

LA BÚSQUEDA DE LAS BASES PSICBIOLÓGICAS DEL "RELOJ INTERNO": ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y PLANTEAMIENTOS ACTUALES

M.C. BERNAL SANTACREU
P. VICENS CALDERÓN
M.C. CARRASCO POZO
R. REDOLAT IBORRA

Universitat de València

*"Detrás del lacerante tic-tac de un despertador se oculta un enigma:
el tiempo, que ritma el curso de nuestras vidas."*

(Marshal, 1994)

RESUMEN

A pesar de la reciente historia del "tiempo" como constructo mental y variable independiente, que se inició en el siglo XVII con Galileo y Newton, el concepto de tiempo ha interesado a nuestra civilización occidental desde sus albores, no sólo en su aspecto físico, sino también en sus implicaciones filosóficas y psicológicas. Desde la perspectiva psicológica, el concepto de tiempo ha sido objeto de investigación desde hace más de un siglo. La preocupación por el tiempo se encuentra presente implícita o explícitamente en todos los trabajos que buscan responder a la cuestión de cómo un organismo es capaz de adaptar su conducta a los requerimientos temporales de su ambiente.

El tiempo es un constructo psicológico dependiente tanto de factores biológicos como psicológicos y sociales. La estimación temporal es un proceso cognitivo en el que intervienen distintos mecanismos del sistema nervioso central relacionados con la percepción, la atención y la memoria. Numerosas teorías buscan responder a la cuestión de cómo se transforma el tiempo objetivo en tiempo subjetivo. Uno de los modelos más fructíferos desde una perspectiva psicobiológica es el modelo de "reloj interno". Este modelo fue propuesto por Hoagland en 1933, y hasta los años

60 no recibió especial atención por parte de los científicos. En la actualidad existe un renovado interés por el modelo de "reloj interno" desde el ámbito de las neurociencias, ya que una de sus principales aportaciones es la búsqueda de los mecanismos biológicos subyacentes a la estimación subjetiva del tiempo. Recientes investigaciones neuropsicológicas y farmacológicas demuestran la vigencia de este modelo.

ABSTRACT

Although "time" as a mental construct and independent variable began to be studied comparatively recently by Galileo and Newton in the XVII century, it has interested our western civilization from the very beginning, not only in its physical aspect but also for its philosophical and psychological implications. From the psychological point of view, the concept of time has been the object of investigation for more than a century. The concern for time is found implicitly or explicitly in all studies whose aim is to answer the question of how and organism is capable of adapting its behaviour to the temporal requirements of its environment.

Time is a psychological construct dependent not only on biological but also psychological and social factors. Time estimation is a cognitive process in which different mechanisms of the central nervous system related to perception, attention and memory intervene. There are numerous theories which attempt to explain how objective time is transformed into subjective time. One of the most important models from a psychobiological perspective is the model of the "internal clock". This model was proposed by Hoagland in 1933, and until the 60's did not awake any special scientific interest. At the present moment a renewed interest exists in the model of the "internal clock" in the field of neuroscience, since one of its main aims is the search for the underlying biological mechanisms of subjective time estimation. Recent neuropsychological and pharmacological investigations demonstrate the validity of this model.

CONCEPTO DE TIEMPO PSICOLÓGICO: ANTECEDENTES HISTÓRICOS

A pesar de la reciente historia del tiempo como constructo mental y variable independiente, que se inició en el siglo XVII con Galileo y Newton, el concepto de tiempo ha interesado a nuestra civilización occidental desde sus albores, no sólo en su aspecto físico, sino también en sus implicaciones filosóficas y psicológicas.

Históricamente, los primeros que trataron el concepto de tiempo fueron los griegos, quienes "conocieron" el tiempo en base a los movimientos de los cuerpos celestes y consideraron el carácter cíclico de tales movimientos. Posteriormente,

desde una concepción cristiana, San Agustín en su famoso dilema planteó la dificultad de explicar la noción de tiempo. A finales del siglo XVIII, esta cuestión también ocupó un lugar central en el pensamiento de Kant, quien consideró que las operaciones fundamentales del sujeto cognoscente requieren siempre del tiempo. En las últimas décadas del siglo XIX surge lo que se ha dado en llamar el "temporalismo", representado por Dilthey y Bergson, que consiste en la primacía de la noción de tiempo en diversas tendencias filosóficas contemporáneas.

