

**Sección:** Hot Science

# *Farmacología de redes: los $\beta$ -glucanos como moduladores de redes biológicas*

## *Network pharmacology: $\beta$ -glucans as modulators of biological networks*

Juan José Romero-Tovar<sup>1\*</sup>  
Jorge Vargas-Almaraz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias Químico Biológicas, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas s/n, Querétaro, México.

<sup>2</sup>Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de las Campanas s/n, Querétaro, México.

\*Autor para la correspondencia: [jromero40@alumnos.uaq.mx](mailto:jromero40@alumnos.uaq.mx)

### **RESUMEN**

Los  $\beta$ -glucanos son polisacáridos naturales presentes en hongos, levaduras y cereales, ampliamente reconocidos como nutraceuticos por su capacidad de generar beneficios fisiológicos. Estos compuestos ejercen efectos inmunomoduladores, metabólicos y antiinflamatorios mediante la activación simultánea de múltiples receptores celulares, la modulación de la microbiota intestinal y la alteración de procesos fisicoquímicos en el tracto digestivo. Desde la perspectiva de la farmacología de redes, los  $\beta$ -glucanos actúan como agentes multidiana que reconfiguran nodos clave. Esta aproximación permite comprender su potencial preventivo y coadyuvante en diversas enfermedades crónicas, así como los retos para su estandarización como ingredientes funcionales y su aplicación clínica.

*Palabras clave:* Farmacología de redes,  $\beta$ -glucanos, nutraceuticos.

### **SUMMARY**

$\beta$ -Glucans are natural polysaccharides found in fungi, yeasts, and cereals, widely recognized as nutraceuticals for their ability to confer physiological benefits. These compounds exert immunomodulatory, metabolic, and anti-inflammatory effects through the simultaneous activation of multiple cellular receptors, modulation of the intestinal microbiota, and alteration of physicochemical processes within the gastrointestinal tract. From a network pharmacology perspective,  $\beta$ -glucans act as multi-target agents that reconfigure key biological nodes. This approach enables a clearer understanding of their preventive and adjuvant potential in various chronic diseases, as well as the challenges associated with their standardization as functional ingredients and clinical application.

*Keywords:* Network pharmacology,  $\beta$ -glucans, nutraceuticals.

## Introducción

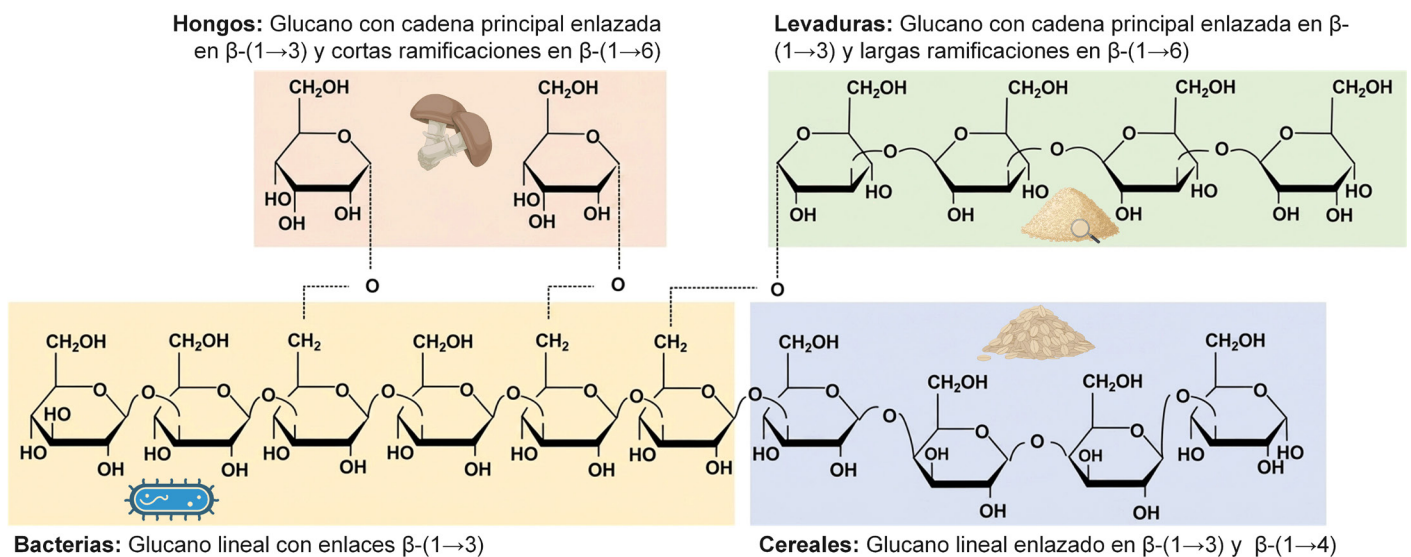
¿Te imaginas una molécula capaz de actuar como un director de orquesta en tu cuerpo? Una que coordine el sistema inmunológico, influya en el metabolismo y dialogue simultáneamente con la microbiota intestinal. No se trata de un fármaco sintético, sino de un componente natural ampliamente distribuido: los  $\beta$ -glucanos. Durante años, su estudio se ha abordado desde una perspectiva simplificada, resumiendo sus efectos en frases como “reducen el colesterol” o “estimulan las defensas”. Sin embargo, esta visión fragmentada es como escuchar un solo instrumento y perder la riqueza de toda la sinfonía.

