



PANOPTÉS
ESTUDIOS DE ACCESIBILIDAD UNIVERSAL
Y DERECHOS HUMANOS

Año 1 | Volumen 1 | Número 1 | Abril 2026





Revista PANOPTÉS ESTUDIOS DE ACCESIBILIDAD UNIVERSAL Y DERECHOS HUMANOS es una publicación científica de la Universidad Autónoma del Estado de México adscrita a los Estudios de Posgrado en Accesibilidad Universal. La revista invita a la reflexión, la problematización y la contrastación de conceptos e ideas, teniendo como objetivo publicar artículos originales de alta calidad sobre estudios transdisciplinarios en torno a la Accesibilidad Universal, atendiendo sus tres dimensiones: física-cognitiva, normativa y actitudinal.

Revista PANOPTÉS ESTUDIOS DE ACCESIBILIDAD UNIVERSAL Y DERECHOS HUMANOS de formato electrónico acoge diversas contribuciones inéditas del ámbito de la arquitectura, urbanismo, psicología, educación, derecho y derechos humanos, filosofía, humanidades, medicina, terapia física, entre otros, relacionados con la accesibilidad universal, entendida como la estrategia para alcanzar la inclusión en todos los ámbitos. Busca construir diálogos a través de una convocatoria abierta y permanente enfocada a investigadores, académicos, profesionales y estudiantes, para promover el intercambio y fortalecer la accesibilidad universal como propuesta transcompleja para no dejar a nadie atrás, en cumplimiento con los Objetivos del Desarrollo Sostenible. Los contenidos se seleccionan en consideración de la calidad, originalidad, pertinencia temática y rigor metodológico.

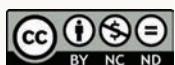
Revista PANOPTÉS ESTUDIOS DE ACCESIBILIDAD UNIVERSAL Y DERECHOS HUMANOS es de circulación semestral. Su distribución digital es de acceso universal, gratuito, libre y abierto. No se cobra ningún tipo de tasas, ni de publicación, ni de suscripción o visualización, los artículos están a disposición de los lectores sin tarifas ni pagos asociados. Los artículos se reciben en español. **La selección de artículos se realiza mediante el sistema de revisión por pares, en modalidad doble ciego.**

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido aquí publicado sin fines de lucro, siempre y cuando no se modifique, se cite la fuente completa y su dirección electrónica. Hecho en México Universidad Autónoma del Estado de México

Diseño de portada e interiores: Dr. en Dis. Azael Pérez Peláez

Revista Panoptés Estudios de Accesibilidad Universal y Derechos Humanos, Año 1, Número 1, Abril de 2026.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.



MARCO MULTINIVEL PARA EL ANÁLISIS DE MÓDULOS COGNITIVOS: HACIA UNA FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA DEL NEURODISEÑO

Azael Pérez-Peláez
Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Arquitectura y Diseño
freudspid@hotmail.com
ORCID 0000-0002-1616-1269

RESUMEN

El creciente uso del prefijo “neuro-” en disciplinas proyectuales —neuroarquitectura, neurodiseño industrial, neurodiseño gráfico— ha generado un conjunto de recomendaciones que, bajo una aparente fundamentación científica, suelen ocultar una profunda superficialidad conceptual. Este artículo propone un marco de análisis multinivel que, integrando los modelos de David Marr (niveles computacionales, algorítmico e implementacional) y Niko Tinbergen (causas funcional, filogenética, ontogenética y mecanicista), permite descomponer fenómenos de interacción persona-entorno en seis niveles explicativos interconectados. A través de la aplicación ejemplar al módulo de navegación espacial en el contexto del diseño de un sistema de señalética para estaciones intermodales, se demuestra cómo este marco obliga a especificar las decisiones de diseño en términos de función adaptativa, historia evolutiva, cómputo abstracto, estrategias conductuales, sustrato fisiológico y desarrollo ontogenético. Se discuten las implicaciones de esta aproximación para superar la superficialidad en las disciplinas del neurodiseño y para fundamentar una auténtica accesibilidad cognitiva que trascienda el mero añadido de señalética o pictogramas. Finalmente, se insinúa cómo este marco, al estar enraizado en la biología evolutiva, podría eventualmente contribuir a trascender el antropocentrismo tradicional del diseño, abriendo horizontes hacia la consideración de otras especies en la configuración de entornos compartidos.

Palabras Clave: Accesibilidad Cognitiva; Diseño Cognitivo; Modularidad de la Mente; Neuroarquitectura; Transdisciplina.

Multilevel Framework for the Analysis of Cognitive Modules: Towards a Scientific Foundation for Neurodesign

ABSTRACT

The increasing use of the prefix “neuro-” in design disciplines —neuroarchitecture, industrial neurodesign, graphic neurodesign— has generated a set of recommendations that, under an apparent scientific foundation, often conceal profound conceptual superficiality. This article proposes a multilevel analytical framework that, integrating David Marr’s models (computational, algorithmic, and implementational levels) and Niko Tinbergen’s causes (functional, phylogenetic, ontogenetic, and mechanistic), allows the decomposition of person-environment interaction phenomenon into six interconnected explanatory levels. Through an exemplary application to the spatial navigation module in the context of designing a signage system for intermodal stations, it demonstrates how this framework requires specifying design decisions in terms of adaptive function, evolutionary history, abstract computation, behavioral strategies, physiological substrate, and ontogenetic development. The implications of this approach for overcoming superficiality in neurodesign disciplines and for grounding authentic cognitive accessibility that transcends the mere addition of signage or pictograms are discussed. Finally, it hints at how this framework, being rooted in evolutionary biology, could eventually contribute to transcending traditional design anthropocentrism, opening horizons towards the consideration of other species in the configuration of shared environments.

Keywords: Neuroarchitecture; Cognitive Design; Modularity of Mind; Cognitive Accessibility; Transdisciplinarity.

INTRODUCCIÓN

En la última década, el prefijo “neuro-” ha experimentado una expansión sin precedentes en el ámbito del diseño y la creatividad (García Huertas, 2024). Términos como neuroarquitectura, neurodiseño industrial, neuromarketing o neurodiseño gráfico han permeado el discurso profesional y académico, prometiendo una revolución en la forma de concebir productos, espacios y comunicaciones a partir del conocimiento del cerebro humano y sus posibles aplicaciones en busca de la accesibilidad universal (Vilchis Esquivel, 2024). Esta tendencia responde a una demanda legítima: conectar la práctica proyectual con la creciente evidencia sobre cómo la amplia diversidad de los seres humanos percibe, procesan y responden a su entorno material y simbólico.

Sin embargo, tras un examen riguroso de la literatura y las aplicaciones prácticas, emerge un panorama preocupante. Lo que se presenta como “diseño basado en neurociencia” suele reducirse a un repertorio de recomendaciones desconectadas de su fundamento teórico (Muñoz, 2018). Un análisis detallado revela con frecuencia una operación de traducción superficial: hallazgos aislados de neuroimagen se convierten en justificaciones *ex post facto* para intuiciones de diseño preexistentes, o conceptos psicológicos complejos se simplifican en una euforia de neurocientificismo sólo con retórica o con fines mercadológicos (García-Albea, 2011). Así, la neuroarquitectura corre el riesgo de quedar reducida a una colección de “consejos para una iluminación acogedora” o “estrategias de disposición del mobiliario”, mientras que el neurodiseño industrial se diluye en recomendaciones sobre texturas “agradables al tacto” sin especificar los mecanismos perceptivos, computacionales y evolutivos que subyacen a dicha preferencia.