Dentro del ámbito de la psicología, la estimación temporal ha sido objeto de investigación desde hace más de un siglo. La preocupación por el tiempo se encuentra presente, implícita o explícitamente, en todos los trabajos que buscan responder a la cuestión de cómo un organismo es capaz de adaptar su conducta a los requerimientos temporales de su ambiente. El estudio empírico del tiempo psicológico se inició en la segunda mitad del siglo XIX con Ernst Mach quien se cuestionó sobre el "sentido del tiempo". Algunos de los tópicos de la psicología de la percepción del tiempo fueron propuestos por Wilhelm Wundt, Pierre Janet y William James. En 1890, William James escribió ya sobre la cuestión del tiempo en *Principios de Psicología*, especialmente sobre el presente y sobre el desarrollo del tiempo en la conciencia. Uno de los primeros autores en sistematizar el conocimiento sobre el sentido del tiempo fue Titchener (1905) subrayando, desde el marco teórico de la psicología introspectiva, que el estudio del tiempo era una de las áreas más importantes en la investigación psicológica. Sin embargo este interés declinó posteriormente, hasta que a finales de los años 60 hubo un retorno gradual hacia la psicología del tiempo, incluyendo este tema dentro de un marco más amplio como la atención, la memoria o el aprendizaje. Será la aproximación cognitiva, en consonancia con su teoría sobre el procesamiento de la información, la encargada de remarcar la importancia del estudio del tiempo como proceso cognitivo. Es dentro de este paradigma donde la investigación sobre la percepción temporal alcanzará su máximo desarrollo.

En la actualidad, el desarrollo de técnicas de análisis de datos y modelos teóricos más sofisticados han puesto de manifiesto que el tiempo es un constructo dependiente no sólo de factores psicológicos sino también biológicos. Diversas aproximaciones teóricas ofrecen predicciones sobre la incidencia que estos procesos pueden tener en la estimación temporal. Por ejemplo, unas teorías subrayan la importancia de los procesos atencionales (Underwood y Swain, 1973), o de memoria (Ornstein, 1969). Otras teorías conceden mayor relevancia al contexto en que se realiza la estimación temporal (Block, 1978) o a la posible existencia de un mecanismo biológico, el reloj interno, que media nuestra habilidad para juzgar el tiempo (Treisman, 1963). Aunque ninguna de estas teorías ha sido completamente aceptada, es el modelo del reloj interno el que mayor atención ha recibido desde el punto de vista psicobiológico. Por ello, a continuación se expondrán los aspectos fundamentales de este modelo teórico, junto con las investigaciones empíricas que muestran la vigencia de la idea del reloj interno.

EL MODELO DEL RELOJ INTERNO

En la primera mitad de este siglo, Francois (1927) y Hoagland (1933) propusieron que nuestro sentido del tiempo está mediado por un mecanismo biológico, el reloj interno, cuyo funcionamiento puede verse afectado por diferentes factores fisiológicos. Treinta años más tarde, en la década de los 60, Michel Treisman (1963) propone un modelo de procesamiento de la información temporal basado en el concepto de reloj interno. Según este modelo un marcapasos genera pulsos, más o menos regulares, que sirven como fuente de información temporal. Estos pulsos se acumulan en un contador y son guardados en el almacén de la memoria a corto plazo. El número de pulsos acumulados durante un determinado intervalo temporal constituye la base por la cual discriminamos las duraciones. El nivel de activación o "arousal específico" del marcapasos puede variar, ya que la velocidad con que el marcapasos produce los pulsos es sensible a los estímulos externos, actuando como modulador de la velocidad del contador.

Este modelo también ha sido aplicado dentro del contexto del condicionamiento animal, en un intento por buscar similitudes entre los principios y mecanismos que regulan la percepción temporal de los animales y de los humanos. El interés de estas investigaciones se centra en predecir relaciones temporales entre respuestas o refuerzos sucesivos, entre estímulo y refuerzo, o entre respuestas y refuerzos. Por ejemplo, la teoría del incentivo reciente de Killeen (1984) asume la existencia de un reloj adaptativo cuya velocidad varía en proporción al reforzamiento. Uno de los modelos que ha recibido mayor atención por parte de los investigadores interesados en la psicología comparada es la teoría de la medida en escala del tiempo (Gibbon, 1977). Esta teoría, al aplicar el modelo de "reloj interno" de Treisman (1963) al estudio con animales, hipotetiza que los pulsos producidos por un marcapasos son guardados en un acumulador, dentro de la memoria de trabajo. Cuando un ensayo es reforzado, los pulsos pasan a ser guardados de forma más permanente en la memoria de referencia, con el fin de servir de guía en todos los ensayos siguientes. Este modelo también ha sido aplicado al estudio de la estimación temporal en sujetos humanos (Wearden, 1991).

