

Estímulos, pulsiones y ritmos biológicos como estrategias motivadoras del comportamiento de robots autónomos

Maroto-Gómez, Marcos^{a,*}, Carrasco-Martínez, Sara^a, Malfaz, María^a, Castro-González, Álvaro^a, Salichs, Miguel Ángel^a

^aDepartamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid. Avenida de la Universidad, 30. 28911 Leganés, Madrid, España.

To cite this article: Maroto-Gómez, M., Carrasco-Martínez, S., Malfaz, M., Castro-González, Á. & Salichs, M.Á. 2023. Stimuli, drives, and biological rhythms as motivators of autonomous robot behavior XLIV Jornadas de Automática, 639-644. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497498609.639>

Resumen

La robótica social ha demostrado en los últimos años un gran potencial en sectores estratégicos para la sociedad como la educación, la sanidad y la compañía a mayores. Estos sectores necesitan sistemas autónomos para ayudar a sus profesionales por diversos motivos. Por ejemplo, el envejecimiento de la población en países desarrollados ha provocado una falta de trabajadores cualificados en sectores clave como el cuidado de personas mayores. Este artículo tiene como motivación el desarrollo de robots sociales autónomos que sean capaces de realizar sus tareas adecuadamente con la aceptación de sus usuarios, reduzcan la supervisión humana, y operen en escenarios reales de forma ininterrumpida. Este trabajo toma como referencia numerosos estudios que en los últimos años revelan los beneficios de replicar el comportamiento humano en robots autónomos para incrementar el vínculo humano-robot y mejorar la interacción entre ambos. Para dotar de un comportamiento bioinspirado y autónomo a los robots sociales, en este artículo proponemos tres estrategias de generación de comportamiento: cómo el robot percibe y evalúa estímulos del entorno y responde a ellos, pulsiones internas que motivan el comportamiento voluntario, y ritmos biológicos para generar comportamientos cíclicos. Estas estrategias se implementan en el robot Mini, permitiéndole operar durante largos periodos de tiempo y cumplir sus tareas de asistencia al usuario.

Palabras clave: Robots sociales, Comportamiento autónomo, Bioinspiración, Inteligencia Artificial

Stimuli, drives, and biological rhythms as motivators of autonomous robot behavior

Abstract

In recent years, social robotics has shown great potential in strategic sectors for society such as education, healthcare and elderly companionship. These sectors need autonomous systems to assist their professionals for various reasons. For example, the aging of the population in developed countries has led to a lack of skilled workers in key sectors such as elderly care. This paper is motivated by the development of autonomous social robots that are able to perform their tasks adequately with the acceptance of their users, reduce human supervision, and operate in real scenarios in an uninterrupted manner. This work takes as a reference numerous studies that in recent years reveal the benefits of replicating human behavior in autonomous robots to increase the human-robot bond and improve the interaction between both. To endow bio-inspired and autonomous behavior to social robots, in this paper we propose three behavior generation strategies: how the robot perceives and evaluates stimuli from the environment and responds to them, internal drives that motivate voluntary behavior, and biological rhythms to generate cyclic behaviors. These strategies are implemented in the Mini robot, allowing it to operate for long periods of time and accomplish its user assistance tasks.

Keywords: Social robots, Autonomous behavior, Bioinspiration, Artificial Intelligence

*Autor para correspondencia: marmarot@ing.uc3m.es
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

1. Introducción

La robótica social se enfrenta al reto de diseñar robots que realmente sean útiles para la sociedad y aporten valor. En los últimos años, numerosas publicaciones han puesto de manifiesto el potencial de estas máquinas en nuestra vida cotidiana (Breazeal et al., 2016), si bien aún no han tenido el impacto esperado (Bishop et al., 2019). Hasta ahora, los mayores inconvenientes ligados al uso de robots sociales en entornos reales se deben a sus limitaciones de actuación en entornos dinámicos durante largos periodos de tiempo (Maroto-Gómez et al., 2023a, p. 16-17) y a las reticencias de algunos usuarios a utilizar máquinas que en muchos casos perciben como amenazantes o poco capaces (Naneva et al., 2020).

