

## Ritmos Circadianos y Ultradianos en la ingestión de agua en ratas

*(Circadian and Ultradian rhythms of Water ingestion in rats)*

Pablo Valdez, Juan Carlos Pérez, Javier Galarza y  
Alejandro Ramírez

Universidad Autónoma de Nuevo León

### RESUMEN

Con el propósito de determinar algunas relaciones entre los patrones de conducta asociados a la ingestión de agua y los ritmos biológicos, se introdujeron 15 ratas en cámaras experimentales aisladas. La temperatura se mantuvo constante a lo largo del experimento, mientras que la luz permaneció encendida de las 6:00 a las 18:00 horas. Cada rata tenía siempre disponible comida y recibió agua como reforzador en dos condiciones: un programa de reforzamiento continuo y un programa de intervalo fijo 100 segundos. El control de los programas y el registro y análisis de los datos se llevaron a cabo de manera automática por medio de un microcomputador y equipo periférico.

Se observaron oscilaciones circadianas en la tasa de respuestas cuya función fue independiente del total de respuestas inducido por cada programa, además se detectaron ciclos de respuesta con un periodo ultradiano de alrededor de 15 minutos ante ambos programas de reforzamiento. Los resultados del presente experimento son semejantes a los previamente reportados con comida, por lo que las oscilaciones circadianas y ultradianas en la actividad de la rata se presentan independientemente de la utilización de uno u otro reforzador.

**DESCRIPTORES:** Ritmos biológicos, ritmos circadianos, ritmos ultradianos, ingestión de agua, programa de intervalo fijo, ratas.

Esta investigación fue realizada con un subsidio otorgado por la Secretaría de Educación Pública, Convenio SEP 81-04-312, Clave 81-554. Agradecemos el apoyo adicional de la Sociedad Mexicana de Psicología y la Secretaría de Educación Pública para la presentación de este trabajo en el XXIII Congreso Internacional de Psicología, Acapulco, Gro., México, septiembre de 1984. Dirección: Pablo Valdez, Departamento de Psicofisiología, Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Nuevo León, Salvatierra y Mutualismo, Col. Mitras Centro, Monterrey, N. L., México, 64460.

**ABSTRACT**

*In order to determine some relations among behavioral patterns associated with water ingestion and biological rhythms, 15 rats were isolated. Temperature was kept constant while light remained on from 6:00 to 18:00 hours. Each rat had food available at all times, and it received water as reinforcer in two conditions: RFC and FI 100 sec. A micro-computer controlled the stimuli, registered responses and analyzed data. Circadian oscillations were observed in rate of responses, independently from overall responses induced by each schedule; besides cycles of responses were observed with ultradian periods around 15 min. for both schedules. These results coincide with data gotten with food, which suggest circadian and ultradian oscillations in the activity of rats, to be independent of kind of reinforcer.*

**DESCRIPTORS:** *biological rhythms, circadian rhythms, FI schedule, rats, ultradian rhythms, water ingestion.*

La mayor parte de las funciones de los seres vivos está sujeta a variaciones temporales regulares que se conocen como ritmos biológicos (Luce, 1971). Estas oscilaciones persisten en mantener constantes las condiciones de iluminación, temperatura, humedad, la presencia de alimento y la estimulación social (Palmer, 1976). Los periodos de oscilación son múltiples, pueden ser de alrededor de 24 horas (circadianos), menores de 20 horas (ultradianos), o mayores de 28 horas (infradianos) (Reinberg y Halberg, 1971).