Estas diferentes aproximaciones teóricas han demostrado su validez en la percepción de intervalos de tiempo muy cortos (del orden de milisegundos). Sin embargo, cuando los intervalos a estimar son más largos (del orden de varios segundos o minutos) estas teorías han sido cuestionadas argumentando que ofrecen una visión excesivamente simplificada (Block, 1990). A pesar de ello, investigaciones recientes están poniendo en evidencia que la hipótesis del reloj interno es un modelo plausible para un amplio rango de intervalos temporales, existiendo cada vez mayor apoyo empírico sobre el substrato biológico del reloj interno (Meck, 1996).

PERSPECTIVAS ACTUALES ACERCA DE LAS BASES PSICBIOLÓGICAS DEL RELOJ INTERNO

Tradicionalmente, el interés de los investigadores se ha centrado especialmente en como la información temporal es procesada, más que en sus bases biológicas. Sin embargo, en la actualidad un gran número de trabajos, desde diferentes ámbitos de las neurociencias, tienen por objeto los mecanismos psicobiológicos implicados en la percepción del tiempo. Las aportaciones realizadas desde diferentes ópticas como la neuropsicología, la neuroanatomía, la neurofisiología o la neuroquímica, sobre la localización de las estructuras cerebrales y los procesos fisiológicos que intervienen en la percepción temporal muestran la actualidad de la vieja idea del reloj interno.

A continuación se presenta una breve revisión sobre las diferentes investigaciones cuyo objetivo ha sido establecer las bases psicobiológicas del reloj interno. Dado el creciente interés en este tema, que se refleja en un amplio número de publicaciones, únicamente destacaremos aquellas cuestiones que han recibido mayor apoyo empírico.

Diferentes estudios señalan que las estructuras cerebrales implicadas en la estimación temporal podrían diferenciarse en función del intervalo a estimar. Groos y Dann (1985) indican la importancia del núcleo supraquiasmático en la estimación temporal de intervalos superiores a una hora. Este núcleo hipotalámico es el principal reloj biológico, responsable de la organización de muchos ritmos circadianos del organismo. Sin embargo, esta estructura no parece estar implicada en la estimación de intervalos más breves, los cuales dependerían de otras estructuras corticales y subcorticales.

A nivel de estructuras corticales se ha comprobado que la corteza frontal está implicada en tareas que requieren memoria, planificación, y organización temporal de la conducta. Así, estudios de neuroimagen muestran una activación significativa en la corteza prefrontal durante la estimación de diferentes intervalos temporales (Maquet y cols., 1996). Estudios neuropsicológicos de pacientes con lesiones en el lóbulo prefrontal señalan que estos enfermos son incapaces de discriminar duraciones temporales, lo que apoyaría la idea de que las duraciones temporales están representadas en la corteza prefrontal (Nichelli y cols., 1995). Existe evidencia de que otras estructuras corticales, como la corteza temporal o la corteza cingulada, también intervienen en este proceso cognitivo (Maquet y cols, 1996).

Por otra parte, distintas estructuras subcorticales parecen estar implicadas en la estimación temporal. Se ha sugerido que la formación reticular podría alterar la velocidad del "reloj interno" (Wogar y cols., 1992). El núcleo magnocefaloso del cerebro anterior basal o núcleo basal de Meynert (NBM) también parece estar implicado en la estimación temporal. Se ha observado que los pacientes con Enfermedad de Alzheimer, en los que este núcleo aparece sensiblemente deteriorado,

muestran un claro deterioro en sus estimaciones temporales (Nichelli y cols., 1993). Otra de las estructuras que intervienen en el procesamiento temporal es el hipocampo. El sistema hipocampal se ha relacionado directamente con la memorización de los intervalos temporales, demostrándose que las lesiones hipocampales alteran la percepción temporal (Meck, 1988). También han recibido especial atención el cerebelo y los ganglios basales. Estas estructuras, aunque tradicionalmente han sido relacionadas con las funciones motoras, parecen desempeñar un papel destacado en las ejecuciones temporales motoras y sensoriales que implican la estimación de intervalos temporales (Ivry, 1993; Pastor y cols, 1992).

