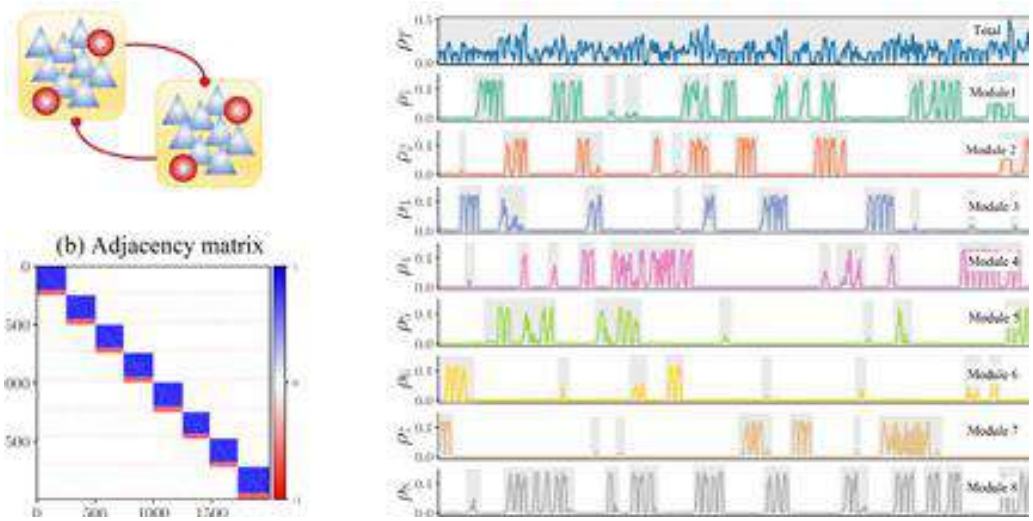
Excitatory Assemblies, Inhibitory Scaffolds

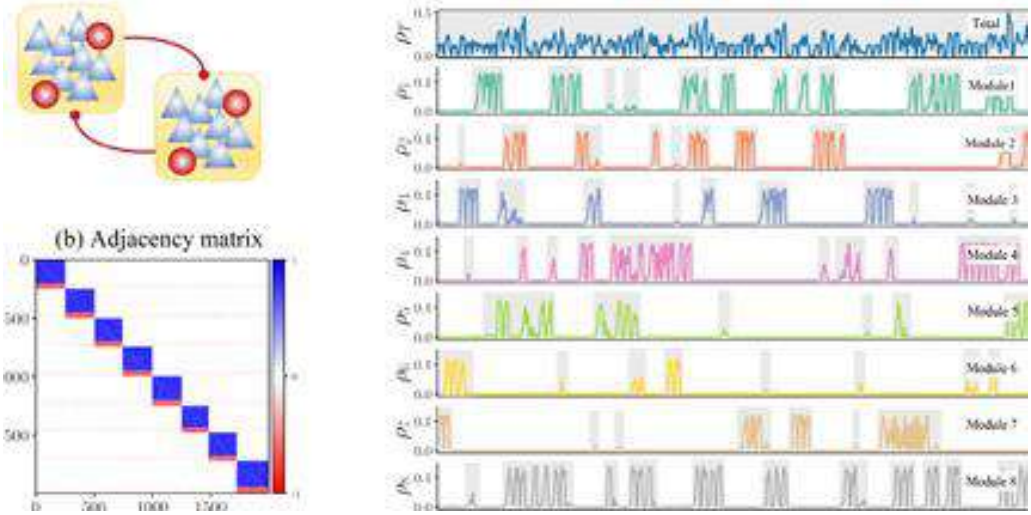
From neuroscience to AI, the interplay between modular organization and differential excitatory and inhibitory connectivity offers a powerful framework for understanding and engineering intelligent systems. In this work, we explore how locally concentrated excitatory connections—within functional modules or cell assemblies—combined with extended, less specialized inhibitory projections across modules, create conditions ideal for maximizing information processing. This architecture closely parallels motifs observed in the brain, including Hopfield-like attractor networks, where recurrent excitation stabilizes local memory states, and broad inhibition regulates competition between them. By emphasizing connectivity asymmetry—targeted excitation versus diffuse inhibition—we argue that cognitive efficiency and adaptability emerge not just from modularity itself, but from how modules interact.

Through computational modeling and information-theoretic analysis, we show that modular networks exhibit fundamentally different dynamical regimes depending on their inter-module wiring. Networks with predominantly excitatory cross-connections fall into periodic or synchronized states, where information capacity is severely limited. When both excitation and inhibition are globally mixed, modules show correlated intermittent activity, leading to redundancy and reduced total entropy. In contrast, when excitation is restricted to local assemblies and inhibitory links span modules more broadly, the system enters an uncorrelated-intermittent phase—a regime characterized by temporally diverse, independent activity across modules. This state supports maximal Shannon entropy and minimal mutual information between modules, indicating highly efficient, non-redundant information processing. These findings suggest that structure-function optimization in both natural and artificial systems depends critically on the spatial distribution and specificity of excitatory and inhibitory interactions.



Ensamblajes Excitatorios y Andamiajes Inhibitorios

De la neurociencia a la inteligencia artificial, la interacción entre la organización modular y la conectividad diferencial excitatoria e inhibitoria ofrece un marco poderoso para comprender y diseñar sistemas inteligentes. En este trabajo exploramos cómo las conexiones excitatorias localmente concentradas —dentro de módulos funcionales o ensamblajes celulares— combinadas con proyecciones inhibitorias más amplias y menos especializadas entre módulos, crean condiciones ideales para maximizar el procesamiento de la información. Esta arquitectura refleja de cerca motivos observados en el cerebro, incluidas las redes atractoras de tipo Hopfield, donde la excitación recurrente estabiliza estados de memoria locales y la inhibición difusa regula la competencia entre ellos. Al enfatizar la asimetría en la conectividad —excitación focalizada frente a inhibición difusa— sostenemos que la eficiencia cognitiva y la adaptabilidad emergen no solo de la modularidad en sí misma, sino de la manera en que los módulos interactúan.

Mediante modelado computacional y análisis desde la teoría de la información, mostramos que las redes modulares exhiben regímenes dinámicos fundamentalmente diferentes según su cableado intermodular. Las redes con predominio de conexiones excitatorias entre módulos caen en estados periódicos o sincronizados, donde la capacidad de información se ve gravemente limitada. Cuando excitación e inhibición se mezclan de manera global, los módulos muestran actividad intermitente correlacionada, lo que conduce a redundancia y a una reducción de la entropía total. En contraste, cuando la excitación se restringe a ensamblajes locales y los enlaces inhibitorios abarcan módulos de manera más amplia, el sistema entra en una fase intermitente no correlacionada, un régimen caracterizado por actividad temporalmente diversa e independiente entre módulos. Este estado sostiene una entropía de Shannon máxima y una información mutua mínima entre módulos, lo que indica un procesamiento de información altamente eficiente y no redundante.

Estos hallazgos sugieren que la optimización estructura-función, tanto en sistemas naturales como artificiales, depende críticamente de la distribución espacial y la especificidad de las interacciones excitatorias e inhibitorias.