El verdadero valor biológico de los  $\beta$ -glucanos radica en su capacidad para interactuar con redes biológicas complejas, es decir, con sistemas formados por múltiples componentes interconectados que responden de manera coordinada al igual que una orquesta guiada por su director. Este artículo analiza cómo la farmacología de redes ofrece un marco con-

ceptual sólido para entender por qué estos compuestos, aunque no actúan como fármacos tradicionales, pueden ejercer efectos fisiológicos clínicamente relevantes.

## ¿Qué son los $\beta$ -glucanos y por qué nos interesan?

Los  $\beta$ -glucanos son polisacáridos formados por unidades de glucosa unidas entre sí mediante enlaces  $\beta(1\rightarrow3)$ ,  $\beta(1\rightarrow4)$  o  $\beta(1\rightarrow6)$  en combinaciones específicas según la fuente (Figura 1). Se encuentran presentes en las paredes celulares de hongos (*Lentinula edodes*, *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus ostreatus*), levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*), algunas bacterias y en cereales como la avena y la cebada. Su estructura química (longitud de cadena, grado de ramificación, peso molecular y conformación tridimensional) determina propiedades clave como la solubilidad, la viscosidad y, sobre todo, la actividad biológica. Por ello, abordar los  $\beta$ -glucanos como una sola entidad es una simplificación, ya que distintas



**Figura 1.** Glucanos y sus estructuras químicas: ejemplos y configuraciones de los  $\beta$ -glucanos derivados de hongos, levaduras, bacterias y cereales. Imagen adaptada de Graaff y col. 2018 [1].

estructuras pueden producir efectos farmacológicos diversos [1].

En la industria alimentaria, los  $\beta$ -glucanos de cereales se emplean ampliamente como fibra soluble para reducir la respuesta glucémica postprandial y el colesterol “malo” (LDL), propiedades de ingrediente funcional reconocidas por organismos regulatorios como la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA). También, son empleados tecnológicamente como texturizantes, gelificantes y estabilizantes. En la industria cosmética, se utilizan extractos fúngicos por sus propiedades antioxidantes y restauradoras de la piel. Y en biomedicina, los  $\beta$ -glucanos fúngicos y de levadura se exploran como inmunoestimulantes, adyuvantes de vacunas y coadyuvantes en la inmunoterapia oncológica [2, 3].

## La farmacología clásica: una diana, un efecto

Por décadas, la farmacología se ha sustentado en un enfoque reduccionista que busca una “llave maestra” (una nueva molécula) capaz de interactuar con una única “cerradura” altamente específica (la diana farmacológica, generalmente una proteína). Al modular este punto particular, se espera desencadenar un efecto terapéutico específico. Este paradigma ha sido clave para numerosos avances médicos y se complementa con el análisis farmacocinético clásico LADME, que describe el recorrido del fármaco en el cuerpo: desde su liberación y absorción, hasta su distribución, metabolismo y excreción.