Desde una perspectiva neuroquímica, se han abordado básicamente dos cuestiones relacionadas entre sí: 1) ¿Cuáles son los sistemas de neurotransmisión que intervienen en el procesamiento de la información temporal?, y 2) ¿Cómo afectan diferentes sustancias psicoactivas a la estimación subjetiva del tiempo?. La mayoría de investigaciones realizadas con el objetivo de responder a estas preguntas se han basado en el modelo teórico que propone la existencia de un reloj interno en el organismo (Treisman, 1963). Según este modelo, una buena ejecución en las tareas de estimación temporal implicaría un ajuste adecuado entre el tiempo físico transcurrido y los pasos registrados en el reloj interno. En base a ello se ha hipotetizado que diferentes fármacos con acciones centrales podrían influir en el funcionamiento de dicho reloj interno.

Diversos estudios han demostrado que las neuronas dopaminérgicas están implicadas en la integración de la estimación temporal: los antagonistas dopaminérgicos (como los neurolépticos) enlentecen el funcionamiento del reloj interno, mientras que los agonistas dopaminérgicos (como las anfetaminas) lo aceleran (Maricq y Church, 1983; Rammsayer y Vogel, 1992). Sin embargo, es importante destacar que las sustancias dopaminérgicas también interactúan con otros neurotransmisores (como la noradrenalina, la serotonina o el glutamato), lo que implicaría que otros sistemas de neurotransmisión podrían también intervenir en la percepción temporal (Meck, 1996). Las investigaciones realizadas en sujetos humanos, tanto en pacientes con Enfermedad de Parkinson (Pastor y cols., 1992) como en sujetos sanos (Rammsayer, 1987) sugieren que el funcionamiento del reloj interno varía con el nivel de dopamina en el Sistema Nervioso Central. Además, hay evidencia de que el sistema colinérgico modula la estimación temporal. Por ejemplo, la administración de un antagonista colinérgico, como la atropina (antagonista de los receptores postsinápticos muscarínicos), enlentece las estimaciones temporales en animales (Church y Meck, 1988). En sujetos humanos se ha observado que la nicotina (agonista de los receptores colinérgicos nicotínicos), puede modificar las estimaciones temporales, aunque la dirección de los cambios temporales no está claramente determinada (Agué, 1974; Tong y cols., 1978).

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista psicobiológico, el conocimiento de los mecanismos implicados en la percepción temporal constituye actualmente un reto neurocientífico excitante. En este sentido, consideramos que una de las mayores aportaciones de las teorías basadas en el modelo del reloj interno es la búsqueda de los mecanismos biológicos subyacentes a la estimación subjetiva del tiempo.

Actualmente, existe un gran número de investigaciones dedicadas a explicar el mecanismo que subyace a la percepción del tiempo, en un intento de localizar cuales son las estructuras cerebrales y los procesos fisiológicos que intervienen en este proceso cognitivo. Estos estudios son cruciales en la determinación de las bases que subyacen a la distorsión en el tiempo que acompaña a un gran número de enfermedades neurodegenerativas, como por ejemplo la Enfermedad de Parkinson o la Enfermedad de Alzheimer.

En definitiva, a pesar de que la preocupación por el tiempo ha sido una constante en el pensamiento humano, todavía quedan muchos problemas sin resolver acerca de este tópico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUÉ, C. (1974), Cardiovascular variables, skin conductance and time estimation: Changes after the administration of small doses of nicotine. *Psychopharmacologia* (Berl.), 37: 109-125.
- BLOCK, R.A. (1990), Models of psychological time. En: Block, R.A. (Ed.), *Cognitive Models of Psychological Time* (pp. 1-35). Hillsdale: N.J. Lawrence Erlbaum.
- BLOCK, R.A. (1978), Memory and experience of duration in retrospect. *Memory and Cognition*, 2: 153-160.
- CHURCH, R.M. & MECK, W.H. (1988), Biological basis of the remembered time of reinforcement. En: Commons, L.; Church, R.M.; Stellar, J.R. y Wagner, A.R. (Eds.), *Quantitative analysis of behavior. Biological determinants of reinforcement* (Vol. 7; p. 113). Hillsdale: N.J. Lawrence Erlbaum.
- FRANCOIS, M. (1927), Contribution à l'étude du sens du temps. La température interne comme facteur de variation de l'appréciation subjective des durées. *L'Année Psychologique*, 28: 186-204.
- GIBBON, J. (1977), Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*, 84: 279-325.
- GROSS, G. & DANN, S. (1985), The use of biological clocks in time perception. En: Michon, J.A. y Jackson, J.L. (Eds.), *Time, mind and behavior* (pp. 65-74). New York: Springer-Verlag.