Los ritmos circadianos modulan no sólo funciones básicas como la reproducción celular, el metabolismo o la frecuencia cardiaca (Minors y Waterhouse, 1986), sino que modulan diferentes aspectos del comportamiento de los animales (Rusak y Zucker, 1975) y del ser humano (Aschoff, 1976). Variando la hora del día en que tiene lugar la sesión de registro se han demostrado oscilaciones circadianas en la ejecución ante programas de reforzamiento de intervalo fijo 100 segundos (Evans, 1971), intervalo variable 60 segundos (Castro y Carrillo, 1976), razón fija 50 (Sours, Ramírez, Hernández y Castro, 1978), y en programas de evitación (Rusak y Zucker, 1975). Por otro lado, al registrar de manera continua por periodos prolongados, se han observado variaciones circadianas en la actividad motora (Edmonds y Adler, 1977); la autoestimulación luminosa (Lindsley y col., 1964; Thor y Pierson, 1970); la autoestimulación eléctrica intracraneal en un programa de reforzamiento continuo (Baldwin y Parrot, 1979) y en un programa de reforzamiento diferencial de tasas bajas (Zimmerman, 1977). A través de registros prolongados, y usando comida como reforzador, también se han observado oscilaciones circadianas en la ejecución ante programas de reforzamiento continuo (Boulos, Rosenwasser y Terman, 1980; Rosenwasser, Boulos y Terman, 1981; Valdez, 1981), de razón fija 20 (Valdez, 1981) y de intervalo fijo 100 segundos (Valdez, 1981).

Algunas funciones corporales y algunos aspectos de la conducta parecen variar también con periodos ultradianos (Kripke, 1974). En el hombre se ha investigado desde hace más de dos décadas la posible existencia de un ciclo básico de actividad y descanso con un periodo de aproximadamente 90 minutos (Kleitman, 1982). Algunas de las actividades que oscilan con este periodo son las etapas del sueño (Dement y Kleitman, 1957), así como el flujo

urinario y la concentración de electrolitos en la orina (Lavie y Kripke, 1977). En el mono se ha propuesto un ritmo ultradiano con un periodo también de aproximadamente 90 minutos, ciclo evidente en funciones como la concentración de noradrenalina en plasma (Levin, Goldstein y Natelson, 1978), la secreción de cortisol (Holaday, Martínez y Natelson, 1977), los contactos orales (Lewis, Kripke y Bowden, 1977), el comportamiento espontáneo individual (Delgado-García y col., 1976) y la interacción social (Maxim, Bowden y Sackett, 1976), así como en la conducta operante utilizando estimulación eléctrica intracraneal como reforzador (Maxim y Storrie, 1979).

Se han propuesto ritmos ultradianos con periodos diferentes para otras especies, como en el gato, que presenta variaciones en las fases del sueño y en la conducta operante con un periodo cercano a 20 minutos (Serman, Lucas y MacDonald, 1972). En la rata se han observado variaciones ultradianas en las fases del sueño con un periodo de alrededor de 13 minutos (Lisk y Sawyer, 1966); tanto las fases del sueño como la actividad motora de la rata pueden sincronizarse a ciclos de iluminación de corta duración (de 5 a 20 minutos) (Borbély, 1976). Además se ha observado que la ejecución de la rata en un programa de intervalo fijo 100 segundos, utilizando alimento como reforzador, varía con un periodo de alrededor de 15 minutos (Valdez, 1981).

La influencia de los ritmos circadianos y ultradianos sobre la conducta se ha demostrado principalmente en estudios en los que el reforzador consistió en alimento, iluminación o estimulación eléctrica intracraneal; el presente trabajo pretende analizar la interacción entre los ritmos circadianos, los ritmos ultradianos y los patrones de conducta vinculados a la administración de agua como reforzador.

## METODO

### *Sujetos*

Se utilizaron 15 ratas albinas (*rattus norvegicus*) machos, de la cepa Wistar, experimentalmente ingenuas, con edades entre 120 y 180 días al inicio del experimento. Las ratas fueron criadas en el bioterio de la Facultad de Psicología de la Universidad Autónoma de Nuevo León, con un ciclo de iluminación de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad; en el que la luz (lámparas fluorescentes) permanecía encendida de las 0600 a las 1800 horas del día.