Esta superficialidad no es trivial. Tiene consecuencias epistemológicas y prácticas. Por un lado, impide la acumulación de conocimiento genuino, al carecer de un marco teórico que permita formular hipótesis comprobables y generalizar resultados más allá del caso particular. Por otro, genera escepticismo tanto en la comunidad científica como en la profesional, que ven en estas aproximaciones una moda pasajera más que una transformación disciplinar profunda (García-Albea, 2011). El resultado paradójico es que el diálogo entre ciencias cognitivas y diseño, teniendo un potencial enorme, permanece en un estado de desarrollo embrionario, lastrado por la falta de rigor metodológico y conceptual.

Para ilustrar esta problemática, considérense dos ejemplos cotidianos que cualquier diseñador podría enfrentar. El primero proviene del diseño de interfaces digitales orientados a la accesibilidad universal: al desarrollar una aplicación de banca móvil, un equipo de diseñadores decide, basándose en un estudio de neuromarketing que menciona la “activación de la amígdala ante estímulos amenazantes”, que los mensajes de error deben mostrarse en tonos rojos. La justificación “neuro” parece sólida, pero al examinarla con detenimiento, las preguntas fundamentales quedan sin respuesta: ¿Qué problema adaptativo específico resuelve esa respuesta de alerta? ¿Qué información visual (brightness, saturación, contraste) procesa realmente el sistema visual para desencadenar esa reacción? ¿Cómo interactúa ese mecanismo rápido e inconsciente con el procesamiento consciente y reflexivo necesario para que el usuario comprenda y solucione el error? ¿La respuesta es universal o está modulada

por la experiencia previa del usuario con interfaces bancarias? Sin un marco que obligue a especificar estas dimensiones, la decisión de diseño permanece en el terreno de la intuición, aunque se vista con el lenguaje de la neurociencia.

El segundo ejemplo procede del diseño de productos físicos. Un fabricante de mobiliario urbano, inspirado por las tendencias del neurodiseño inclusivo, decide incorporar formas curvas y biomórficas en sus muebles para espacios públicos, argumentando que “activan el sistema de recompensa” y reducen el estrés. La afirmación puede ser cierta, pero carece de especificidad: ¿Qué cálculo realiza exactamente el sistema perceptivo al evaluar una forma curva? ¿Qué reglas algorítmicas (simetría, proporción áurea, suavidad de contornos) implementan ese cálculo? ¿Cómo se relaciona esta preferencia estética con otras funciones adaptativas más primarias, como la necesidad de apoyo lumbar para mantener la homeostasis postural (sistema alostático) o la necesidad de configurar el espacio interpersonal para facilitar la conversación (sistema pragmático-social)? Al ignorar estas preguntas, el diseño corre el riesgo de priorizar una dimensión (la estética emocional) a expensas de otras igualmente relevantes para la experiencia del usuario.

Frente a este escenario, el presente artículo propone un cambio de paradigma. Sostenemos que para que el diálogo entre ciencias cognitivas y diseño sea verdaderamente fructífero, es necesario abandonar la lógica de la aplicación directa de hallazgos aislados y adoptar, en su lugar, un marco de análisis multinivel que permita descomponer la complejidad de la cognición humana en niveles explicativos complementarios. Este marco, que sintetiza las contribuciones fundamentales del neurocientífico David Marr (1982) sobre los niveles de procesamiento de información y del etólogo Niko Tinbergen (1963) sobre las causas del comportamiento, nos proporciona una herramienta heurística para analizar cualquier fenómeno de interacción persona-entorno a través de seis preguntas interconectadas: su función adaptativa, su historia evolutiva, su lógica computacional, su expresión conductual, su sustrato fisiológico y su desarrollo ontogenético.

La tesis central de este trabajo es que este marco hexagonal, al estructurar el análisis en niveles irreducibles pero complementarios, actúa como un antídoto contra la superficialidad. Obliga a que cualquier afirmación sobre el impacto cognitivo de un diseño sea especificada en términos de mecanismos, no de meras correlaciones. Transforma al diseñador de un aplicador de recetas en un formulador de hipótesis comprobables, capaz de predecir y evaluar el efecto de sus decisiones sobre los sistemas psicobiológicos de los usuarios.

El artículo se estructura en cinco secciones. Tras esta introducción, el marco teórico desarrolla los fundamentos de la modularidad cognitiva evolucionada y presenta los modelos de Marr y Tinbergen como pilares de nuestra propuesta. La tercera sección constituye el núcleo metodológico del trabajo, donde se presenta la síntesis de ambos marcos en un modelo de seis niveles y se demuestra su aplicabilidad mediante el análisis ejemplar de un módulo cognitivo central en la experiencia del diseño: el módulo de navegación y mapeo espacial. En la cuarta sección se discuten las implicaciones de este marco para superar la superficialidad en las disciplinas del neurodiseño y, de manera especial, para fundamentar una auténtica accesibilidad cog-

nitiva que trascienda el mero añadido de señalética o pictogramas. Finalmente, las conclusiones sintetizan la contribución del trabajo y esbozan futuras líneas de desarrollo teórico y aplicado.

MARCO TEÓRICO

Para abordar la superficialidad que caracteriza a gran parte de las aproximaciones actuales al neurodiseño, es necesario reconstruir el andamiaje conceptual desde sus cimientos. Nuestro marco teórico presenta los tres pilares que sustentan nuestra propuesta: en primer lugar, la noción de modularidad de la mente como arquitectura funcional del procesamiento cognitivo; en segundo lugar, el marco de niveles de análisis de David Marr para sistemas de procesamiento de información; y, en tercer lugar, las cuatro preguntas de Niko Tinbergen para una explicación biológica completa. La integración de estos tres pilares constituirá la herramienta metodológica central que presentaremos en la sección siguiente.

1. La mente modular como arquitectura funcional

El punto de partida indispensable es la teoría de la modularidad de la mente, formulada de manera seminal por el filósofo y científico cognitivo Jerry Fodor en *The Modularity of Mind* (1983). Fodor propuso que ciertos sistemas de entrada (input systems) —principalmente los perceptivos y lingüísticos— poseen una arquitectura especializada con propiedades distintivas. Tres de ellas resultan particularmente relevantes para el diseño:

La especialización de dominio (domain specificity) implica que un módulo cognitivo está diseñado para procesar un tipo específico de información del entorno, resolviendo una clase restringida de problemas (Robbins & Drayson, 2025). No es un procesador universal, sino una herramienta de precisión evolucionada para una tarea concreta. En el ámbito del diseño de interfaces, por ejemplo, el sistema de procesamiento facial opera de manera especializada: reconoce rostros en décimas de segundo, incluso en condiciones de baja iluminación o con información parcial, antes de que cualquier procesamiento consciente intervenga. Esta especialización explica por qué ciertos diseños —como los iconos de perfil en aplicaciones de mensajería— activan respuestas tan rápidas y universales.