- HOAGLAND, H. (1933), The physiological control of judgments of duration: Evidence for a chemical clock. *Journal General Psychology*, 9: 267-287.
- IVRY, R. (1993), Cerebellar involvement in the explicit representation of temporal information. En: P. Tallal, A. Galaburda, R.R. Llinas y C. von Euler (Eds.), *Temporal information processing in the nervous system: Special reference to dyslexia and aphasia* (Vol. 682; pp. 214-230). New York: Annals of the New York Academy of Sciences.
- JAMES, W. (1892), *The principles of Psychology*. New York: Henry Holt Company (trad. Principios de Psicología (1945). Buenos Aires: Glem.
- KILLEEN, P.R. (1984), Incentive Theory III: Adaptative clocks. En: Gibbon, J. y Allan, L. (Eds.), *Timing and time perception* (Vol. 423). New York: Annals of the New York Academy of Sciences.
- MAQUET, P.; LEJEUNE, H.; POUTHAS, V.; BONNET, M.; CASINI, L.; MACAR, F.; TIMSIT-BERTHIER, M.; VIDAL, F.; FERRARA, A.; DEGUELDRE, C.; QUAGLIA, L.; DELFIORE, G.; LUXEN, A.; WOODS, R.; MAZZIOTTA, J.C. y COMAR, D. (1996), Brain activation induced by estimation of duration: a PET study. *Neuroimage*, 3: 119-126.
- MARICQ, A.V. & CHURCH, R.M. (1983), The differential effects of haloperidol and methamphetamine on time estimation in the rat. *Psychopharmacology*, 79: 10-15.
- MECK, W.H. (1996), Neuropharmacology of timing and time perception. *Cognitive Brain Research*, 3: 227-242.
- MECK, W.H. (1988), Hippocampal functions is required for feed-back control of an internal clock's criterion. *Behavioral Neuroscience*, 102: 54-60.
- NICHELLI, P.; KIMBERLY, C.; HOLLNAGEL, C. y GRAFMAN, J. (1995), Duration processing after frontal lobe lesions. En: Grafman, J.; Holyoak, K.J. y Boller, F. (Eds.), *Structure and functions of the human prefrontal cortex* (Vol. 769; pp. 183-190). New York: Annals of the New York Academy of Sciences.
- NICHELLI, P.; VENNERI, A.; MOLINARI, M.; TAVANI, F. y GRAFMAN, J. (1993). Precision and accuracy of subjective time estimation in different memory disorders. *Cognitive Brain Research*, 1: 87-93.
- ORNSTEIN, R.E. (1969), *On the experience of time*. London: Penguin.
- PASTOR, M.A.; ARTIEDA, J.; JAHANSHAH, M. y OBESO, J.A. (1992), Time estimation and reproduction is abnormal in Parkinson's disease. *Brain*, 115: 211-225.
- RAMMSAYER, T.H. (1987), *Pharmakologische Beeinflussung der Zeitwahrnehmung*. Regensburg, West Germany: Roderer.
- RAMMSAYER, T.H. & VOGEL, W.H. (1992), *Pharmacologic properties of the internal clock underlying time perception in humans*. *Neuropsychobiology*, 26: 71-80.
- TITCHENER, E.B. (1905), *Experimental Psychology* (Vol. 2). London: MacMillan.

- TONG, J.E.; BOOKER, J.L. y KNOTT, V.J. (1978), Effects of tobacco, time on task, and stimulus speed on judgments of velocity and time. *Perceptual and Motor Skills*, 47: 175-178.
- TREISMAN, M. (1963), Temporal discrimination and the indifference interval: implications for a model of the Ainternal clock. *Psychological Monographs*, 77 (13, whole n1 576): 1-31.
- UNDERWOODS, G. & SWAIN, R.A. (1973), Selectivity of attention and perception of duration. *Perception*, 2: 101-105.
- WEARDEN, J.H. (1991), Do humans possess an internal clock with scalar timing properties? *Learning and Motivation*, 22: 59-83.
- WOGAR, M.A.; BRADSHAW, C.M. y SZABADI, E. (1992), Impaired acquisition of temporal differentiation performance following lesions of the ascending 5-hydroxytryptaminergic pathways. *Psychopharmacology*, 107: 373-378.