

celda de cuadrícula

Authored by
memjavad

May 2, 2026

RECOMMENDED CITATION

memjavad (2026). *celda de cuadrícula*. Spanish Psychological Databases. Retrieved from <https://spanish.arabpsychology.com/?p=10777>

Célula de rejilla (Grid Cell)

Campo(s) Disciplinario(s) Primario(s): [Neurociencia](#), Psicología Cognitiva, Biología Teórica.

1. Definición Central y Marco Conceptual

Las **células de rejilla**, también conocidas como células grid, representan una clase fundamental de neuronas especializadas que se localizan primordialmente en la [corteza entorrinal medial](#) de los mamíferos. Estas células funcionan como un sistema de coordenadas espaciales interno, permitiendo que un organismo determine su posición dentro de un entorno físico mediante un patrón de actividad neuronal altamente organizado. A diferencia de otras neuronas sensoriales, las células de rejilla no dependen exclusivamente de estímulos visuales o táctiles externos, sino que generan una representación métrica del espacio que es intrínseca al sistema nervioso central.

El aspecto más distintivo de una **célula de rejilla** es su campo de disparo, el cual se activa en múltiples ubicaciones físicas que forman una red regular de triángulos equiláteros, resultando en un patrón hexagonal que cubre toda la superficie del entorno explorado. Este fenómeno sugiere que el cerebro posee un mecanismo geométrico para computar distancias y direcciones, actuando como una suerte de "GPS biológico". La regularidad de este patrón permite al cerebro realizar procesos de [integración de trayectoria](#), donde el individuo actualiza su posición estimada basándose en señales de movimiento propio, como la velocidad y el cambio de dirección, independientemente de los puntos de referencia externos.

Desde una perspectiva teórica, la existencia de las **células de rejilla** proporciona una base neurofisiológica para el concepto de "mapa cognitivo" propuesto originalmente por Edward Tolman. Estas neuronas no solo codifican la ubicación actual, sino que facilitan la navegación compleja y la planificación de rutas al proporcionar una métrica universal que puede aplicarse a diversos entornos, ya sean conocidos o nuevos. La integración de esta información con otros tipos celulares, como las células de lugar y las células de dirección de la cabeza, conforma un sistema integral de navegación que es esencial para la supervivencia y la autonomía espacial de las especies.

2. Desarrollo Histórico y el Descubrimiento del Sistema de Posicionamiento

El descubrimiento de las **células de rejilla** en el año 2005 marcó un hito sin precedentes en la neurociencia moderna, siendo el resultado de investigaciones llevadas a cabo por [Edvard Moser](#), [May-Britt Moser](#) y sus estudiantes en el Instituto Kavli de Sistemas de Neurociencia en Noruega. Antes de este hallazgo, la comprensión del mapeo espacial se centraba casi exclusivamente en el hipocampo y las "células de lugar" descubiertas por John O'Keefe en 1971. Sin embargo, los Moser demostraron que la corteza entorrinal, que actúa como la principal puerta de entrada al

hipocampo, contenía neuronas con propiedades espaciales mucho más regulares y universales que las encontradas anteriormente.

La investigación que condujo a este descubrimiento se basó en el registro electrofisiológico de neuronas individuales en ratas mientras estas exploraban libremente entornos abiertos. Al analizar los datos, los científicos observaron con asombro que una sola neurona se activaba en múltiples lugares, y que estos puntos de activación guardaban una relación geométrica constante entre sí. Este hallazgo fue tan disruptivo que llevó a la concesión del **Premio Nobel de Fisiología o Medicina** en 2014, compartido entre John O'Keefe y el matrimonio Moser, reconociendo así la elucidación del sistema de posicionamiento interno del cerebro.

A lo largo de la década siguiente al descubrimiento inicial, la investigación se expandió para confirmar la presencia de **células de rejilla** en una amplia variedad de especies, incluyendo ratones, murciélagos, primates no humanos y, eventualmente, seres humanos. Los estudios en humanos, realizados mediante resonancia magnética funcional (fMRI) y registros intracraneales en pacientes con epilepsia, han demostrado que el sistema de rejilla no solo es relevante para la navegación física, sino que también podría estar involucrado en la organización de conceptos abstractos y la memoria episódica, sugiriendo un papel mucho más amplio para estas estructuras en la cognición general.