### *Aparatos*

Cada rata fue introducida a una cámara experimental de acrílico cuyo piso estaba formado por varillas de acero inoxidable. Cada cámara tenía las siguientes dimensiones: 20.5 cm. de ancho, 27.5 cm. de largo y 20.5 cm. de altura; además tenía una palanca de aluminio sujeta directamente a un interrup-

tor. En la pared lateral, donde se encontraba la palanca, se fijó una pipeta de vidrio de 0.5 cm. de diámetro, recta, con un ángulo de 45° con respecto a la misma pared, con un largo de 4 cm, a un distancia de 4 cm. de la pared del fondo, y con la punta situada 5 cm. de altura. La pipeta estaba conectada con una manguera a una válvula solenoide y de ahí a un depósito con agua; la rata podía extraer cerca de 0.08 ml. de agua y el reforzamiento implicaba la activación de la válvula solenoide durante el tiempo necesario para volver a llenar la pipeta con agua. La comida permaneció disponible durante todo el experimento. La cámara estaba situada dentro de un compartamiento aislado y sonoamortiguado. Cada compartimiento disponía de un extractor de aire que se mantuvo funcionando durante todo el experimento, así como de un foco incandescente transparente de 25 W que permanecía encendido de las 0600 a las 1800 horas del día. La limpieza y reabastecimiento de agua y alimento se efectuaban dos veces por semana a distintas horas del día. El control de los programas de reforzamiento y el registro y análisis de los datos se llevaron a cabo de manera automática por medio de un microcomputador Apple II Plus, una interfase para laboratorio ISAAC (Sistema Integrado para la Adquisición y Control Automáticos) modelo 91A, y equipo periférico (monitor de video, unidades de almacenamiento magnético e impresor). Este equipo estaba en el cuarto adyacente al local donde se encontraban los sujetos. La temperatura ambiental en el local de registro se mantuvo entre 25 y 27°C.

### *Procedimiento*

Se introdujo cada rata a una cámara experimental, donde permaneció hasta el final del experimento. En la cámara se presentó agua como reforzador ante cada respuesta de presión de palanca (programa de reforzamiento continuo); en esta condición la mayor parte de los animales respondieron sin entrenamiento específico (moldeamiento) en el curso de las primeras 48 horas. Posteriormente se usó un programa ajustivo hasta llegar a un programa de intervalo fijo 100 segundos. Al final del estudio se analizó la ejecución de los sujetos en dos condiciones o programas de reforzamiento: reforzamiento continuo e intervalo fijo 100 segundos. Los sujetos permanecieron al menos 20 días sucesivos en una determinada condición antes de tomar una muestra de cinco o más días de registro en la cual se basó el análisis de los datos.

## **RESULTADOS**

Los animales ingirieron alrededor de 30 ml. diarios de agua a pesar de que la cantidad total de respuestas por día varió de acuerdo con el programa de reforzamiento; en el programa de intervalo fijo 100 segundos la cantidad de respuestas diarias fue mayor que la que se registró ante el programa de reforzamiento continuo.

Los datos que se presentan enseguida corresponden a dos de los sujetos; resultados similares se obtuvieron con los demás sujetos. La distribución de respuestas en el transcurso del día presentó variaciones circadianas claras y estables en las dos condiciones de registro (ver Figuras 1 y 2). La única diferencia entre las oscilaciones circadianas observadas en los dos programas de reforzamiento fue en la amplitud, ya que ante el programa de reforzamiento continuo el total de respuestas por día fue menor que ante el programa de intervalo fijo 100 segundos; no obstante, en ambos programas la tasa de respuestas aumenta durante el periodo de oscuridad y disminuye durante el periodo de iluminación. Esta distribución circadiana de las respuestas fue unimodal en cuatro animales y bimodal en los otros once. El aumento en la tasa de respuestas en los animales con un patrón circadiano unimodal ocurrió entre las 2000 y las 0000 horas (como el sujeto que se presenta en la Figura 1), mientras que en los sujetos con un patrón circadiano bimodal (como el sujeto que se presenta en la Figura 2) el segundo aumento en la tasa de respuestas ocurrió entre las 0300 y las 0600 horas del día.