Durante los últimos años, la robótica social ha tendido a modelar el comportamiento de los robots basándose en cómo nos comportamos los humanos y otros animales (Maroto-Gómez et al., 2023a, p. 16). De esta forma, es posible dotar a los robots con procedimientos de interacción y comportamiento para que sean percibidos como más naturales por sus usuarios. Además, al reconocer en los robots dinámicas y comportamientos humanos, algunos estudios han demostrado que los usuarios perciben a los robots como sistemas en los que se puede confiar y que poseen mejores capacidades (Naneva et al., 2020).

La motivación de este trabajo surge de la necesidad de desarrollar robots sociales autónomos con comportamiento biológicamente inspirado que sean capaces de operar durante largos periodos reduciendo la intervención humana. Este artículo presenta tres estrategias de generación de comportamientos basados en la etología (comportamiento humano-animal): cómo *percibimos* y *evaluamos los estímulos* de nuestro entorno y respondemos a ellos, cómo surgen en nuestro interior las *pulsiones* que nos impulsan al comportarnos de cierta manera y los *ritmos biológicos* que controlan nuestro reloj interno para activar comportamientos periódicos relacionados con la rotación de la Tierra (fase luz-oscuridad).

Los resultados muestran cómo estos procesos se generan en el robot social Mini y se relacionan entre sí para controlar su comportamiento autónomo, emulando cómo se generan en humanos. Más concretamente, mostramos:

- Cómo la percepción de distintos estímulos y la interpretación de los mismos provocan comportamientos de escape o sociales.
- Cómo nuestras pulsiones internas nos empujan a realizar ciertas acciones como por ejemplo entretenernos.
- El efecto de los ritmos para controlar nuestra actividad durante el día y la noche.

La sección 2 realiza una revisión de trabajos similares en robótica que tienen como objetivo emular la generación de comportamiento humano. La sección 3 detalla las estrategias de generación de comportamiento basadas en la percepción y evaluación de estímulos, pulsiones y ritmos biológicos. La sección 4 presenta ejemplos de la implementación de estas estrategias en Mini. Por último, la sección 5 describe las principales conclusiones y trabajos futuros en esta línea de investigación.

2. Literatura relacionada

En los últimos años, numerosos autores han abordado el reto de replicar funciones humanas en robots con el objetivo de conseguir sistemas autónomos, más inteligentes y naturales (Khan and Cañamero, 2022; Rai, 2022; Maroto-Gómez et al., 2023c). La mayoría de estos trabajos generan el comportamiento del robot en base a dos conceptos clave: motivación (Seifert et al., 2022) y emoción (Spitale and Gunes, 2022). Sin embargo, muy pocos de ellos producen un comportamiento a largo plazo en el robot, centrándose en interacciones cortas para aplicaciones muy concretas. A continuación, enumeramos los trabajos más relevantes que proporcionan un comportamiento motivacional bioinspirado basado en la percepción y evaluación de estímulos, pulsiones y ritmos biológicos.

La mayoría de estudios en evaluación de estímulos en la interacción humano-robot se centran en cómo el usuario percibe al robot, y no cómo el robot evalúa los estímulos que le rodea. Sin embargo, existen un par de ejemplos que ilustran como dotar a robots con atención. Marques-Villarroya et al. (2022) desarrollaron un sistema de atención para los estímulos que rodean al robot Mini. El sistema de percepción es capaz de identificar estímulos agregando la información de distintos estímulos y organizarlos según la importancia que tengan para el robot. De forma similar, Gomez et al. (2022) proponen un sistema de atención para generar comportamientos reactivos en el robot social Haru. Este sistema utiliza ontologías y señales de relevancia para cada situación para vincular los estímulos que percibe el robot con el comportamiento reactivo más apropiado.