La encapsulación informacional (informational encapsulation) se refiere a la autonomía relativa del módulo respecto de las creencias, deseos o conocimientos generales (Fodor, 1983). Un módulo recibe sus inputs específicos, los procesa con sus reglas propias y produce un output, sin ser corregido en tiempo real por lo que “pensamos” o “sabemos”. Las ilusiones perceptivas en el diseño gráfico son la demostración perfecta: podemos saber racionalmente que dos círculos concéntricos tienen el mismo tamaño (como en la ilusión de Ebbinghaus), pero el módulo de procesamiento visual de la dimensión nos entregará de forma encapsulada e incorregible la percepción de que uno es más grande rodeado de círculos pequeños que cuando está rodeado de círculos grandes (Roberts y otros, 2005). El módulo no “escucha” a nuestro conocimiento conceptual.

La automaticidad (mandatoriness) implica que los módulos son obligatorios en su operación. Una vez presentes los estímulos adecuados dentro de su dominio, el módulo se dispara de forma involuntaria e inevitable (Fodor, 1983). No podemos “decidir” no procesar una cara como una cara, o no percibir la profundidad en una escena con estereopsis. En el diseño de productos, esto tiene implicaciones profundas: al entrar en un espacio nuevo, no podemos evitar que nuestro sistema de navegación comience a registrar hitos y a establecer un marco de referencia; es un proceso automático, no una elección. De igual modo, la evaluación inicial de seguridad o confort ante un objeto o espacio ocurre en milisegundos, antes de que podamos formular un juicio estético o funcional sobre él.

Sin embargo, el modelo fodoriano, siendo fundacional, presentaba limitaciones para una teoría del diseño. Su visión era restringida (a sistemas de entrada) y profundamente nativista, postulando módulos innatos y fijos (Zhang, 2026). Para dar cuenta de la increíble flexibilidad, aprendizaje y diversidad cultural que caracteriza la interacción humana con productos y entornos, necesitamos una extensión evolucionista de este concepto.

Esta extensión provino de la psicología evolucionista, liderada por John Tooby y Leda Cosmides, quienes propusieron la noción de mecanismos psicológicos evolucionados (evolved psychological mechanisms) (Tooby & Cosmides, 2015). Desde esta perspectiva, la mente no es un procesador de propósito general, sino un conjunto de mecanismos especializados, cada uno diseñado por selección natural para resolver un problema adaptativo particular que enfrentaron nuestros ancestros en su entorno de adaptación evolutiva. La metáfora que utilizan es ilustrativa: la mente es como una navaja suiza, donde cada herramienta está exquisitamente diseñada para una función específica, no como una cuchilla única de propósito general.

Esta reformulación tiene implicaciones cruciales para el diseño. Los mecanismos psicológicos evolucionados no procesan información en abstracto; resuelven problemas concretos de supervivencia y reproducción: detectar amenazas, encontrar refugio, identificar posibles parejas, cooperar con congéneres, navegar por el territorio. Cuando un diseñador crea un producto o espacio que resulta intuitivamente atractivo, funcional o comprensible, está —sin saberlo— interactuando con estos mecanismos profundos. La preferencia por configuraciones que ofrecen protección dorsal y campo visual despejado (el clásico “refugio-prospecto” de la teoría del paisaje) no es un capricho estético, sino la expresión de un mecanismo evolucionado para evaluar la seguridad de un hábitat (Albuquerque, 2025).

Para los fines de este trabajo, adoptamos esta noción ampliada de modularidad, entendiendo los módulos cognitivos funcionales como sistemas neurocognitivos distribuidos, especializados en resolver problemas adaptativos recurrentes ligados a la interacción con el entorno material y social, y caracterizados por una arquitectura que integra percepción, procesamiento y acción. Esta definición nos permite, como se verá más adelante, analizar fenómenos de diseño —desde la usabilidad de una interfaz hasta la comodidad de un asiento— como emergentes de la activación de estos sistemas.

2. Los niveles de análisis de David Marr: del qué al cómo y al dónde

El segundo pilar de nuestro marco proviene de la obra del neurocientífico computacional David Marr. En su influyente libro *Vision* (1982), Marr propuso que cualquier sistema de procesamiento de información —como la visión, o por extensión, cualquier módulo cognitivo— debe entenderse en tres niveles complementarios e irreducibles (Marr, 1982). Esta distinción es fundamental para evitar el tipo de reduccionismo que criticamos en la introducción.

El nivel computacional responde a la pregunta por el qué y el por qué: ¿Qué problema abstracto resuelve el sistema y por qué lo resuelve? Se especifica la lógica del cálculo, las entradas y salidas del sistema, y su finalidad última (Hardcastle & Hardcastle, 2015). Por ejemplo, en el diseño de una señalética de evacuación, el nivel computacional preguntaría: ¿Qué información del entorno debe procesar el sistema de navegación de un usuario para encontrar una salida de emergencia? La respuesta implicaría especificar que el sistema necesita identificar rutas despejadas, reconocer símbolos de salida y evaluar la distancia relativa a cada opción.

El nivel algorítmico responde a la pregunta por el cómo: ¿Cómo realiza ese cálculo? Se describen los procedimientos, reglas y representaciones específicas que implementan la función computacional. Siguiendo con el ejemplo de la señalética, el nivel algorítmico describiría las estrategias concretas que un usuario emplea: seguir las flechas, memorizar puntos de referencia en el recorrido, o utilizar la información de mapas de “usted está aquí”. Estas estrategias son los algoritmos que el sistema cognitivo ejecuta, y pueden ser descritas independientemente de su soporte físico (Fodor, 1983).

El nivel implementacional responde a la pregunta por el dónde y el con qué: ¿Con qué hardware físico se materializa el algoritmo? Se identifica el sustrato biológico (neuronas, sinapsis, circuitos) o artificial que ejecuta el algoritmo. En nuestro ejemplo, esto implicaría describir la activación del hipocampo y las células de lugar durante la navegación, o el papel de la corteza prefrontal en la toma de decisiones sobre rutas alternativas (ibidem).

La contribución fundamental de Marr es advertirnos contra el error de confundir estos niveles. Explicar un comportamiento (nivel algorítmico) citando solo la activación de una región cerebral (nivel implementacional) es una falacia explicativa, pues omite la comprensión de la función que dicho comportamiento cumple y de las reglas que lo estructuran. Esta advertencia es particularmente relevante para las aplicaciones superficiales del neurodiseño, que con frecuencia saltan directamente del hallazgo neurofisiológico a la recomendación de diseño, sin especificar el nivel algorítmico que media entre ambos.

3. Las cuatro preguntas de Niko Tinbergen: la complejidad de la explicación biológica

El tercer pilar proviene de la etología, de la mano del premio Nobel Niko Tinbergen. En su influyente artículo “On aims and methods of ethology” (1963), Tinbergen argumentó que una explicación completa de un rasgo o comportamiento biológico requiere responder a cuatro interrogantes distintas, organizadas en dos ejes: el eje de las causas

próximas versus las causas últimas, y el eje de la explicación estática versus la dinámica (Tinbergen, 1963).