En el curso del periodo de oscuridad la ejecución ante cada programa de reforzamiento presenta variaciones de corta duración, variaciones que se aprecian al representar la tasa de respuestas por intervalos sucesivos de 5 minutos. Para calcular la duración de cada ciclo de respuesta se tomó como inicio del ciclo cada vez que un brote de respuestas excedía el promedio de

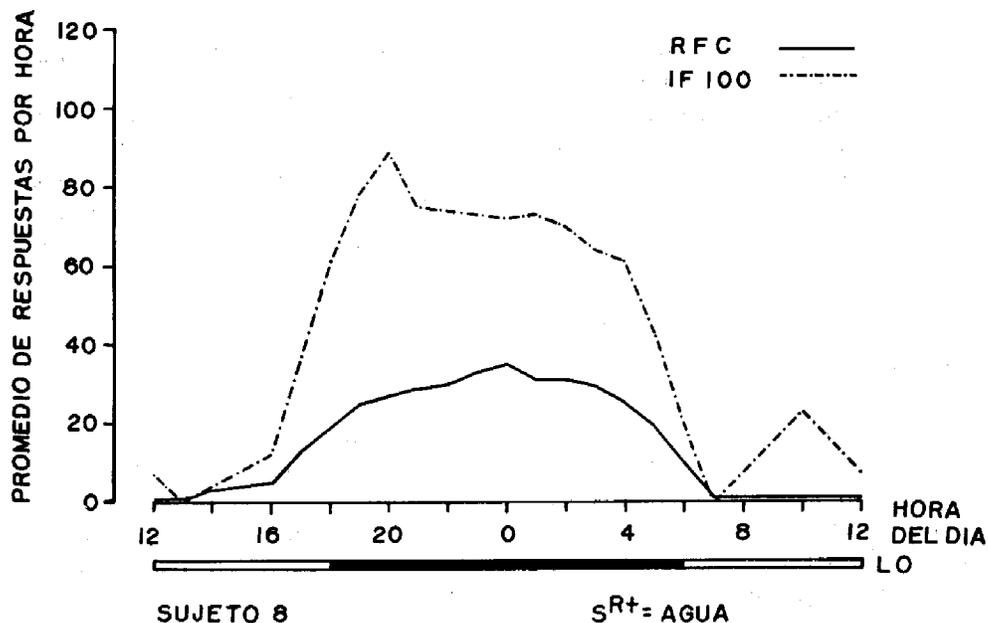


Figura 1. Distribución de respuestas del sujeto 8 en el transcurso del día, en un programa de reforzamiento continuo (RFC) y en un programa de intervalo fijo 100 segundos (IF 100). Este sujeto presentó una distribución circadiana unimodal. Se usó agua como reforzador (SR+). LO = Luz y oscuridad.

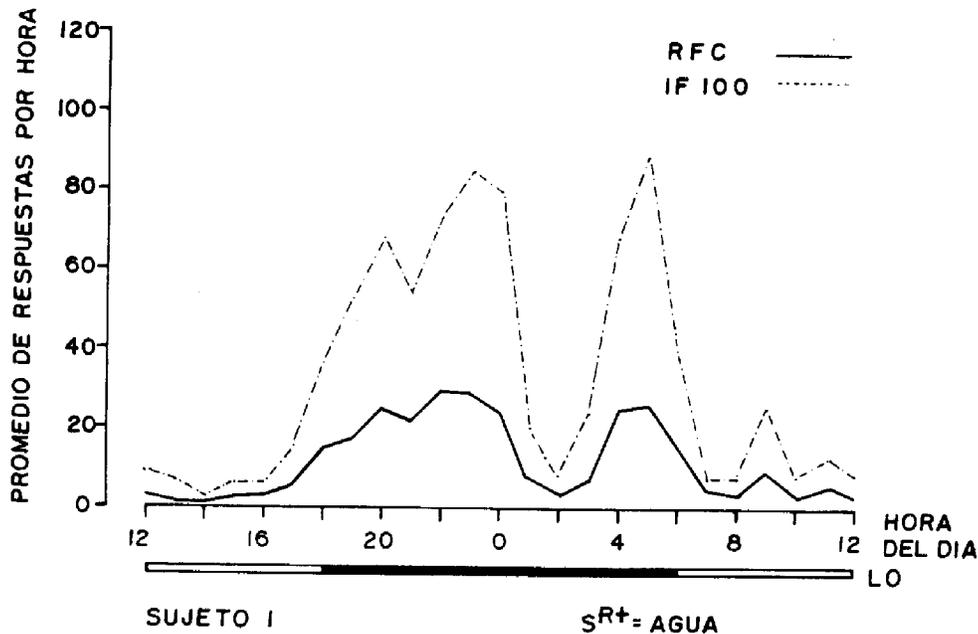


Figura 2. Distribución de respuestas del sujeto 1 en el transcurso del día, en un programa de RFC y en un programa de IF 100. Este sujeto presentó una distribución circadiana bimodal. Se usó agua como reforzador.

