

# Diferencias en la lengua materna en el conectoma estructural del cerebro humano

**Autores:** Xuehu Wei, Helyne Adamson, Matthias Schwendemann, Tomás Goucha, Angela D. Friederici, Alfred Anwander

**Institución:** Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences – Departamento de Neuropsicología, Leipzig, Alemania

## Palabras clave

Cerebro humano · Conectoma del lenguaje · Comparación entre lenguas · Alemán · Árabe · Conectividad estructural · Resonancia magnética por difusión · Tractografía

## Resumen (Abstract)

¿La neuroanatomía del conectoma estructural del lenguaje está modulada por la experiencia de hablar una lengua específica durante toda la vida?

Este estudio comparó las conexiones de sustancia blanca del cerebro implicadas en el lenguaje y la producción del habla en una cohorte amplia de **94 hablantes nativos** de dos lenguas muy distintas:

- el **alemán**, una lengua indoeuropea con morfosintaxis compleja
- y el **árabe**, una lengua semítica basada en raíces

Mediante resonancia magnética de difusión de alta resolución y análisis de redes basados en tractografía, se observó que los hablantes nativos de alemán presentan una **conectividad más fuerte dentro del hemisferio izquierdo**, especialmente en una red dorsal frontal-parietal/temporal asociada al **procesamiento sintáctico complejo**.

En contraste, los hablantes nativos de árabe mostraron una **conectividad más fuerte entre regiones semánticas**, incluyendo la red temporo-parietal izquierda, así como **conexiones**

**interhemisféricas más robustas** a través del cuerpo calloso posterior, que conecta regiones temporales superiores e inferiores parietales de ambos hemisferios.

Estos resultados sugieren que el conectoma estructural del lenguaje **se desarrolla y se modula por factores ambientales**, como las demandas específicas de procesamiento de la lengua materna.

## 1. Introducción

Durante décadas, la neurociencia ha identificado un sistema complejo y altamente organizado para el procesamiento del lenguaje en el cerebro humano. Este sistema incluye redes especializadas para la **sintaxis**, la **semántica** y la **fonología**, que juntas forman una red neural del lenguaje considerada universal.

Sin embargo, las lenguas del mundo difieren enormemente en cómo codifican sonidos, estructura gramatical y significado. Estudios previos han demostrado que las funciones cerebrales están influenciadas por diferencias culturales dominadas por la diversidad lingüística. Aun así, sigue siendo una pregunta abierta si las características propias de una lengua influyen directamente en la **estructura cerebral**.

Este estudio investiga hasta qué punto los atributos de una lengua específica **modulan la estructura del sistema neural del lenguaje**, particularmente su conectividad de sustancia blanca.

## El sistema neural del lenguaje

El sistema del lenguaje incluye:

- una **red central** para sintaxis, léxico y fonología
- una **red de producción del habla**, que soporta el lenguaje hablado

Estas redes se comunican mediante un sistema complejo de **conexiones de sustancia blanca**, las cuales se sabe que **cambian con el uso**. Por lo tanto, es probable que el conectoma estructural del lenguaje se adapte a las demandas específicas de procesamiento de cada lengua.

## Rutas principales del lenguaje

- **Ruta dorsal:** conecta regiones frontales (como el área de Broca) con regiones temporales posteriores; clave para la sintaxis compleja.
- **Ruta ventral:** conecta el lóbulo temporal con regiones frontales anteriores; clave para el procesamiento semántico.

Además, regiones del lóbulo parietal inferior y conexiones interhemisféricas a través del **cuerpo calloso** permiten integrar información fonológica, semántica y prosódica.

## Diversidad lingüística y plasticidad cerebral

Las lenguas difieren radicalmente:

- El **alemán** tiene un sistema gramatical complejo y un orden de palabras flexible, con dependencias sintácticas a larga distancia.
- El **árabe** utiliza un sistema morfológico basado en raíces y patrones, con palabras altamente no lineales desde el punto de vista morfológico.

Estudios funcionales previos muestran patrones de activación cerebral distintos según la lengua, y estudios estructurales sugieren que la materia gris y blanca se adaptan durante la adquisición del lenguaje.

Sin embargo, muchas investigaciones previas compararon **lengua materna vs segunda lengua**, lo cual introduce procesos adicionales como control cognitivo o cambio de idioma. Este estudio se centra exclusivamente en **lenguas maternas**, permitiendo observar cómo cada lengua moldea el sistema neural desde su base.

## Hipótesis del estudio

- Los hablantes nativos de **alemán** mostrarán mayor conectividad en regiones relacionadas con la **sintaxis**, especialmente en la red dorsal del hemisferio izquierdo.
- Los hablantes nativos de **árabe** mostrarán mayor conectividad:
  - interhemisférica

- en redes semánticas y fonológicas
- especialmente en regiones temporo-parietales

Esto también podría estar influido por la **ortografía árabe**, que se escribe de derecha a izquierda y omite vocales cortas, lo que exige mayor integración contextual y participación bilateral del cerebro.

## Metodología (resumen)

- **Participantes:**
  - 47 hablantes nativos de alemán
  - 47 hablantes nativos de árabe
  - emparejados por edad, género, educación y lateralidad
- **Técnica:**
  - Resonancia magnética de difusión de alta resolución
  - Tractografía probabilística
  - Análisis de redes mediante teoría de grafos
- **Análisis:**
  - Conectividad intra- e interhemisférica
  - Centralidad de nodos
  - Estadísticas basadas en redes (NBS)
  - Índices de lateralización

## Resultados principales

- Ambos grupos muestran **dominancia del hemisferio izquierdo** (lenguaje universal).
- **Alemán:**
  - Mayor conectividad **intrahemisférica**
  - Red dorsal frontal-temporal más fuerte
  - Regiones clave: IFG, BA44, IFS → sintaxis compleja
- **Árabe:**
  - Mayor conectividad **interhemisférica**
  - Redes semánticas y fonológicas más fuertes
  - Mayor participación bilateral (temporal y parietal)
  - Conexiones más robustas a través del cuerpo calloso posterior

# Conclusión

Este estudio demuestra que el conectoma estructural del lenguaje **no es fijo**, sino que se adapta a las demandas cognitivas de la lengua materna.

En otras palabras: **el idioma que hablas literalmente deja huella en la arquitectura de tu cerebro.**

- Lenguas con sintaxis compleja → redes dorsales más fuertes
- Lenguas con morfología rica y no lineal → redes semánticas y bilaterales más desarrolladas