La causa próxima (causation o mechanism) se pregunta por los mecanismos inmediatos: ¿Cuáles son los estímulos desencadenantes y los procesos fisiológicos, neurales y hormonales que producen el comportamiento? Es la explicación del cómo aquí y ahora (Caponi, 2024).

La función (function o adaptation) se pregunta por el valor de supervivencia: ¿Qué ventaja adaptativa confiere este comportamiento? ¿Cómo incrementa la aptitud (fitness) del organismo en su entorno? Es la explicación del para qué último (ibidem).

La ontogenia (ontogeny o development) se pregunta por el desarrollo: ¿Cómo surge y cambia este comportamiento a lo largo de la vida del individuo, desde la gestación hasta la senescencia, como resultado de la interacción entre genes y experiencia? (ibidem)

La filogenia (phylogeny o evolution) se pregunta por la historia evolutiva: ¿Cuál es la trayectoria evolutiva de este comportamiento? ¿Cómo ha cambiado en el linaje de la especie y cuál es su distribución en especies emparentadas? (ibidem)

La genialidad de Tinbergen reside en mostrar que la pregunta "¿por qué?" admite cuatro respuestas igualmente válidas y necesarias. Preguntar por qué un usuario prefiere sentarse en un banco con respaldo alto antes que en un taburete sin respaldo puede responderse: por la activación de mecanismos propioceptivos que señalan seguridad (causa próxima), porque reduce la carga alostática al proteger la espalda (función), porque ha aprendido desde la infancia a asociar superficies de apoyo con descanso (ontogenia), y porque este comportamiento tiene raíces en conductas de refugio compartidas con otros primates (filogenia).

4. Hacia una síntesis necesaria

Los marcos de Marr y Tinbergen, aunque desarrollados independientemente y para propósitos distintos, presentan una profunda complementariedad que ha sido señalada por diversos autores (Bateson & Laland, 2013, Frankenhuys y otros, 2013). El nivel implementacional de Marr encuentra su correspondencia en la causa próxima de Tinbergen (el sustrato fisiológico). El nivel computacional de Marr se alinea con la pregunta por la función de Tinbergen (el propósito adaptativo del cálculo). Y el nivel algorítmico de Marr puede enriquecerse al considerar su desarrollo ontogenético y su historia filogenética.

Esta complementariedad sugiere la posibilidad de una síntesis integradora. Como han argumentado diversos autores en el emergente campo de la neurociencia cognitiva evolucionista, una explicación completa de cualquier fenómeno cognitivo debe articular tanto los niveles de procesamiento de Marr como las causas de Tinbergen. Esta es precisamente la propuesta central de este trabajo: desarrollar un marco unificado de seis niveles de explicación que integre ambas tradiciones, proporcionando así una herramienta analítica lo suficientemente rica para abordar la complejidad de la interacción entre los seres humanos y los entornos, productos y comunicaciones que diseñamos.

En la siguiente sección sobre la metodología, presentamos esta síntesis con detalle y demostramos su aplicabilidad mediante el análisis ejemplar del módulo de navegación, un sistema cognitivo particularmente relevante para la accesibilidad universal en entornos urbanos, edificios y sistemas de señalización.

METODOLOGÍA: UN MARCO HEXAGONAL PARA EL ANÁLISIS DE MÓDULOS COGNITIVOS

La integración de los marcos de Marr y Tinbergen no es una mera yuxtaposición, sino una síntesis creativa que genera una herramienta analítica de mayor potencia explicativa. Cada nivel de procesamiento de Marr (computacional, algorítmico, implementacional) puede ser enriquecido al incorporar las preguntas de Tinbergen sobre función, filogenia y ontogenia. Recíprocamente, las causas de Tinbergen adquieren mayor precisión al ser especificadas en términos de los niveles de procesamiento de Marr. El resultado es un modelo hexagonal de explicación que permite descomponer cualquier fenómeno de interacción persona-entorno en seis dimensiones interconectadas.

1. Los seis niveles de explicación: definición operativa

La Figura 1 presenta la síntesis integrada en seis niveles de análisis, adaptando los marcos fundacionales al dominio del diseño y la accesibilidad. Cada nivel se define mediante una pregunta guía que orienta el análisis, especificando su origen en los marcos de Marr y Tinbergen y su finalidad en la investigación aplicada.

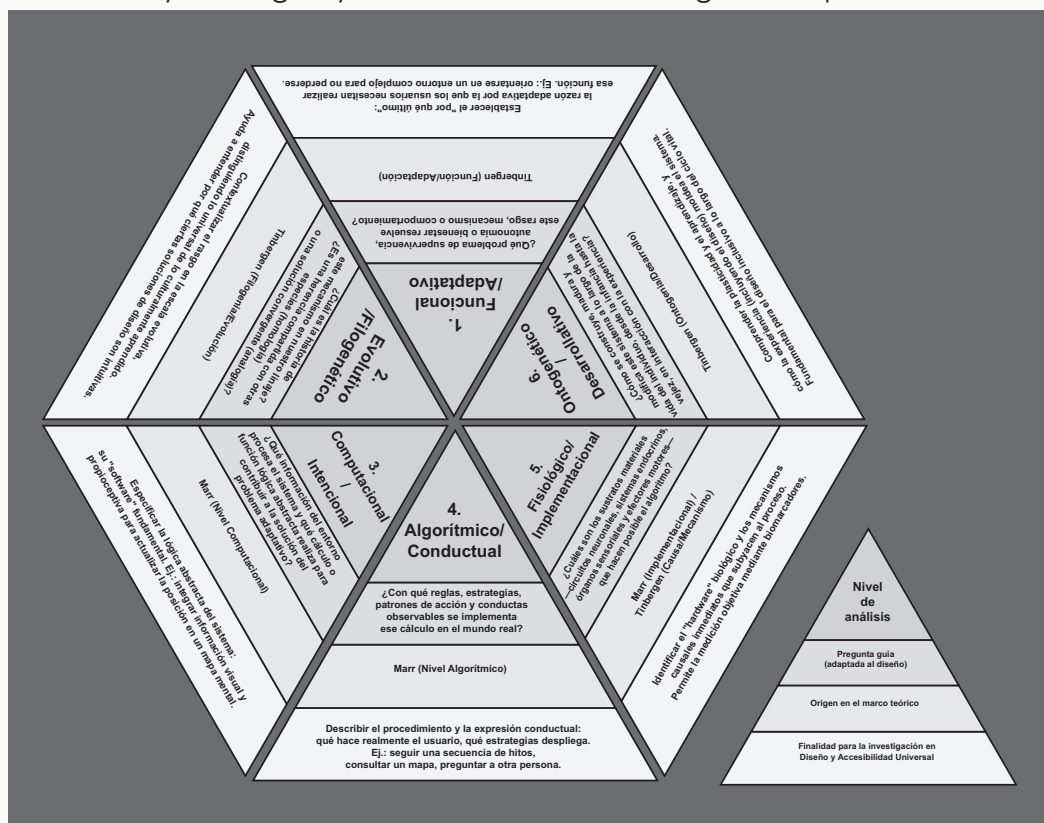


Figura 1. Síntesis integrada de los marcos de Marr y Tinbergen: Seis niveles de explicación para el análisis de módulos cognitivos en diseño. Fuente: Elaboración propia.