3. Características Fisiológicas y el Patrón de Disparo Hexagonal

La característica definitoria de las **células de rejilla** es su patrón de disparo espacial, que exhibe una simetría de seis pliegues. Cuando se mapea la actividad de una de estas neuronas sobre un plano bidimensional, los centros de los campos de disparo forman los vértices de una red de [hexágonos](#) regulares. Esta configuración es considerada la forma más eficiente de empaquetar círculos en una superficie plana, lo que ha llevado a los teóricos a especular que el cerebro ha evolucionado para utilizar esta geometría con el fin de maximizar la resolución espacial con el menor número de neuronas posible.

Cada **célula de rejilla** posee tres propiedades métricas fundamentales: la periodicidad (o escala), la orientación y la fase. La periodicidad se refiere a la distancia física entre los centros de disparo adyacentes; la orientación indica el ángulo de la rejilla con respecto a un eje externo del entorno; y la fase describe el desplazamiento horizontal y vertical del patrón de rejilla relativo a un punto de referencia. Estas propiedades permiten que diferentes grupos de células cubran el espacio de manera redundante y precisa, asegurando que el organismo siempre tenga una referencia de su ubicación, incluso en ausencia de luz o señales sensoriales claras.

Fisiológicamente, el mantenimiento de este patrón hexagonal depende de complejas interacciones sinápticas y dinámicas de red. Se ha observado que las **células de rejilla** están estrechamente vinculadas a las [oscilaciones theta](#), que son ritmos eléctricos rítmicos en el cerebro que ocurren

durante la locomoción. La precisión del disparo de la célula de rejilla está sincronizada con estas fases oscilatorias, un fenómeno conocido como precesión de fase, lo que sugiere que la información temporal y espacial están intrínsecamente entrelazadas en el código neuronal de la corteza entorrinal.

4. Organización Modular y Escalamiento Espacial

Las **células de rejilla** no están distribuidas al azar en la corteza entorrinal, sino que se organizan en módulos funcionales discretos a lo largo del eje dorso-ventral. Las células ubicadas en la parte dorsal de la corteza entorrinal presentan rejillas con una escala pequeña, es decir, los puntos de disparo están muy juntos, lo que proporciona una representación de alta resolución del espacio inmediato. A medida que se desciende hacia las regiones ventrales, la escala de la rejilla aumenta progresivamente, con distancias mucho mayores entre los campos de disparo, permitiendo la representación de áreas geográficas mucho más extensas.

Esta organización modular es crucial porque permite al cerebro realizar representaciones multiescala del entorno. Se estima que existen alrededor de diez módulos diferentes, cada uno con una escala que es aproximadamente 1.4 veces mayor que la del módulo anterior. Esta progresión geométrica es notablemente constante y sugiere una optimización matemática para la codificación de la posición. La independencia de estos módulos permite que el sistema mantenga una gran flexibilidad; por ejemplo, un módulo puede reorientarse ante un cambio en el entorno sin que los demás pierdan su estabilidad, garantizando la robustez del sistema de navegación.

Además de la escala, las células dentro de un mismo módulo tienden a compartir la misma orientación y periodicidad, pero difieren en su fase espacial. Esto significa que, aunque todas las células de un módulo "ven" el mundo a través de la misma rejilla geométrica, cada una se activa en una posición ligeramente diferente. En conjunto, la actividad de un solo módulo de **células de rejilla** puede cubrir uniformemente todo el espacio disponible, proporcionando una cobertura total y continua que es esencial para el seguimiento ininterrumpido del movimiento del sujeto.

5. Mecanismos de Integración de Trayectoria y Navegación

El proceso de **integración de trayectoria** (path integration) es la capacidad de un organismo para actualizar su posición en un mapa interno utilizando únicamente señales de su propio movimiento, como la propiocepción y las señales vestibulares. Las **células de rejilla** son los componentes críticos para esta función. A medida que un animal se mueve, la actividad neuronal se desplaza a través de la red de células de rejilla en correspondencia exacta con el desplazamiento físico. Este mecanismo permite que un individuo regrese a su punto de partida (un comportamiento conocido como "homing") incluso después de seguir una ruta tortuosa en completa oscuridad.