El término *pulsión* hace referencia a los impulsos internos de un sujeto que le impulsan a realizar acciones para mejorar su estado interno y reducir sus déficits. Este término ha tomado distintas variantes y se ha aplicado de dos diversas formas en robótica e inteligencia artificial. Por un lado, ha sido utilizado para reflejar los déficits fisiológicos del robot (Maroto-Gómez et al., 2018; Pieters et al., 2019; Khan and Cañamero, 2021). Por otro lado, otros trabajos han tomado el concepto *pulsión* ha sido también empleado como un concepto ligado a la teoría del psicoanálisis de Freud (2014) como un proceso puramente cognitivo (Jones, 2013). En este trabajo, utilizamos el concepto *pulsión* fusionando ambas ideas, como un proceso interno cognitivo que surge a partir de los déficits fisiológicos que requiere de una evaluación cognitiva en la toma de decisiones.

En cuanto a incorporar en robots un comportamiento a largo plazo basado en ritmos biológicos, previamente exploramos Maroto-Gómez et al. (2023b) el impacto y naturalidad de modelar el comportamiento de hormonas para generar comportamientos reactivos en el robot Mini. Sin embargo, en este trabajo no se tiene en cuenta la motivación y el comportamiento voluntario para conseguir un objetivo. Lomas et al. (2022) realizaron un sistema para generar comportamientos en sistemas autónomos basados en el concepto de resonancia. Los autores proponen entrenar y sincronizar el comportamiento del agente utilizando ritmos internos generados por señales eléctricas. Sin embargo, no ahondan en la generación de ritmos biológicos desde un punto de vista más biológico. Por último, Burattini and Rossi (2008) han sido dos autores destacados en generar comportamientos basados en ritmos circadianos (con periodo de 24 horas) en robots. Sus estudios muestran cómo estos ritmos controlan el comportamiento autónomo del robot, aunque

el fundamento biológico de la generación de ritmos no sigue los estudios en humanos.

3. El robot Mini y su modelo biológico

El modelo que proponemos en este artículo genera comportamientos en el robot social Mini a partir de la percepción y evaluación de estímulos, pulsiones internas que surgen de comportamientos innatos con dinámicas programadas en el robot, y ritmos biológicos con un periodo natural que da lugar a comportamientos cíclicos.

Mini (Salichs et al., 2020) es un robot social, mostrado en la figura 1, destinado a tareas de estimulación cognitiva con adultos que presenten un deterioro cognitivo leve. Su concepción tiene como objetivo que sirva como asistente en la vida personal y diaria de éstas personas, reduciendo la intervención de los cuidadores y facilitando su funcionamiento en la propia casa de los usuarios. Para lograr esta tarea, Mini requiere de un comportamiento autónomo que le permita analizar la situación que le rodea y elegir el comportamiento más adecuado de forma natural y expresiva. Para ello, requiere de una generación de comportamiento basada en la percepción y evaluación del entorno con capacidad toma de decisiones y de actuación.

El robot cuenta con sensores de tacto en su cuerpo para reconocer el contacto físico, una cámara 3D para percibir visualmente lo que le rodea, un micrófono para analizar sonidos verbales y no verbales, un sensor RFID para detectar balizas electrónicas y un foto-receptor para medir la luz ambiente. En cuanto a sus capacidades de actuación, Mini tiene 5 grados de libertad en cadera, brazos, cuello y cabeza. Además tiene un altavoz para hablar y numerosos dispositivos luminosos que mejoran su expresividad. Por último, el robot tiene una tableta para mostrar información a los usuarios y realizar distintos juegos.

A continuación, presentamos los tres mecanismos de generación de comportamiento para robots autónomos basados en cómo los humanos evaluamos la condición interna y externa.