Este marco no debe entenderse como una secuencia rígida de pasos a seguir, sino como una red de interrogaciones interconectadas. La respuesta en un nivel informa y restringe las respuestas posibles en los otros, generando una explicación coherente y multifacética. Su potencia heurística reside en que impide, por construcción, las explicaciones reduccionistas o incompletas. Una afirmación como “este diseño reduce el estrés porque activa el sistema parasimpático” es insuficiente si no especifica el problema adaptativo que resuelve (N1), el cálculo de información que realiza (N3), las conductas observables que lo demuestran (N4) y cómo esa respuesta se ha desarrollado en el usuario (N6).

2. Aplicación demostrativa: el módulo de navegación y mapeo espacial

Para ilustrar el poder explicativo del marco, aplicaremos los seis niveles al análisis de un módulo cognitivo central en la experiencia del diseño y la accesibilidad universal: el módulo de navegación y mapeo espacial. Este sistema, responsable de nuestra capacidad para orientarnos y desplazarnos en el entorno, es particularmente relevante para el diseño de espacios públicos, sistemas de señalética, entornos de transporte y productos que requieren desplazamiento o búsqueda.

El ejemplo que desarrollaremos a continuación corresponde al diseño de un sistema de señalética para un centro de transporte intermodal (estación de tren, metro y autobús), un entorno crítico para la accesibilidad cognitiva donde la desorientación puede tener consecuencias graves —desde pérdidas de tiempo hasta la exclusión de personas con deterioro cognitivo, mayores o visitantes extranjeros—. En la figura 2 se observa la síntesis por niveles que desarrollaremos a continuación.

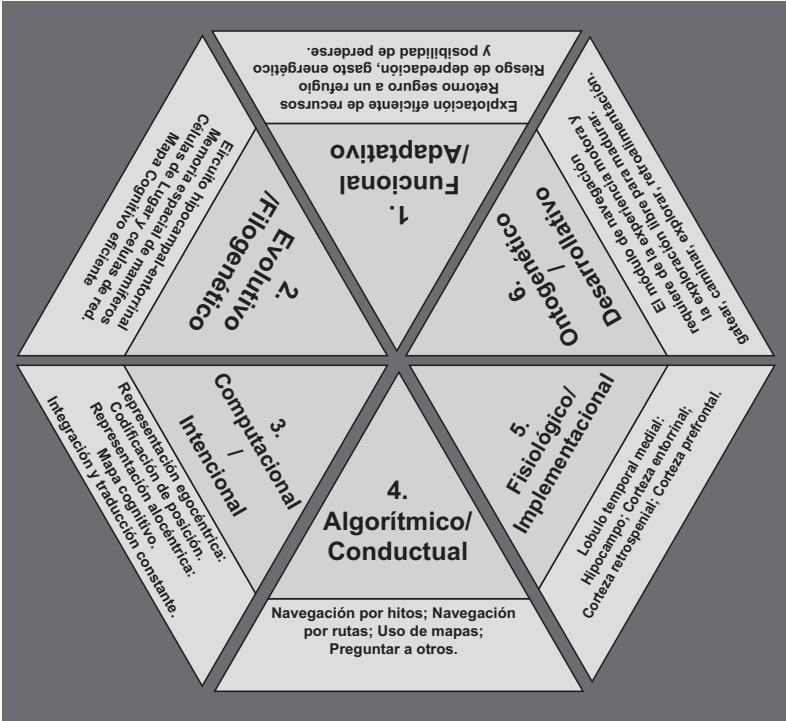


Figura 2. Aplicación demostrativa del marco hexagonal multinivel en el módulo de navegación y mapeo espacial para el caso planteado. Fuente: elaboración propia

Nivel 1: Funcional/Adaptativo

Pregunta: ¿Qué problema de supervivencia, autonomía o bienestar resuelve la capacidad de navegación?

Respuesta aplicada: El problema adaptativo central que resuelve este módulo es la explotación eficiente de recursos dispersos en un territorio y el retorno seguro a un refugio o base, minimizando simultáneamente tres costos críticos: el riesgo de depredación (o, en el contexto moderno, el riesgo de exposición a peligros urbanos), el gasto energético y la probabilidad de perderse. En el entorno de una estación intermodal, esto se traduce en la capacidad de localizar andenes, taquillas, salidas y servicios (baños, cafetería) de manera eficiente, reduciendo la ansiedad y permitiendo que el usuario centre su atención en otras tareas (como la compra de billetes o la comunicación con acompañantes). La función adaptativa última es la autonomía: poder desplazarse sin depender de asistencia externa.

Nivel 2: Evolutivo/Filogenético

Pregunta: ¿Cuál es la historia evolutiva de este mecanismo? ¿Es compartido con otras especies?

Respuesta aplicada: El sustrato neural central de este módulo presenta una homología profunda en el reino animal. El circuito hipocampal-entorrinal, esencial para la memoria espacial, es una de las estructuras más conservadas en la filogenia de los mamíferos. Las células de lugar (place cells) en el hipocampo y las células de red (grid cells) en la corteza entorrinal, descubrimiento galardonado con el Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 2014, constituyen un sistema de posicionamiento interno que opera de manera similar en roedores, primates y humanos. Esta conservación evolutiva demuestra que la necesidad de un mapa cognitivo eficiente es una presión selectiva tan poderosa que ha esculpido circuitos neurales análogos en linajes muy distintos. Para el diseño de la estación intermodal, esto implica que la capacidad de orientación no es una adquisición cultural, sino una dotación biológica universal que debe ser tomada en cuenta independientemente de la formación o procedencia del usuario.

Nivel 3: Computacional/Intencional

Pregunta: ¿Qué información del entorno procesa el sistema y qué cálculo abstracto realiza?

Respuesta aplicada: El núcleo del procesamiento computacional es la integración y traducción constante entre dos sistemas de referencia:

- **Representación egocéntrica** (de primera persona): codifica la posición de los objetos en relación con el propio cuerpo ("la salida está a mi izquierda").
- **Representación allocéntrica** (de tercera persona): construye un mapa cognitivo independiente del punto de vista propio ("la salida está al norte del vestíbulo principal").

El cálculo fundamental consiste en mantener actualizada la posición propia en el mapa alocóentrico mediante la integración de señales propioceptivas y visuales (path integration), y en traducir los objetivos ("quiero ir al andén 5") en secuencias de acciones egocéntricas ("girar a la izquierda en el próximo cruce"). En la estación intermodal, el diseño debe proporcionar la información necesaria para que este cálculo se realice con la mínima carga cognitiva: hitos visuales que permitan anclar el mapa alocóentrico, secuencias espaciales coherentes que faciliten la actualización egocéntrica, y correspondencia inequívoca entre la señalética y la configuración espacial real.

Nivel 4: Algorítmico/Conductual

Pregunta: ¿Con qué reglas, estrategias y conductas observables se implementa ese cálculo?

Respuesta aplicada: Los algoritmos computacionales se manifiestan en estrategias de navegación observables y, en gran medida, universales:

- **Navegación por hitos:** el usuario sigue una secuencia de puntos de referencia distintivos ("primero llego a la taquilla central, luego giro hacia el gran reloj, y detrás están los andenes").
- **Navegación por rutas:** el usuario memoriza y sigue un camino específico, con giros y decisiones asociados a estímulos concretos.
- **Uso de mapas explícitos:** el usuario consulta planos de "usted está aquí" y los traduce en acciones.
- **Preguntar a otras personas:** estrategia social de apoyo cuando las anteriores fallan.

