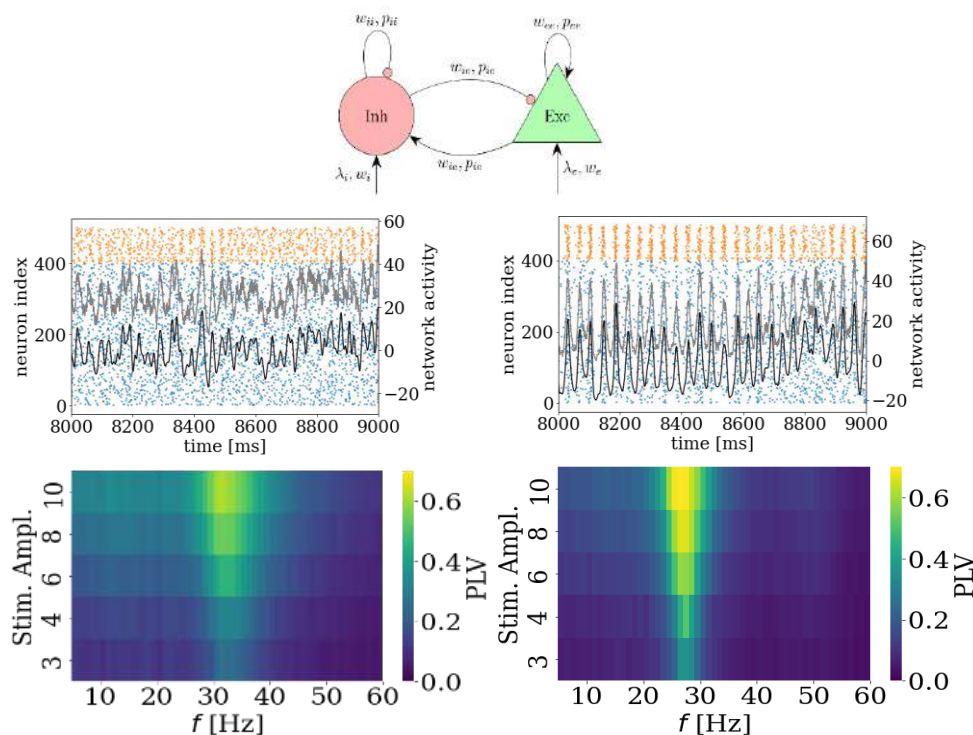


State-Dependent Entrainment: How Internal Coherence Shapes the Impact of tACS

Transcranial alternating current stimulation (tACS) has attracted growing interest as a non-invasive method to boost brain functions such as memory, attention, and perception, and to treat neurological and psychiatric disorders including depression, schizophrenia, and Parkinson's disease. Its promise lies in the ability to synchronize brain activity with external rhythms, offering a powerful tool for both cognitive enhancement and clinical intervention.

In this work, we show that the effects of tACS depend critically on the brain's own internal state. Using a biologically realistic network model, we found that when neural circuits are highly synchronized, they resist external influence unless the stimulation frequency is perfectly matched. By contrast, when the brain is in a less synchronized state, even weak stimulation can entrain activity over a broader range of frequencies, making the system more susceptible to modulation.

These findings point toward a central insight: tACS is most effective when it is **personalized and state-dependent**. Rather than applying a uniform stimulation protocol, its impact can be maximized by tailoring frequency and intensity to the individual's ongoing brain rhythms. Such an approach opens the way to adaptive, precision neuromodulation —interventions that can strengthen cognition in healthy individuals and restore function in clinical populations by aligning stimulation with the brain's natural dynamics.



Arrastre Dependiente del Estado: Cómo la Coherencia Interna Modela el Impacto de la tACS

La estimulación transcraneal con corriente alterna (tACS) ha despertado un creciente interés como método no invasivo para potenciar funciones cerebrales como la memoria, la atención y la percepción, así como para tratar trastornos neurológicos y psiquiátricos, incluidos la depresión, la esquizofrenia y la enfermedad de Parkinson. Su potencial radica en la capacidad de sincronizar la actividad cerebral con ritmos externos, ofreciendo una herramienta poderosa tanto para la mejora cognitiva como para la intervención clínica.

En este trabajo mostramos que los efectos de la tACS dependen de manera crítica del estado interno del cerebro. Utilizando un modelo de red biológicamente realista, encontramos que cuando los circuitos neuronales están altamente sincronizados, resisten la influencia externa a menos que la frecuencia de estimulación coincida de forma exacta. Por el contrario, cuando el cerebro se encuentra en un estado menos sincronizado, incluso una estimulación débil puede arrastrar la actividad en un rango más amplio de frecuencias, haciendo al sistema más susceptible a la modulación.

Estos hallazgos apuntan a una idea central: la tACS es más eficaz cuando se aplica de forma personalizada y dependiente del estado. En lugar de utilizar un protocolo de estimulación uniforme, su impacto puede maximizarse ajustando la frecuencia y la intensidad a los ritmos cerebrales en curso de cada individuo. Este enfoque abre la vía a una neuromodulación adaptativa y de precisión — intervenciones capaces de potenciar la cognición en individuos sanos y de restaurar funciones en poblaciones clínicas al alinear la estimulación con la dinámica natural del cerebro.