Sin embargo, este modelo resulta insuficiente para explicar el comportamiento de moléculas tan complejas como los  $\beta$ -glucanos. Estos compuestos no se absorben de forma intacta en grandes cantidades durante el proceso digestivo, dado que no presentan afinidad

por una única proteína, aun así, producen efectos fisiológicos consistentes [3]. Además, asumir que una molécula tiene un único sitio de interacción ignora que incluso los fármacos más selectivos interactúan con múltiples enzimas y transportadores durante su proceso de biotransformación.

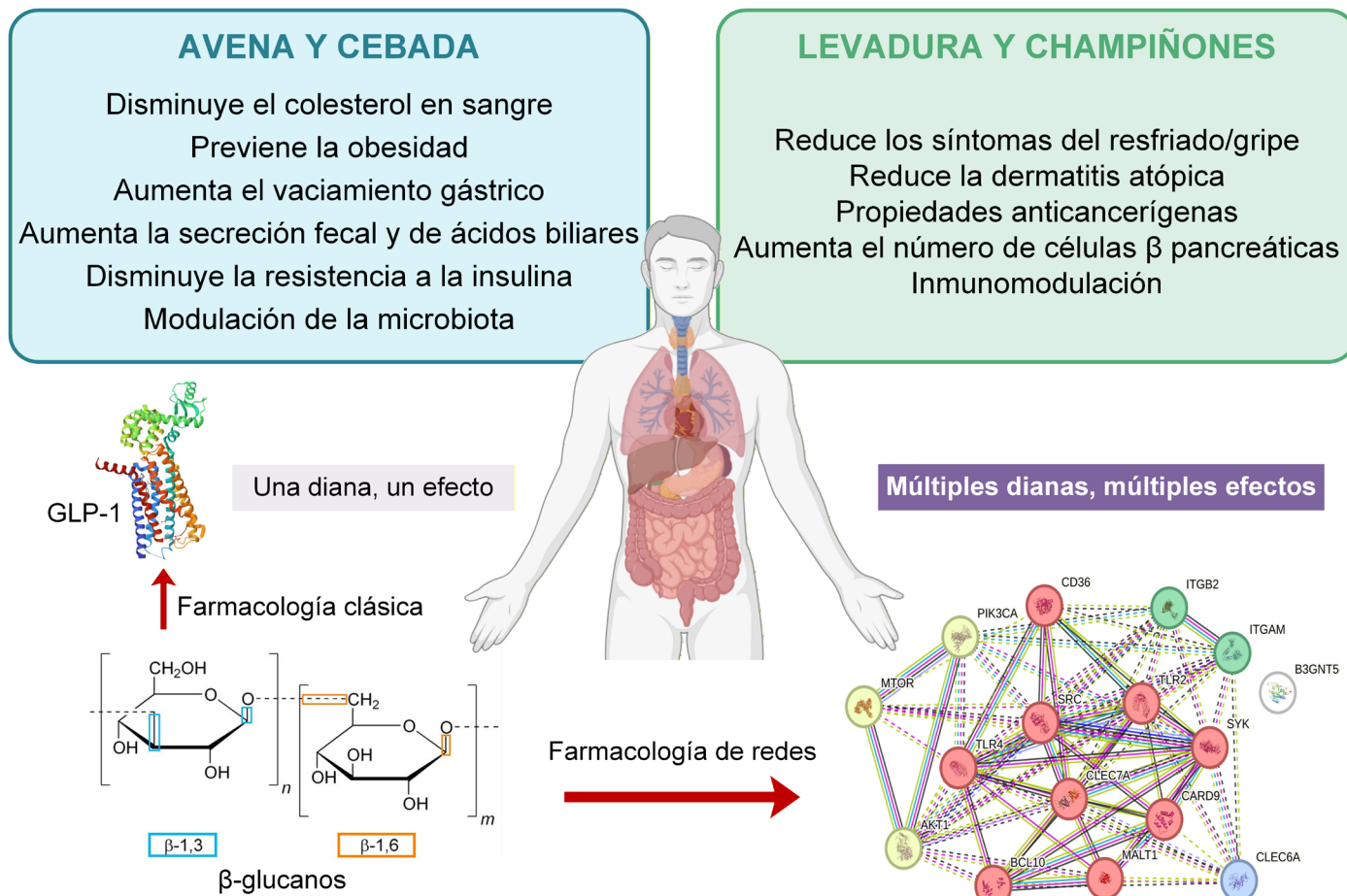
## La farmacología de redes: un efecto sistémico de diversas dianas