respuestas emitidas durante el periodo de obscuridad; la duración de cada ciclo de respuesta por lo tanto consistió en el tiempo que transcurrió desde el inicio de un ciclo hasta el inicio del siguiente. La distribución porcentual de estos ciclos de respuesta presenta una mayor frecuencia de periodos con una duración de 10 a 20 minutos, tanto en el programa de reforzamiento continuo como en el programa de intervalo fijo 100 segundos (Figura 3). Este tipo de distribución de los ciclos de respuesta se observó en todos los sujetos.

## DISCUSION

Los resultados de este trabajo, en el que se utilizó agua como reforzador, son semejantes a los que se obtienen al usar alimento como reforzador (Valdez, 1981). Tanto al usar alimento o agua como reforzador se observan variaciones circadianas en la tasa de respuestas, por lo que es posible plantear que los ritmos circadianos ejercen una influencia notable y estable sobre la conducta. Es probable que la modulación de la conducta en el transcurso del día explique en parte la variabilidad en la conducta en registros o sesiones de duración limitada, especialmente en aquellos estudios en los que no se toma en cuenta o no se mantiene constante la hora de registro (Terman, 1983).

Para determinar la existencia de un auténtico ritmo ultradiano (o ciclo

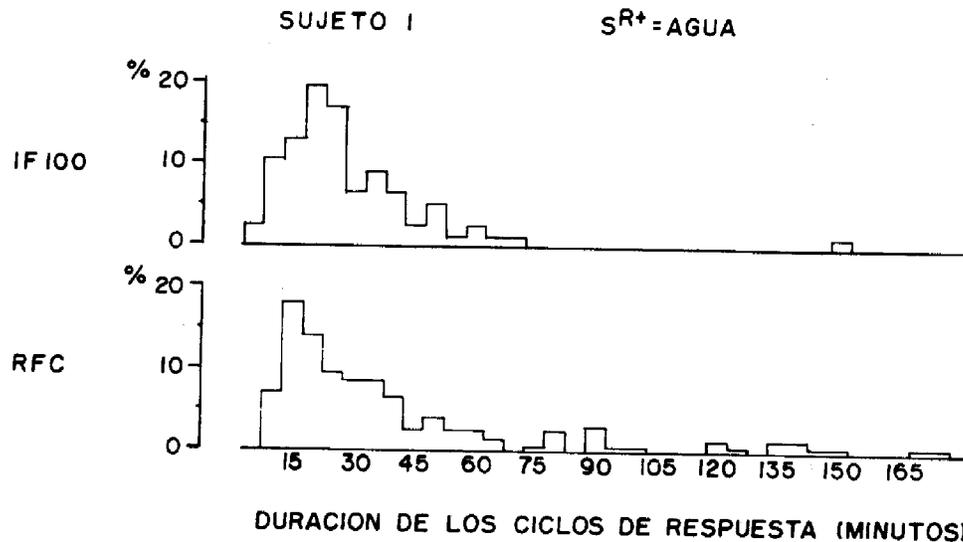


Figura 3. Distribución porcentual de los ciclos de respuesta del sujeto 1 durante el periodo de obscuridad, en un programa de RFC y en un programa de IF 100. Se usó agua como reforzador.

básico de actividad y descanso) es preciso demostrar la presencia de oscilaciones con el mismo periodo durante el transcurso del día. En el presente trabajo se observaron variaciones ultradianas en la conducta con una mayor proporción de periodos dentro del rango de 10 a 20 minutos. Estas variaciones ultradianas en la conducta se observaron tanto ante el programa de reforzamiento continuo como ante el programa de intervalo fijo 100 segundos. Variaciones ultradianas con un periodo similar fueron reportados al usar alimento como reforzador (Valdez, 1981); además se ha reportado que los ciclos de sueño en la rata tienen un periodo de 13 minutos (Lisk y Sawyer, 1966). Es posible que tanto las fases del sueño como la tasa de respuestas sean dos manifestaciones de un ritmo ultradiano en la rata; sin embargo sería importante determinar si el ciclo de sueño y el ciclo de conducta operante se encuentran en una relación de fase constante, o si ambos se modifican en la misma dirección por la influencia de algún agente que altere los ritmos ultradianos.