3.1. Percepción y evaluación de estímulos

Los sistemas de percepción del robot son capaces de obtener la intensidad con la que se perciben distintos estímulos. Por ejemplo, pueden percibir la intensidad de la iluminación o la cercanía del usuario al robot. Estas intensidades, definidas como $si(t)$, se normalizan de 0 a 100 para todos los estímulos. La ecuación 1 muestra como nuestro modelo representa el efecto de un estímulo $se(t)$ sobre el robot como el valor con el que percibe su intensidad $si(t)$ multiplicado por un factor α que representa el impacto físico y un valor β que representa la evaluación cognitiva que el robot hace. Tanto α como β son parámetros que varían entre 0 y 1, regulando los efectos del estímulo sobre el agente y activando comportamientos (Bradley et al., 2022). Este tipo de generación de comportamiento normalmente va ligada a reacciones involuntarias y espontáneas tras la percepción de un estímulo. Un ejemplo práctico de este tipo de generación de comportamiento es cómo percibimos un animal que nos da miedo. Sin darnos cuenta, evaluamos este estímulo rápidamente y ejecutamos comportamientos que nos llevan a evitar esta situación de forma reactiva.

$$se(t) = \alpha \times \beta \times si(t) \quad (1)$$



Figura 1: Robot social Mini.

3.2. Pulsiones

Las pulsiones impulsan al robot a realizar acciones cuando su estado interno lo requiere. De esta forma, las intensidades de las pulsiones o motivaciones de comportamiento $p(t)$ se definen como el valor de la necesidad asociada a un proceso biológicamente inspirado del robot más una componente externa que define cómo la percepción de estímulos externos nos lleva a realizar determinados comportamientos. Como muestra la ecuación 2, que tiene como origen estudios de neurociencia (Filgona et al., 2020), $d(t)$ es el déficit asociado a un proceso biológico simulado en el robot y el término $\gamma \times d(t) \cdot se(t)$ hace referencia a la amplificación del estímulo regulada por un factor γ que varía entre 0 y 1. Un ejemplo cómo nuestro comportamiento cambia debido a las pulsiones es el hambre. Cuando tenemos hambre (déficit) y percibimos comida que nos gusta (estímulo), la intensidad de la pulsión será alta y probablemente comamos para mejorar nuestra condición interna.

$$p(t) = d(t) + \gamma \times d(t) \cdot se(t) \quad (2)$$

3.3. Ritmos biológicos

El cuerpo humano genera de forma periódica comportamientos para mantener nuestro estado interno en buena condición. Estos ritmos biológicos tienen su origen en la rotación de la Tierra sobre sí misma y en los periodos de luz-oscuridad. Dependiendo de su periodo, se clasifican como circadianos ($\sim 24h$), ultradianos ($< 24h$) o infradianos ($> 24h$) (Bilal et al., 2022). En este artículo presentamos ecuaciones para representar tanto los ritmos circadianos como los ultradianos, por su periodicidad.

En este trabajo modelamos la intensidad de los ritmos circadianos $rc(t)$ como una señal cosenoidal de periodo 24h (Marler et al., 2006), como muestra la ecuación 3. Esta señal utiliza un valor base br y un factor de amplitud ar para adaptar la intensidad a los valores esperados. Además, el factor Tz permite ajustar la fase inicial del ritmo circadiano a la hora del día donde su máximo sucede. El ejemplo más claro de este fenómeno en humanos son los periodos de sueño-actividad, los cuales se sincronizan con la fase solar (Foster, 2020).

$$rc(t) = br + ar \cdot \cos\left(2\pi \cdot \left(\frac{t - Tz}{24}\right)\right) \quad (3)$$

Los ritmos ultradianos son variaciones periódicas que suceden en el agente con periodicidad por debajo de 24 horas (Bilal et al., 2022). De esta forma, proponemos como señal de activación de los ritmos ultradianos $ru(t)$ un pulso de amplitud A con tasa de activación a y tasa de decaimiento b como muestra la ecuación 4. Este pulso se puede repetir n veces durante un intervalo de tiempo t_1-t_2 , dando lugar a episodios de alteración interna. Un ejemplo de este tipo de activación es el estrés que sufrimos al despertarnos, lo que eleva nuestro ritmo cardíaco con hasta 9 episodios de subida de la hormona cortisol (Agorastos and Chrousos, 2022).