En contraste, la farmacología de redes plantea que una misma “llave” puede interactuar simultáneamente con múltiples “cerraduras”. Desde esta perspectiva, el efecto terapéutico de una molécula no se atribuye a la modulación de una única diana farmacológica, sino a su capacidad para influir en redes completas de interacciones biológicas en el organismo. Así, más que actuar sobre un punto aislado, estas moléculas contribuyen a reconfigurar sistemas complejos de manera integrada. Desde esta perspectiva, las enfermedades se consideran alteraciones en redes complejas de interacciones moleculares (como metabólicas, inmunológicas, inflamatorias), y el tratamiento farmacológico busca reestablecer ese equilibrio en lugar de solo aliviar sus síntomas [4].

En el caso de los  $\beta$ -glucanos, su acción involucra simultáneamente (Figura 2):

1. Receptores del sistema inmunológico innato.
2. Propiedades fisicoquímicas del contenido intestinal.
3. La composición y actividad metabólica de la microbiota.
4. Vías sistémicas de señalización metabólica e inflamatoria.

Una comparación útil es la del tráfico en la ciudad: cerrar una sola calle rara vez colap-



**Figura 2.** Efectos terapéuticos de los  $\beta$ -glucanos de diferentes fuentes. La figura resume cómo distintas fuentes de  $\beta$ -glucanos convergen en la inmunidad, el metabolismo y la microbiota, facilitando una comprensión integrada de sus efectos sistémicos. Adaptado de Bhoite y col. 2022 [1-7].

sa la ciudad, pero alterar varios cruces estratégicos cambia por completo la circulación vehicular. De manera similar, los  $\beta$ -glucanos no actúan sobre un único “semáforo molecular”, sino que reorganizan múltiples puntos clave de manera coordinada.

## Las tres redes clave moduladas por los $\beta$ -glucanos

### 1. La red inmunológica

Los  $\beta$ -glucanos son reconocidos por receptores del sistema inmune innato, como Dectin-1 y CR3, presentes en macrófagos,

neutrófilos y células dendríticas. Su activación desencadena cascadas de señalización intracelular (que involucran rutas como NF- $\kappa$ B, MAPK y PI3K/Akt) que no solo inducen una respuesta inflamatoria controlada, sino que también pueden generar inmunidad entrenada, es decir, una reprogramación funcional que permite a las células responder con mayor eficacia a estímulos futuros [1, 2].

Se ha observado en modelos experimentales que este mecanismo ayuda a explicar por qué el consumo regular de  $\beta$ -glucanos se asocia con una menor incidencia de infecciones respiratorias y con un mejor desempeño del sistema inmune, sin provocar una activación

descontrolada [6].

## 2. La red metabólica y cardiovascular

En los  $\beta$ -glucanos de cereales, la reducción del colesterol y de los picos glucémicos se ha atribuido tradicionalmente a su capacidad para aumentar la viscosidad intestinal que actúa como barrera en la absorción de la glucosa y de los ácidos grasos. No obstante, desde una visión de redes, este efecto fisicoquímico desencadena consecuencias bioquímicas. Entre ellas, modula la liberación de hormonas intestinales como GLP-1 y PYY, influye en la señalización metabólica central y mejora la sensibilidad a la insulina [6-7].