La estabilidad de los datos presentados permite sugerir condiciones de registro semejantes, esto es, de larga duración, en vez de sesiones de corta duración, como modelo para el estudio de la interacción entre patrones de conducta y ritmos biológicos, en especial para el estudio de la cronofarmacología (Reinberg y Halberg, 1971). Estas condiciones de registro pueden ser también un modelo experimental útil en la búsqueda de los factores que intervienen en problemas derivados de la ritmicidad circadiana, tales como: algunos trastornos del dormir (Czeisler y col., 1981); en trastornos como la depresión (Kripke, Mullaney, Atkinson y Wolf, 1978; Wehr, Sakc, Rosenthal, Ducan y Gillin, 1983; Rosenthal y col., 1985); o trastornos asociados

al trabajo en los turnos nocturno o rotatorio (Aschoff, 1978; Akerstedt y Torsvall, 1981; Lavie, Kremerman y Wiel, 1982; Creisler, Moore-Ede y Coleman, 1982).

## REFERENCIAS

- Akerstedt, T. y Torsvall, L. (1981). Shift work. Shift-dependent well-being and individual differences. *Ergonomics*, 24, 265-273.
- Aschoff, J. (1976). Circadian systems in man and their implications. *Hospital Practice*, mayo, 51-57.
- Aschoff, J. (1978). Features of circadian rhythms relevant for the design of shift schedules. *Ergonomics*, 21, 739-754.
- Baldwin, B. A. (1976). Sleep and motor activity of the rat during ultra-short light-dark cycles. *Brain Research*, 114, 305-317.
- Boulos, Z., Rosenwasser, A. M. y Terman, M. (1980). Feeding schedules and the circadian organization of behavior in the rat. *Behavioural Brain Research*, 1, 39-65.
- Castro, L. y Carrillo, J. (1976). Ritmos circadianos y control comportamental. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 8, 459-466.
- Czeisler, C. A., Moore-Ede, M. C. y Coleman, R. M. (1982). Rotating shift work schedules that disrupt sleep are improved by applying circadian principles. *Science*, 217, 460-463.
- Czeisler, C. A., Richardson, G. S., Coleman, R. M., Zimmerman, J. C., Moore-Ede, M. C., Dement, W. C. y Weitzman, E. D. (1981). Chronotherapy: resetting the circadian clocks of patients with delayed sleep phase insomnia. *Sleep*, 4, 1-21.
- Delgado-García, J. M., Grau, C., DeFeudis, P., Pozo, F., Jiménez, J. M. y Delgado, J. M. R. (1976). Ultradian rhythms in the mobility and behavior of rhesus monkeys. *Experimental Brain Research*, 25, 79-91.
- Dement, W. y Kleitman, N. (1957). Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility, and dreaming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 9, 673-690.
- Edmonds, S. C. y Adler, N. T. (1977). Food and light as entrainers of circadian running activity in the rat. *Physiology and Behavior*, 18, 915-919.
- Evans, H. L. (1971). Rat's activity: influence of light-dark cycle, food presentation and deprivation. *Physiology and Behavior*, 7, 455-459.
- Holaday, J. W., Martínez, H. M. y Natelson, B. H. (1977). Synchronized ultradian cortisol rhythms in monkeys: persistence during corticotropin infusion. *Science*, 198, 56-58.
- Kleitman, N. (1982). Basic rest-activity cycle -22 years later. *Sleep*, 5, 311-317.
- Kripke, D. F. (1974). Ultradian rhythms in sleep and wakefulness. En E. D. Weitzman (Dir.), *Advances in sleep research*. Vol. 2. New York: Spectrum Publications, p. 305-325.
- Kripke, D. F., Mullaney, D. J., Atkinson, M. y Wolf, S. (1978). Circadian rhythm disorders in manic-depressives. *Biological Psychiatry*, 13, 335-351.
- Lavie, P., Kremerman, S. y Wiel, M. (1982). Sleep disorders and safety at work in industry workers. *Accid. Anal. & Prev.*, 14, 311-314.
- Lavie, P. y Kripke, D. F. (1977). Ultradian rhythms in urine flow in waking humans. *Nature*, 269, 142-144.
- Levin, B. E., Goldstein, A. y Natelson, B. H. (1978). Ultradian rhythm of plasma noradrenaline in rhesus monkeys. *Nature*, 272, 164-166.
- Lewis, B. D., Kripke, D. F. y Bowden, D. M. (1977). Ultradian rhythms in hand-mouth behavior of the rhesus monkey. *Physiology and Behavior*, 18, 283-286.
- Lindsley, D. B., Wendt, R. H., Lindsley, D. F., Fox, S. S., Howell, J. y Adey, W. R. (1964). Diurnal activity, behavior and EEG responses in visually deprived monkeys. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 177, 564-587.
- Lisk, R. D. y Sawyer, C. H. (1966). Induction of paradoxical sleep by lights-off stimulation. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 123, 664-667.
- Luce, G. G. (1971). *Biological rhythms in human and animal physiology*. New York: Dover.
- Maxim, P. E., Bowden, D. M. y Sackett, G. P. (1976). Ultradian rhythms of solitary and social behavior in rhesus monkeys. *Physiology and Behavior*, 17, 337-344.
- Maxim, P. E. y Storrie, M. (1979). Ultradian barpressing for rewarding brain stimulation in rhesus monkeys. *Physiology and Behavior*, 22, 683-687.
- Minors, D. S. y Waterhouse, J. M. (1986). Circadian rhythms and their mechanisms. *Experientia*, 42, 1-12.
- Oswald, I., Merrington, J. y Lewis, H. (1970). Cyclical "on demand" oral intake by adults. *Nature*, 225, 959-960.
- Palmer, J. D. (1976). *An introduction to biological rhythms*. New York: Academic Press.