Para que la integración de trayectoria sea efectiva, las **células de rejilla** deben recibir información

constante sobre la velocidad y la dirección del movimiento. Esta información es suministrada por las células de dirección de la cabeza y las células de velocidad, que también residen en la corteza entorrinal y áreas adyacentes. La integración de estas señales permite que el patrón de disparo de la rejilla se desplace de manera coherente. Sin embargo, debido a que la integración de trayectoria es inherentemente propensa a la acumulación de errores, el sistema de rejilla utiliza señales visuales externas y "células de borde" (border cells) para recalibrar periódicamente el mapa y mantener la precisión a largo plazo.

La importancia de este mecanismo trasciende la navegación básica. La capacidad de calcular vectores espaciales a partir de la actividad de las **células de rejilla** permite a los animales realizar atajos y planificar rutas hacia objetivos no visibles. En términos computacionales, se cree que la red de células de rejilla actúa como una base ortogonal para el hipocampo, proporcionando la estructura métrica necesaria sobre la cual se pueden superponer los recuerdos episódicos y las asociaciones de lugares específicos, transformando coordenadas abstractas en experiencias geográficas significativas.

6. Interacción con Células de Lugar y Células de Dirección de la Cabeza

El sistema de navegación del cerebro opera como una jerarquía interconectada donde las **células de rejilla** desempeñan un papel de soporte estructural. La relación más estudiada es la que mantienen con las [células de lugar](#) del hipocampo. Mientras que las células de rejilla proporcionan una métrica espacial universal y repetitiva, las células de lugar suelen disparar en una sola ubicación específica de un entorno dado. Se teoriza que la entrada convergente de múltiples células de rejilla con diferentes escalas y fases permite al hipocampo generar estas representaciones únicas y específicas del sitio, facilitando la distinción entre diferentes contextos espaciales.

Por otro lado, las células de dirección de la cabeza actúan como una "brújula interna", disparando solo cuando la cabeza del animal apunta en una dirección cardinal específica, independientemente de su ubicación. Estas células proporcionan la información de orientación necesaria para que la red de **células de rejilla** se alinee correctamente con el entorno físico. La interacción entre estos tipos celulares es bidireccional; si bien la dirección de la cabeza guía la orientación de la rejilla, la estructura de la rejilla ayuda a estabilizar la representación de la dirección a medida que el animal se desplaza por el espacio.

Finalmente, existen las células de borde o células de frontera, que disparan cuando el sujeto se encuentra cerca de los límites físicos de su entorno, como paredes o precipicios. Estas células proporcionan un anclaje externo crucial para las **células de rejilla**. Al detectar los límites del espacio, las células de borde envían señales correctivas que evitan que el mapa de rejilla se "deslice" o se distorsione debido a errores en la integración de la trayectoria. Esta sinergia entre

coordinadas internas (rejilla), orientaciones (dirección), límites (borde) y etiquetas específicas (lugar) constituye la arquitectura fundamental del mapa cognitivo.

7. Relevancia Clínica: El Papel en el Alzheimer y el Declive Cognitivo

La investigación sobre las **células de rejilla** ha cobrado una importancia vital en el ámbito de la medicina, particularmente en el estudio de la [enfermedad de Alzheimer](#). La corteza entorrinal es una de las primeras regiones cerebrales en sufrir neurodegeneración y acumulación de proteínas patológicas (como la proteína tau) en las etapas iniciales de la enfermedad. Dado que las células de rejilla residen en esta área, su disfunción se manifiesta tempranamente como una pérdida de la capacidad de orientación espacial, uno de los síntomas más comunes y debilitantes reportados por los pacientes antes del diagnóstico clínico formal.

Estudios recientes han demostrado que los adultos jóvenes con un alto riesgo genético de padecer Alzheimer (portadores del alelo APOE- ϵ 4) muestran una reducción en la estabilidad y la coherencia de sus patrones de **células de rejilla** décadas antes de que aparezcan los síntomas de pérdida de memoria. Estos hallazgos sugieren que las pruebas de navegación espacial, diseñadas específicamente para evaluar la integridad del sistema de rejilla, podrían servir como biomarcadores conductuales para la detección precoz de la enfermedad, permitiendo intervenciones mucho más tempranas y efectivas.

Además del Alzheimer, la degradación del sistema de **células de rejilla** se ha vinculado con el declive cognitivo normal asociado al envejecimiento. A medida que envejecemos, la precisión de la integración de trayectoria disminuye, lo que a menudo resulta en una mayor dificultad para navegar en entornos nuevos o complejos. Comprender cómo mantener la salud de estas redes neuronales a través de la estimulación cognitiva o intervenciones farmacológicas es un área de investigación activa que promete mejorar la calidad de vida de la población de edad avanzada al preservar su autonomía y movilidad.