$$ru(t) = A \cdot (e^{-at} - e^{-bt}) \text{ para } t \text{ entre } t_1 < t < t_2 \quad (4)$$

4. Generación de comportamientos

En esta sección ilustramos cuatro ejemplos de las estrategias de generación de comportamiento en robots autónomos propuestas anteriormente. La figura 2 muestra cómo la percepción de estímulos por parte del robot puede llevar a la ejecución de distintos comportamientos dependiendo de su evaluación cognitiva. En este caso, el robot percibe dos estímulos en los segundos 5 y 40 con la misma intensidad (máxima intensidad de 100 unidades) y el mismo impacto físico ($\alpha = 1$). Sin embargo, el efecto del primer estímulo no provoca ningún comportamiento en el robot por que su evaluación cognitiva $\beta = 0.2$ es baja y el robot no lo percibe como amenazante. Sin embargo, la evaluación del segundo estímulo es amenazante $\beta = 0.9$ por lo que el robot responde ejecutando un comportamiento que le lleva a escapar de esa situación.

La figura 3 muestra como una pulsión interna provocada por la variable entretenimiento lleva al robot a ejecutar la acción de jugar para restaurar sus déficits y mejorar su estado interno. El entretenimiento decae con el tiempo y, de forma inversa, aumenta la pulsión asociada. Cuando la pulsión alcanza el límite de 60 unidades, el robot detecta que debe jugar para restaurar su estado. En este ejemplo, el robot juega durante 30 segundos reduciendo su pulsión y aumentando su entretenimiento. Después de jugar, la pulsión vuelve a subir de forma natural por la reducción del entretenimiento.

Las figuras 4 y 5 muestran respectivamente la generación de ritmos circadianos y ultradianos y cómo estos provocan comportamientos voluntarios e involuntarios. Por un lado, la figura 4 muestra como dotando al robot con un ciclo circadiano de ecuación $rc(t) = 50 + 50 \cdot \cos(2\pi \cdot (\frac{t-3}{24}))$ es posible controlar sus horas de sueño y actividad. Cuando el ritmo presenta valores por encima de 50, el robot duerme para no saturar al usuario y reducir su consumo eléctrico. Cuando está por debajo, el robot está activo y realiza sus tareas de asistencia al usuario.

Como muestra la figura 5, mediante este tipo de ritmos también es posible controlar elementos de la expresividad del robot para mejorar su naturalidad y transmitir su estado al usuario. Como se puede ver, el ritmo ultradiano de ecuación $100 \cdot (e^{-0.2t} - e^{-0.1t})$ provoca cuatro episodios de tensión en el robot al despertarse, como sucede en humanos. Esto se traduce en un incremento del latido del corazón (el robot Mini puede expresar este proceso con un indicador luminoso) indicándole al usuario que se acaba de despertar.

5. Conclusión y trabajos futuros

Este trabajo presenta la combinación de la percepción y evaluación de estímulos, pulsiones y ritmos biológicos para la generación de comportamientos autónomos en robots. Como muestran los resultados de las secciones anteriores, estos procesos permiten generar comportamientos de diverso tipo a largo plazo, permitiendo al robot funcionar minimizando la intervención de sus responsables.

Como trabajo futuro de esta propuesta creemos conveniente evaluar la percepción de los usuarios cuando el robot se comporta de forma biológicamente inspirada con el objetivo de saber su opinión, si mejora la percepción de la naturalidad del robot y sus capacidades de toma de decisiones. Además, resulta interesante continuar modelando otros procesos biológicos que ocurren en humanos como por ejemplo emociones ligadas a la percepción y evaluación de estímulos para mejorar las capacidades de éstas máquinas.