En la estación intermodal, el diseño debe facilitar estas estrategias mediante:

1. **Hitos arquitectónicos y gráficos:** elementos singulares (una escultura, un cambio cromático significativo, una instalación lumínica) que funcionen como anclas en el mapa cognitivo.
2. **Secuencias señalizadas claras:** continuidad visual en la información, evitando interrupciones o ambigüedades.
3. **Mapas "usted está aquí"** correctamente orientados (alineados con el espacio real) y ubicados en puntos de decisión (nodos).
4. **Códigos de color y numeración** que permitan la navegación por rutas incluso a usuarios con dificultades de lectura.

Nivel 5: Fisiológico/Implementacional

Pregunta: ¿Cuál es el sustrato material que hace posible el algoritmo?

Respuesta aplicada: Este módulo se implementa en una red de estructuras altamente especializadas en el lóbulo temporal medial:

- **Hipocampo:** alberga las células de lugar, que se activan selectivamente cuando el individuo se encuentra en una ubicación específica.
- **Corteza entorrinal:** contiene las células de red, que funcionan como un sistema de coordenadas neural para el espacio.
- **Corteza retrosplenial:** integra información entre perspectivas egocéntricas y alocéntricas.
- **Corteza prefrontal:** interviene en la planificación de rutas y la toma de decisiones en puntos de conflicto.

La actividad de este sistema es medible mediante biomarcadores: la resonancia magnética funcional (fMRI) muestra activación hipocampal durante tareas de navegación en entornos virtuales; el electroencefalograma (EEG) captura oscilaciones theta asociadas al movimiento y la exploración espacial; el seguimiento ocular (eye-tracking) revela cómo los hitos visuales son escaneados y utilizados. Estos biomarcadores permiten una evaluación objetiva de la eficacia del diseño de la estación: si los usuarios muestran patrones de mirada erráticos, alta activación prefrontal (indicando conflicto) o respuestas de estrés fisiológico (aumento de cortisol, disminución de la variabilidad cardíaca), el diseño está fallando en su función de apoyo a la navegación.

Nivel 6: Ontogenético/Desarrollativo

Pregunta: ¿Cómo se construye y modifica este sistema a lo largo de la vida?

Respuesta aplicada: El módulo de navegación no nace completamente desarrollado; requiere de la experiencia motora y la exploración libre para madurar. Los niños desarrollan su sentido de la orientación al gatear, caminar y explorar su entorno, integrando retroalimentación sensorial y motora para refinar sus mapas cognitivos. Existen períodos sensibles en el desarrollo infantil donde la exposición a entornos espacialmente ricos es particularmente impactante.

Para el diseño de la estación intermodal, este nivel tiene implicaciones cruciales para la accesibilidad universal:

- **Usuarios infantiles:** necesitan sistemas de señalización que contemplen su altura visual y su capacidad de lectura emergente (uso de iconos, colores, formas).
- **Usuarios mayores:** pueden experimentar declive en la función hipocampal y en la capacidad de integrar nueva información espacial; requieren redundancia informativa, hitos muy contrastados y tiempos suficientes para la toma de decisiones.
- **Personas con deterioro cognitivo** (ej., demencia tipo Alzheimer): la degeneración temprana del hipocampo afecta gravemente la navegación; el diseño debe minimizar la necesidad de mapas cognitivos complejos, ofreciendo rutas únicas, claras y altamente redundantes, y evitando cambios de nivel o decisiones múltiples.
- **Personas con diversidad funcional visual:** requieren información táctil y sonora

que sustituya o complemente la información visual para alimentar el sistema de navegación.

3. Síntesis del análisis

La aplicación de los seis niveles al módulo de navegación en el contexto de una estación intermodal revela la complejidad del fenómeno y la necesidad de un abordaje integrado. Un diseñador que solo considerara el nivel conductual (N4) podría colocar señalética en puntos estratégicos, pero ignoraría que el sistema de procesamiento subyacente tiene una arquitectura evolucionada (N2) que opera con reglas computacionales específicas (N3) y un sustrato neural concreto (N5). Del mismo modo, un diseñador que solo considerara el nivel funcional (N1) sabría que la orientación es importante, pero carecería de las herramientas para traducir esa función en variables de diseño concretas.

La potencia del marco reside precisamente en su capacidad para generar preguntas de investigación y criterios de evaluación en cada nivel, y para articular las respuestas en una explicación coherente. En la sección siguiente discutiremos cómo este marco actúa como antídoto contra la superficialidad y cuáles son sus implicaciones para una auténtica accesibilidad cognitiva.

DISCUSIÓN

El marco hexagonal de análisis presentado en la sección anterior constituye una respuesta directa al problema de la superficialidad que identificamos al inicio de este trabajo. En esta sección discutimos, en primer lugar, cómo el marco actúa como antídoto contra las aproximaciones reduccionistas en el neurodiseño; en segundo lugar, exploramos sus implicaciones para una auténtica accesibilidad cognitiva; y finalmente, esbozamos algunos horizontes que esta aproximación abre, incluyendo la posibilidad de trascender el antropocentrismo que tradicionalmente ha limitado el pensamiento del diseño.

1. El marco hexagonal como antídoto contra la superficialidad

La principal virtud del modelo de seis niveles es que impide, por construcción, las explicaciones incompletas o meramente correlacionales. Recordemos los ejemplos de la introducción: la aplicación bancaria que utiliza rojo en mensajes de error apelando a la "activación de la amígdala", o el mobiliario urbano con formas curvas que supuestamente "activan el sistema de recompensa". Un diseñador formado en el marco hexagonal reconocería inmediatamente la insuficiencia de estas justificaciones y formularía las preguntas que faltan.

Frente al caso de la interfaz bancaria, el marco obligaría a especificar: ¿Qué problema adaptativo concreto resuelve esa respuesta de alerta (N1)? ¿Acaso la urgencia de un error bancario requiere el mismo tipo de procesamiento rápido e inconsciente que una amenaza física en la sabana? ¿Qué información visual específica (brillo, saturación, contraste, posición en el campo visual) procesa realmente el sistema para desencadenar esa reacción (N3)? ¿Cómo interactúa ese mecanismo rápido con el

procesamiento consciente que el usuario necesita para comprender y solucionar el error (N4)? ¿La respuesta es universal o está modulada por la experiencia previa del usuario con interfaces bancarias y por su perfil neurocognitivo (N6)? Sin responder a estas preguntas, la decisión de diseño permanece en el terreno de la intuición, aunque se vista con el lenguaje de la neurociencia.

En el caso del mobiliario urbano, el marco exigiría ir más allá de la mera afirmación sobre la “activación del sistema de recompensa”. Las preguntas necesarias serían: ¿Qué cálculo realiza el sistema perceptivo al evaluar una forma curva (N3)? ¿Qué reglas algorítmicas —simetría, proporción, suavidad de contornos, regularidad fractal— implementan ese cálculo (N4)? ¿Cómo se relaciona esta preferencia estética con otras funciones adaptativas más primarias, como la necesidad de apoyo lumbar para mantener la homeostasis postural (sistema alostático) o la necesidad de configurar el espacio interpersonal para facilitar la conversación (sistema pragmático-social) (N1)? ¿La preferencia por las curvas es innata o se desarrolla con la exposición cultural (N6)? Al ignorar estas preguntas, el diseño corre el riesgo de priorizar una dimensión a expensas de otras igualmente relevantes para la experiencia del usuario.