- Reinberg, A. y Halberg, F. (1971). Circadian chronopharmacology. *Annual Review of Pharmacology*, 11, 455-492.
- Rosenthal, N. E., Sack, D. A., Carpenter, C. J., Parry, B. L., Mendelson, W. B. y Wehr, T. A. (1985). Antidepressant effects of light in seasonal affective disorder. *American Journal of Psychiatry*, 142, 163-170.
- Rosenwasser, A. M., Boulos, Z. y Terman, M. (1981). Circadian organization of food intake and meal patterns in the rat. *Physiology and Behavior*, 27, 33-39.
- Rusak, B. y Zucker, I. (1975). Biological rhythms and animal behavior. *Annual Review of Psychology*, 26, 137-171.
- Sours, E., Ramírez, C., Hernández, A. y Castro, L. (1978). Diferencias en la conducta bajo el control de un programa de RF50, con relación a los cambios en la hora de la sesión. En P. Speller (Dir.), *Análisis de la conducta*. México: Trillas, p. 152-158.
- Sterman, M. B., Lucas, E. A. y McDonald, L. R. (1972). Periodicity within sleep and operant performance in the cat. *Brain Research*, 38, 327-341.
- Terman, M. (1983). Behavioral analysis and circadian rhythms. En M. D. Zeiler y P. Harzem (Dir.), *Advances in analysis of behaviour*. Vol. 3. New York: John Wiley & Sons, p. 103-141.
- Thor, D. H. y Pierson, E. (1970). Concurrent circadian periodicities: gross activity and self stimulation with light. *Acta Psychologica*, 34, 67-77.
- Valdez, P. (1981). *Variaciones circadianas y ultradianas de diversos patrones de conducta en la rata*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Wehr, T. A., Sack, D., Rosenthal, N., Duncan, W. y Gillin, J. C. (1983). Circadian rhythm disturbances in manic-depressive illness. *Federation Proceedings*, 42, 2809-2814.
- Zimmerman, J. C. (1977). Circadian functions of operant behavior under interresponse time contingencies. *Dissertation Abstracts International*, 38 (5), 2409-B.