Agradecimientos

La investigación que ha conducido a estos resultados ha recibido financiación de los proyectos: «RoboCity2030-DIH-CM», Madrid Robotics Digital Innovation Hub, S2018/NMT-4331, financiado por «Programas de Actividades I+D en la Comunidad de Madrid» y cofinanciado por el Fondo Social Europeo (FSE) de la EU; «Robots sociales para mitigar la soledad y el aislamiento en mayores» (SoRoLi), PID2021-123941OA-I00, financiado por la Agencia Estatal de Investigación (AEI), Ministerio Español de Ciencia e Innovación; «Robots sociales para reducir la brecha digital de las personas mayores» (SoRo-Gap), TED2021-132079B-I00, financiado por la Agencia Estatal de Investigación (AEI); «Mejora del nivel de madurez tecnológica del robot Mini» (MeNiR), PDC2022-133518-I00, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR.

Referencias

- Agorastos, A., Chrousos, G. P., 2022. The neuroendocrinology of stress: the stress-related continuum of chronic disease development. *Molecular Psychiatry* 27 (1), 502–513.
- Bilal, A., Naveed, N., Mehmood, R., Sattar, R. Z., Shoaib, M., 2022. Biological rhythms, disorders and their energetic: A review. *Journal of Internal Medicine Research & Reports*. SRC/JIMRR-104. DOI: doi.org/10.47363/JIMRR/2022 (1) 104, 2–4.
- Bishop, L., van Maris, A., Dogramadzi, S., Zook, N., 2019. Social robots: The influence of human and robot characteristics on acceptance. *Paladyn, Journal of Behavioral Robotics* 10 (1), 346–358.
- Bradley, C., Nydam, A. S., Dux, P. E., Mattingley, J. B., 2022. State-dependent effects of neural stimulation on brain function and cognition. *Nature Reviews Neuroscience* 23 (8), 459–475.
- Breazeal, C., Dautenhahn, K., Kanda, T., 2016. *Social robotics*. Springer handbook of robotics, 1935–1972.
- Burattini, E., Rossi, S., 2008. Periodic adaptive activation of behaviors in robotic systems. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence* 22 (05), 987–999.
- Filgona, J., Sakiyo, J., Gwany, D., Okoronka, A., 2020. Motivation in learning. *Asian Journal of Education and social studies* 10 (4), 16–37.
- Foster, R. G., 2020. Sleep, circadian rhythms and health. *Interface Focus* 10 (3), 20190098.
- Freud, S., 2014. *Psychoanalysis*. In: *An Introduction to Theories of Personality*. Psychology Press, pp. 11–51.

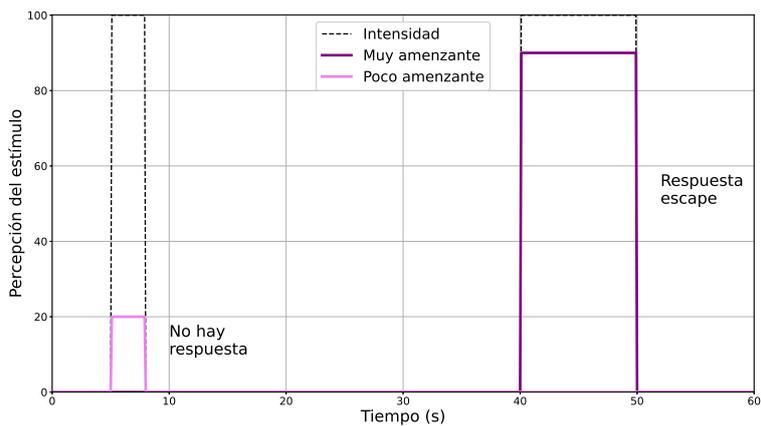


Figura 2: Percepción de estímulos con evaluación amenazante y no amenazante que provocan distintas respuestas en el robot.