La superficialidad, desde la perspectiva de este marco, no es solo una cuestión de falta de rigor académico; tiene consecuencias prácticas. Un diseño basado en correlaciones aisladas puede funcionar en contextos controlados y fallar estrepitosamente en la complejidad del mundo real, precisamente porque ignora la interacción entre los diferentes niveles y sistemas. Por el contrario, un diseño fundamentado en el análisis multinivel genera hipótesis más robustas y, consecuentemente, soluciones más resilientes y universalmente accesibles.

2. Implicaciones para la accesibilidad cognitiva

La conexión entre este marco y la accesibilidad universal es directa y profunda. Tradicionalmente, la accesibilidad cognitiva se ha abordado desde una perspectiva fundamentalmente algorítmica (N4): se trata de simplificar, añadir señalética, utilizar pictogramas, reducir la complejidad textual. Estas intervenciones son necesarias, pero resultan insuficientes si no se comprenden los niveles más profundos que las sustentan.

Un entorno es genuinamente accesible desde el punto de vista cognitivo cuando dialoga adecuadamente con los módulos evolucionados que todos los seres humanos compartimos, considerando además la variabilidad en su desarrollo y funcionamiento. Retomando el ejemplo de la estación intermodal, un diseño accesible no es solo aquel que coloca pictogramas normalizados en lugares visibles. Es aquel que:

- Proporciona hitos visuales, táctiles y sonoros que permiten anclar el mapa cognitivo alocéntrico (N3, N4).
- Ofrece redundancia informativa para compensar posibles déficits en cualquiera de los canales sensoriales (N5).
- Considera que los niños, los mayores y las personas con deterioro cognitivo tienen diferentes capacidades de integración espacial y diferentes historias de desarrollo (N6).

- Minimiza la carga alostática (N1) evitando entornos sensorialmente caóticos que eleven los niveles de estrés e impidan el procesamiento eficiente de la información espacial.

Este enfoque revela que la accesibilidad cognitiva no es un “añadido” al diseño, sino una propiedad emergente de un diseño que respeta la arquitectura de la mente. Más aún, el marco sugiere que las soluciones verdaderamente inclusivas serán aquellas que, al comprender los mecanismos profundos, ofrezcan flexibilidad y redundancia suficientes para acoger la diversidad de configuraciones neurocognitivas —lo que hoy conocemos como neurodiversidad— sin necesidad de diseñar “productos especiales” segregados.

3. Horizontes del marco: más allá del antropocentrismo

Una vez que el marco hexagonal ha demostrado su utilidad para analizar la interacción entre los seres humanos y su entorno diseñado, resulta inevitable preguntarse por los límites de su aplicabilidad. La estructura del marco —basada en preguntas sobre función adaptativa, historia evolutiva, computación, conducta, implementación y desarrollo— no contiene en sí misma ninguna cláusula que la restrinja a la especie humana. Por el contrario, su inspiración en Tinbergen, un etólogo que desarrolló su trabajo observando avispas, peces y gaviotas, invita a considerar un horizonte más amplio.

Esta observación abre una cuestión sutil pero profunda: ¿hasta qué punto nuestro marco, y por extensión las disciplinas del neurodiseño, permanecen atrapadas en un antropocentrismo implícito que limita su potencial? Si los módulos cognitivos que analizamos —navegación, regulación alostática, gestión social— tienen homologías y analogías en otras especies, ¿no debería el diseño inspirado en la cognición considerar también a esos otros seres como eventuales usuarios o, al menos, como cohabitantes de los entornos que diseñamos?

La pregunta no es meramente especulativa. En un momento de crisis ecológica y pérdida acelerada de biodiversidad, repensar la relación entre las especies se ha convertido en una necesidad práctica. Los entornos que diseñamos —edificios, ciudades, infraestructuras— no solo albergan humanos; configuran también los hábitats de innumerables especies no humanas. Un diseño que ignore esta dimensión no puede considerarse verdaderamente sostenible, ni quizás verdaderamente accesible en su sentido universal.

El marco multinivel ofrece, sin forzarla, una vía para abordar esta complejidad. El nivel filogenético (N2) nos recuerda que nuestros módulos cognitivos tienen raíces compartidas con otras especies. El nivel funcional (N1) nos obliga a preguntar por los problemas adaptativos que cualquier organismo —humano o no— resuelve en su interacción con el entorno. El nivel implementacional (N5) nos habla de sustratos materiales que, siendo diversos, cumplen funciones análogas. Un diseño que aspire a la inclusión en un sentido ecológicamente profundo debería, quizás, aprender a leer estas continuidades y discontinuidades.

Algunas prácticas contemporáneas apuntan ya en esta dirección, aunque sea de manera incipiente. El diseño de fachadas y cubiertas vegetadas que proporcionan

corredores ecológicos para insectos y aves, la creación de pasos de fauna en infraestructuras lineales, o el desarrollo de iluminación urbana respetuosa con los ritmos circadianos de otras especies, son ejemplos de cómo el diseño puede comenzar a considerar a otros seres como destinatarios de sus decisiones. Lo que el marco hexagonal sugiere es que estas consideraciones no deberían ser añadidos póstumos, sino que podrían integrarse en el análisis desde el principio, preguntándonos, por ejemplo: ¿qué problemas adaptativos resuelven ciertas especies en su interacción con este entorno? ¿qué información procesan y mediante qué algoritmos? ¿cómo se desarrolla su relación con el espacio a lo largo de su ciclo vital?

Esta ampliación del marco no implica, por supuesto, diluir la especificidad de lo humano ni abandonar el compromiso con la accesibilidad universal en su sentido más inmediato. Se trata más bien de reconocer que el diseño, como actividad que configura nichos, tiene consecuencias que desbordan los límites de nuestra especie, y que un marco explicativo fundamentado en la biología evolutiva nos proporciona, quizás, las herramientas para pensar esta complejidad con el mismo rigor que aplicamos al estudio de la cognición humana.

4. Limitaciones del estudio y futuras líneas de investigación

El presente trabajo tiene un carácter fundamentalmente teórico y metodológico. Su contribución principal es la propuesta de un marco de análisis, no su validación empírica. Las futuras investigaciones deberán abordar al menos tres líneas de desarrollo:

- En primer lugar, es necesario aplicar el marco hexagonal a estudios de caso concretos, evaluando su utilidad para generar hipótesis de diseño comprobables y para diagnosticar problemas de accesibilidad en entornos existentes. La metodología DBM+ (Diseño Basado en el Marco Multinivel) esbozada en otros trabajos (Pérez Pelaez, en preparación) ofrece un protocolo para esta aplicación, pero requiere ser refinada y validada en contextos diversos.
- En segundo lugar, el marco debe ser enriquecido mediante su aplicación a otros módulos cognitivos más allá de la navegación. Los sistemas alostático (regulación homeostática y estrés) y pragmático-social (gestión de territorio e interacciones) son candidatos naturales para este desarrollo, y su análisis promete revelar aspectos igualmente fundamentales de la experiencia del diseño.
- Finalmente, la cuestión del antropocentrismo y la inclusión interespecífica, apenas insinuada en esta discusión, merece un tratamiento más sistemático. Ello requerirá dialogar con disciplinas como la etología, la ecología del comportamiento y la filosofía ambiental, para desarrollar versiones del marco que, sin perder rigor, puedan aplicarse al diseño de entornos que consideren explícitamente a otras especies como parte de la comunidad de usuarios.