8. Modelos Teóricos sobre el Origen de la Actividad de Rejilla

A pesar de su clara observación experimental, el mecanismo exacto por el cual las neuronas generan un patrón hexagonal sigue siendo objeto de intenso debate teórico. Existen dos modelos principales: el modelo de interferencia oscilatoria y el modelo de red atractora continua. El **modelo de interferencia oscilatoria** propone que los patrones de rejilla surgen de la interferencia entre diferentes ritmos intrínsecos de la célula (oscilaciones theta) cuya frecuencia es modulada por la velocidad del animal. La superposición de estas ondas crearía nodos de actividad que coinciden con la geometría hexagonal observada.

Por el contrario, el **modelo de red atractora continua** (CAN) sugiere que el patrón hexagonal es una propiedad emergente de la arquitectura de conectividad entre las neuronas de la corteza

entorrinal. En este modelo, las células están conectadas de tal manera que se inhiben mutuamente a ciertas distancias "sinápticas", lo que obliga a la actividad de la red a autoorganizarse en una estructura estable de picos de disparo. Cuando el animal se mueve, las señales de entrada de velocidad y dirección desplazan este estado estable (el atractor) a través de la red neuronal, reflejando el movimiento en el espacio físico.

Evidencias experimentales recientes parecen favorecer el modelo de red atractora, especialmente tras el descubrimiento de que las relaciones de fase entre las **células de rejilla** se mantienen constantes incluso cuando el patrón espacial se distorsiona o desaparece (por ejemplo, durante el sueño o en entornos sin luz). Sin embargo, es probable que ambos mecanismos coexistan o que la realidad biológica sea una síntesis de ambos, donde las oscilaciones proporcionan el marco temporal y la arquitectura de red garantiza la estabilidad geométrica del sistema.

9. Debates Actuales y Direcciones Futuras en la Neurociencia Espacial

Uno de los debates más fascinantes en la actualidad es si las **células de rejilla** están limitadas exclusivamente al espacio físico o si representan una métrica general para cualquier tipo de información organizada de forma continua. Investigaciones de vanguardia han sugerido que el cerebro utiliza códigos de tipo rejilla para navegar por "espacios conceptuales". Por ejemplo, se ha observado actividad similar a la de las rejillas cuando sujetos humanos navegan por dimensiones abstractas, como el cambio en las características visuales de un objeto o la jerarquía de relaciones sociales, lo que implicaría que las células de rejilla son la base de un sistema de organización del conocimiento mucho más general.

Otro punto de controversia reside en la plasticidad de las rejillas. Aunque inicialmente se pensó que eran rígidas y universales, estudios han mostrado que el patrón hexagonal puede deformarse significativamente en entornos con geometrías irregulares o cuando se introducen recompensas en lugares específicos. Esto plantea preguntas sobre hasta qué punto las **células de rejilla** proporcionan una métrica "pura" y cuánto están influenciadas por el valor semántico o emocional del entorno. La resolución de este dilema es crucial para entender cómo el cerebro equilibra la precisión matemática con la relevancia adaptativa.

El futuro de este campo se encamina hacia la integración de la inteligencia artificial y la robótica. Los ingenieros están utilizando algoritmos inspirados en las **células de rejilla** para desarrollar sistemas de navegación autónoma más eficientes que no dependan del GPS satelital. Al mismo tiempo, el uso de técnicas de imagen de calcio de alta resolución y optogenética permitirá a los científicos manipular estas células en tiempo real, abriendo la posibilidad de "escribir" información espacial directamente en el cerebro y profundizando nuestra comprensión sobre la naturaleza misma de la percepción y la realidad espacial.

Further Reading

[Wikipedia: Célula de rejilla \(Español\)](#)

[The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2014 - Official Site](#)

[Hafting et al. \(2005\): Microstructure of a spatial map in the entorhinal cortex - Nature](#)

[Moser et al. \(2014\): Grid Cells and Cortical Representation - Science](#)

[Wikipedia: Grid cell \(English - Comprehensive Technical Detail\)](#)

[The Emergence of Grid Cells: Lessons from Microcircuitry - Neuron](#)

ARABPSYCHOLOGY.COM