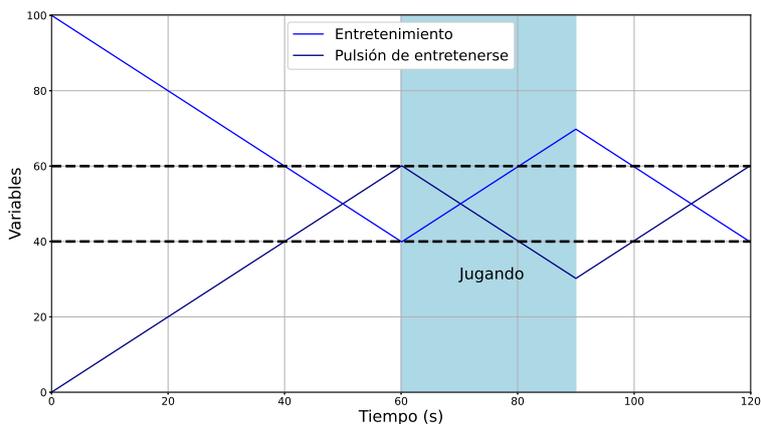


Figura 3: Pulsión de entrenamiento provocada por un decaimiento del entrenamiento con el tiempo. La pulsión se reduce con la acción de jugar.

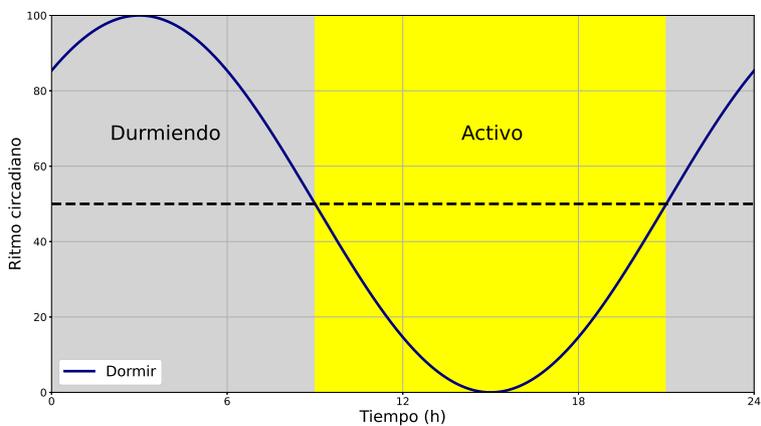


Figura 4: Ritmo circadiano del sueño que lleva al robot a dormir por la noche y tener actividad por el día.

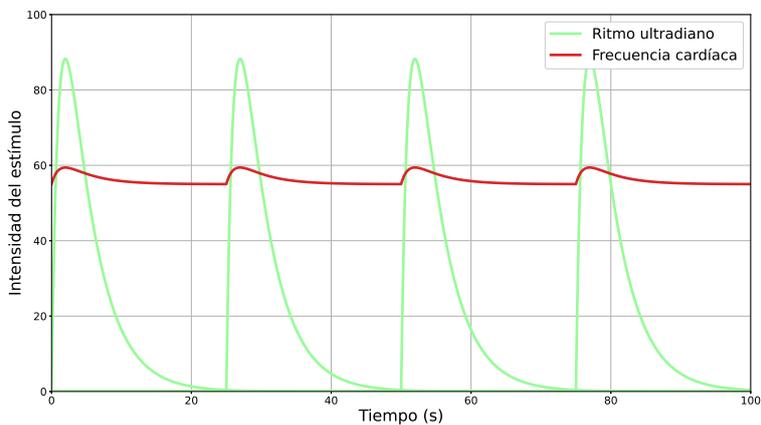


Figura 5: Ritmo ultradiano que acelera el latido del corazón del robot al despertarse, como sucede en humanos.