CONCLUSIONES

A lo largo de este artículo hemos argumentado que la creciente popularidad de las disciplinas con prefijo “neuro-” en el ámbito del diseño esconde, con demasiada fre-

cuencia, una profunda superficialidad conceptual y metodológica. Frente a esta situación, hemos propuesto un marco de análisis multinivel que integra las contribuciones de David Marr sobre los niveles de procesamiento de información y de Niko Tinbergen sobre las causas del comportamiento biológico, generando un modelo de seis niveles para el análisis de módulos cognitivos funcionales.

La principal contribución de este trabajo es ofrecer una herramienta heurística que, al estructurar el análisis en niveles irreducibles pero complementarios, actúa como un antídoto contra el reduccionismo. El marco obliga a que cualquier afirmación sobre el impacto cognitivo de un diseño sea especificada en términos de: la función adaptativa que resuelve (N1), su historia evolutiva (N2), el cómputo abstracto que realiza (N3), las estrategias conductuales que lo implementan (N4), el sustrato fisiológico que lo sustenta (N5) y su desarrollo a lo largo de la vida (N6). Esta especificación múltiple impide las justificaciones superficiales que saltan directamente de un hallazgo neurofisiológico aislado a una recomendación de diseño, sin explicar los niveles intermedios que deberían mediar entre ambos.

Hemos demostrado la aplicabilidad del marco mediante el análisis del módulo de navegación y mapeo espacial en el contexto del diseño de un sistema de señalética para una estación intermodal. Este ejemplo ha permitido ilustrar cómo cada nivel aporta una pieza indispensable del rompecabezas explicativo, y cómo la comprensión integrada de todos ellos es necesaria para generar soluciones de diseño verdaderamente fundamentadas y accesibles.

Las implicaciones de este marco para la accesibilidad universal son profundas. Una auténtica accesibilidad cognitiva no puede limitarse a la colocación de pictogramas o a la simplificación del lenguaje (N4), sino que debe diseñar para los módulos cognitivos de todos los usuarios, considerando su funcionamiento típico (N1-N5) y su variabilidad a lo largo del ciclo vital y entre perfiles neurodivergentes (N6). El marco proporciona así una base teórica para superar la concepción de la accesibilidad como un añadido y para integrarla como una propiedad emergente del buen diseño.

Finalmente, hemos sugerido, de manera apenas perceptible, que el horizonte de este marco podría extenderse más allá del antropocentrismo que tradicionalmente ha limitado el pensamiento del diseño. Si los módulos cognitivos que analizamos tienen homologías y analogías en otras especies, y si el diseño es siempre diseño de nichos que afectan a múltiples formas de vida, entonces un marco fundamentado en la biología evolutiva podría, quizás, ofrecer herramientas para pensar también la inclusión interspecífica. Esta cuestión, que aquí solo podemos insinuar, apunta a futuros desarrollos en los que el co-diseño con otras especies —o al menos la consideración explícita de sus necesidades adaptativas— podría enriquecer nuestra comprensión de lo que significa diseñar entornos verdaderamente habitables.

En definitiva, el marco hexagonal de análisis que presentamos aspira a contribuir a la maduración de las disciplinas del neurodiseño, proporcionando un lenguaje común y un método riguroso para el diálogo entre ciencias cognitivas y práctica proyectual. Solo desde esta fundamentación podrá el diseño aspirar a construir entornos, productos y comunicaciones que no solo sean eficientes o estéticamente atractivos, sino que

honren la complejidad de la mente que los habita —humana y, quizás, también más-que-humana—.

REFERENCIAS

- Albuquerque, C. F. (2025). Neuroergonomia, Arquitetura Inclusiva E Saúde Mental: Projetando Ambientes De Trabalho Responsivos À Neurodiversidade. *Aracê*, 7(3), 12241–12264. <https://doi.org/10.56238/arev7n3-121>
- Bateson, P., & Laland, K. N. (2013). Tinbergen's four questions: An appreciation and an update. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(12), 712–718. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.09.013>
- Caponi, G. (2024). Las cuatro preguntas de Tinbergen en la Etología Cognitiva. *Ludus Vitalis. Revista de Filosofía de las Ciencias de la Vida*, 30(2), 113–140. <https://doi.org/10.22370/lv.2024.30.2.4639>
- Fodor, J. A. (1983). *The Modularity Of Mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Frankenhuis, W. E., Panchanathan, K., & Barrett, H. C. (2013). Bridging developmental systems theory and evolutionary psychology using dynamic optimization. *Developmental Science*, 16(4), 584–598. <https://doi.org/10.1111/desc.12053>
- García Huertas, J. G. (2024). El Neurodiseño Web y la experiencia del usuario. Análisis de un caso práctico: Zara. *Revista De Ciencias De La Comunicación E Información*(30), 1–15. <https://doi.org/10.35742/rcci.2025.30.e306>
- García-Albea, J. (2011). Usos y abusos. *Revista de Neurología*, 52(10), 577–580.
- Hardcastle, V. G., & Hardcastle, K. (2015). Marr's Levels Revisited: Understanding How Brains Break. *Topics in cognitive science*, 7(2), 259–273. <https://doi.org/10.1111/tops.12130>
- Marr, D. C. (1982). *Vision: A computational investigation into human representation and information processing*. New York: W.H. Freeman.
- Muñoz, J. L. (2018). *Neurodiseño Gráfico. Neurociencias y Fuentes para el Diseño*. FAD-UNAM.
- Robbins, P., & Drayson, Z. (2025). Modularity of Mind. En E. N. (eds.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2025 Edition). Stanford. Obtenido de <https://plato.stanford.edu/archives/fall2025/entries/modularity-mind/>
- Roberts, B., Harris, M., & Yates, T. (2005). The roles of inducer size and distance in the Ebbinghaus illusion (Titchener circles). *Perception*, 34(7), 847–56.
- Tinbergen, N. (1963). On aims and methods of ethology. *Zeitschrift für Tierpsychologie*.
- Tooby, J., & Cosmides, L. (2015). Conceptual Foundations of Evolutionary Psychology. En E. M. Buss, *The Handbook of Evolutionary Psychology* (págs. 1–3). John Wiley & Sons, Inc.
- Vilchis Esquivel, L. d. (2024). Claves del Neurodiseño orientadas a la praxis. *Actas de Diseño*, 46(XVIII Semana Internacional de Diseño en Palermo 2023), 51–54. <https://doi.org/ISSN1850-2032>

Zhang, Z. (2026). Against the syntactic explanation of analogue representation. *Ergo: An Open Access Journal of Philosophy*, 1-31.

