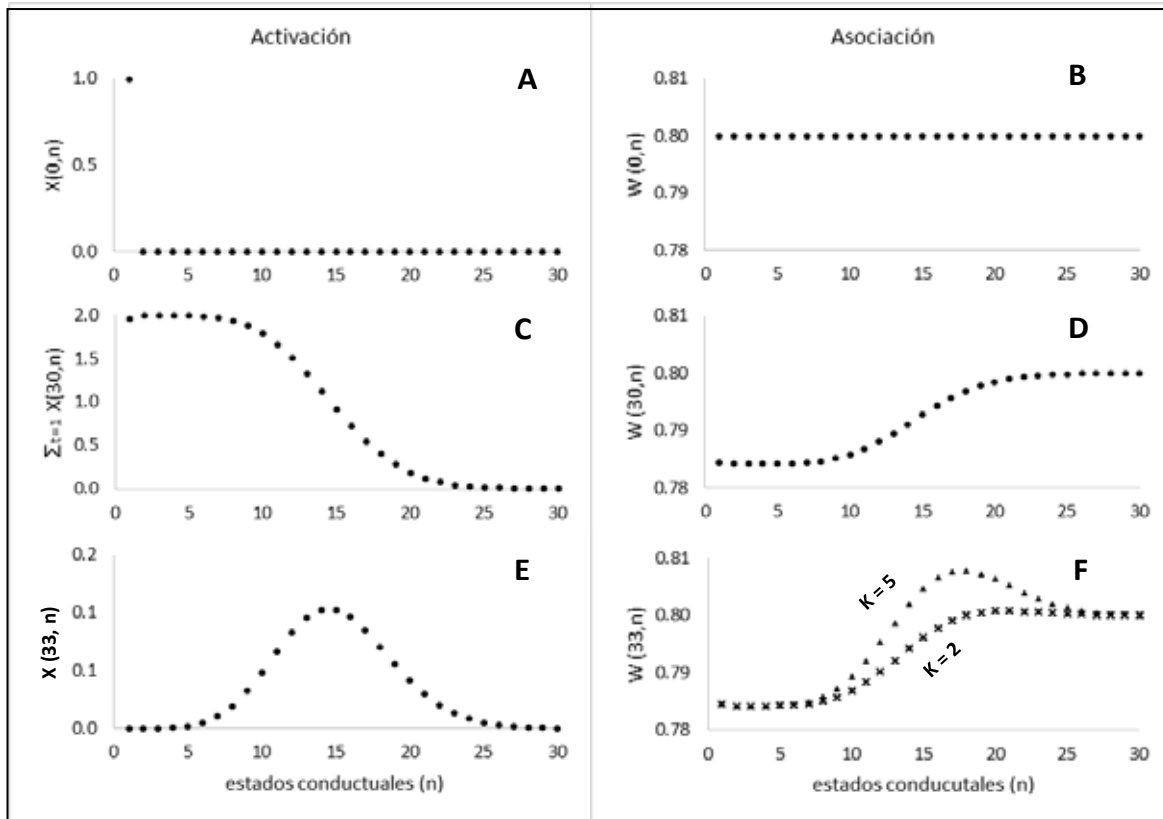


Figura 2. Replica de Figura 4 de Machado (1997), realizada en Excel 2013. Columna izquierda: activaciones, columna derecha: fuerzas asociativas. Son 3 cortes temporales para ilustrar el ejemplo, la parte superior en  $0t$ , la media en  $30t$ , y baja en  $33t$ .

Se logró replicar una vista instantánea del modelo (gráficos A, B, C, D, y E). En el artículo de Machado no se especifica el valor de  $K$ , por lo que en el presente ensayo se llevaron a cabo modificaciones (ver F) y se concluye que este impacta en aumentar la fuerza asociativa de los estados conductuales con mayor activación ( $X(t, n)$ ) en el momento  $T$ . En este caso cuando  $K=5$  la asociación del estado conductual 15 es mayor que la del 20, lo cual concuerda con E, donde el estado 15 tiene mayor activación que el estado 20. Sin embargo, cuando  $K=2$  la diferencia de asociación del  $15n$  y el  $20n$  parece ser nula. Este parámetro es un promotor de fuerza asociativa entre el estado conductual máximamente activado al momento del reforzador y el reforzador.

Los datos de las simulaciones presentados solo exploran el estado inicial del modelo, aún poner a prueba esta codificación del modelo en Excel para poder simular fenómenos con-

cretos. Este modelo es un muy buen ejemplo de como se pueden plantear teorías formales (i.e. con parámetros matemáticos) en psicología experimental. Además señala la importancia de que los psicólogos experimentales sean formados en matemáticas (e.g. ecuaciones diferenciales) para poder teorizar con más formalidad.

## Referencia

- Buhusi, C. V., & Meck, W. H. (2005). What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(10), 755-765.
- de Carvalho, M. P., Machado, A., & Vasconcelos, M. (2016). Animal timing: a synthetic approach. *Animal cognition*, 1-26.
- Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*, 84, 279-325.

- Killeen, P. R., & Fetterman, J. G. (1988). A behavioral theory of timing. *Psychological Review*, 95, 274-285.
- Machado, A. (1997). Learning the temporal dynamics of behavior. *Psychological review*, 104(2), 241.
- Sheldon, R. (2002). A first course in probability. *Pearson Education India*.
- Vasconcelos, M., de Carvalho, M. P., & Machado, A. (2017). Timing in animals: From the natural environment to the laboratory, from data to models. In J. Call, G. M. Burghardt, I. M. Pepperberg, C. T. Snowdon, & T. Zentall (Eds.), *APA handbooks in psychology. APA handbook of comparative psychology: Perception, learning, and cognition* (pp. 509-534). Washington, DC, US: American Psychological Association. <http://dx.doi.org/10.1037/0000012-023>

### Apéndice 1.

Sistema de ecuaciones diferenciales:

$$\frac{d}{dt}X(t, 0) = \lambda X(t, 0) \quad (4)$$

$$\frac{d}{dt}X(t, n) = \lambda X(t, n - 1) - \lambda X(t, n), \quad n \geq 1 \quad (5)$$

valores iniciales,

$$X(0, 0) = 1 \quad (6)$$

$$X(0, n) = 0, \quad n > 0 \quad (7)$$