- Gomez, R., Páez, Á., Fang, Y., Thill, S., Merino, L., Nichols, E., Nakamura, K., Brock, H., 2022. Developing the bottom-up attentional system of a social robot. In: 2022 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, pp. 7402–7408.
- Jones, R. A., 2013. Relationalism through social robotics. *Journal for the Theory of Social Behaviour* 43 (4), 405–424.
- Khan, I., Cañamero, L., 2021. Adaptation-by-proxy: Contagion effect of social buffering in an artificial society. In: ALIFE 2022: The 2022 Conference on Artificial Life. MIT Press.
- Khan, I., Cañamero, L., 2022. The long-term efficacy of “social buffering” in artificial social agents: Contextual affective perception matters. *Frontiers in Robotics and AI*.
- Lomas, J. D., Lin, A., Dikker, S., Forster, D., Lupetti, M. L., Huisman, G., Habekost, J., Beardow, C., Pandey, P., Ahmad, N., et al., 2022. Resonance as a design strategy for ai and social robots. *Frontiers in neurobotics* 16.
- Marler, M. R., Gehrman, P., Martin, J. L., Ancoli-Israel, S., 2006. The sigmoidally transformed cosine curve: a mathematical model for circadian rhythms with symmetric non-sinusoidal shapes. *Statistics in medicine* 25 (22), 3893–3904.
- Maroto-Gómez, M., Alonso-Martín, F., Malfaz, M., Castro-González, Á., Castillo, J. C., Salichs, M. Á., 2023a. A systematic literature review of decision-making and control systems for autonomous and social robots. *International Journal of Social Robotics*, 1–45.
- Maroto-Gómez, M., Castro-González, Á., Castillo, J. C., Malfaz, M., Salichs, M. A., 2018. A bio-inspired motivational decision making system for social robots based on the perception of the user. *Sensors* 18 (8), 2691.
- Maroto-Gómez, M., Castro-González, Á., Malfaz, M., Fernández-Rodicio, E., Salichs, M. Á., 2023b. Modeling neuroendocrine autonomic responses in embodied autonomous robots. *Advanced Intelligent Systems* 5 (2), 2200288.
- Maroto-Gómez, M., Malfaz, M., Castro-González, Á., Salichs, M. Á., 2023c. A motivational model based on artificial biological functions for the intelligent decision-making of social robots. *Memetic Computing*, 1–21.
- Marques-Villarroya, S., Castillo, J. C., Gamboa-Montero, J. J., Sevilla-Salcedo, J., Salichs, M. A., 2022. A bio-inspired endogenous attention-based architecture for a social robot. *Sensors* 22 (14), 5248.
- Naneva, S., Sarda Gou, M., Webb, T. L., Prescott, T. J., 2020. A systematic review of attitudes, anxiety, acceptance, and trust towards social robots. *International Journal of Social Robotics* 12 (6), 1179–1201.
- Pieters, C., Danblon, E., Laumond, J.-P., 2019. Beyond the conflict between “touch” and “feel” in robotics. *Wording Robotics: Discourses and Representations on Robotics*, 81–90.
- Rai, R., 2022. *Swarm intelligence and bio-inspired computation*. In: *Applied Soft Computing*. Apple Academic Press, pp. 1–22.
- Salichs, M. A., Castro-González, Á., Salichs, E., Fernández-Rodicio, E., Maroto-Gómez, M., Gamboa-Montero, J. J., Marques-Villarroya, S., Castillo, J. C., Alonso-Martín, F., Malfaz, M., 2020. Mini: a new social robot for the elderly. *International Journal of Social Robotics* 12, 1231–1249.
- Seifert, J., Friedrich, O., Schleidgen, S., 2022. Imitating the human. new human-machine interactions in social robots. *NanoEthics* 16 (2), 181–192.
- Spitale, M., Gunes, H., 2022. Affective robotics for wellbeing: A scoping review. In: 2022 10th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction Workshops and Demos (ACIIW). IEEE, pp. 1–8.