Adicionalmente, su fermentación en el colon mediada por la microbiota asociada, produce ácidos grasos de cadena corta (AGCC), moléculas con múltiples efectos antiinflamatorios y cardioprotectores sistémicos [4].

## 3. La red microbiota-huésped

Los  $\beta$ -glucanos funcionan como prebióticos selectivos, favoreciendo el crecimiento de bacterias beneficiosas como *Firmicutes* y *Bacteroidetes* que son importantes para mantener en equilibrio la microbiota intestinal. Los metabolitos generados durante su fermentación actúan como señales químicas que influyen en la inflamación, el metabolismo energético e incluso sobre el eje intestino-cerebro [4, 6].

## Limitaciones y retos traslacionales

A pesar de las diversas actividades farmacológicas de los  $\beta$ -glucanos, persisten desafíos importantes. En primer lugar, la heterogeneidad estructural entre fuentes de obtención y lotes, los cambios inducidos por los procesos industriales y la variabilidad dificultan la estandarización de un proceso industrial. Es fundamental subrayar que los alimentos nutracéuticos y funcionales no son medicamentos ni sustituyen a la medicina alopática. Su papel

debe entenderse como preventivo o coadyuvante, especialmente en enfermedades multifactoriales como la diabetes, la hipertensión o los trastornos inflamatorios crónicos. Por ello, sus efectos deben interpretarse en el contexto de una dieta habitual y de la evidencia disponible [6].

## La frontera de la farmacología de redes

La farmacología de redes encaja naturalmente en las tendencias actuales que dan forma a la medicina personalizada y de precisión. Este enfoque reconoce que las enfermedades crónicas no son el resultado de una alteración única, sino de desequilibrios simultáneos en múltiples rutas moleculares que interactúan de forma compleja. En este contexto, comprender cómo un individuo responde a un tratamiento implica considerar su perfil genético, metabólico, inmunológico y microbiano. Los  $\beta$ -glucanos ilustran con claridad esta lógica, ya que su efecto depende de su estructura molecular, la microbiota intestinal y el estado fisiopatológico del organismo. Por lo tanto, la farmacología de redes no solo permite explicar su variabilidad de respuesta, sino que también proporciona un marco conceptual coherente para integrar datos ómicos y avanzar hacia intervenciones nutricionales y farmacológicas más personalizadas [4].

De modo similar, la farmacología de redes abre nuevas posibilidades en áreas como la biotecnología, promoviendo el diseño racional de fármacos multidiana, la comprensión de los mecanismos de acción de los alimentos nutracéuticos, el desarrollo de alimentos funcionales personalizados, la identificación de combinaciones sinérgicas entre compuestos bioactivos, y la integración de herramientas ómicas para anticipar y comprender respuestas biológicas sumamente complejas [2].

## Conclusiones

Los  $\beta$ -glucanos son mucho más que un ingrediente funcional; son moduladores de redes biológicas que ejemplifican cómo los componentes de nuestra dieta pueden ejercer efectos farmacológicos relevantes mediante la modulación sistémica en nuestro organismo. Con base en la literatura reciente, su implementación en la dieta humana se alinea con las tendencias alimentarias de 2026 publicadas por NewNutrition Business, orientadas a la búsqueda de carbohidratos de calidad y al manejo de enfermedades digestivas y metabólicas. Finalmente, la farmacología de redes nos permite evaluar su verdadero potencial, no como “superalimentos”, sino como moduladores complejos y sostenibles de la inmunidad, el metabolismo y la simbiosis con nuestra microbiota. Su estudio y aplicación representan una convergencia fascinante entre la nutrición, la inmunología y la farmacología para redefinir lo que significa gestionar nuestra salud de manera holística.

## Agradecimientos

Agradecemos a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por las becas otorgadas a los autores (CVU 1347682 y 1236146). Durante la preparación de este trabajo, los autores utilizaron DeepSeek V3.1 para mejorar la legibilidad y el lenguaje del manuscrito. Después de usar esta herramienta, los autores revisaron y editaron el contenido según fue necesario y asumen toda la responsabilidad por el contenido del artículo publicado.

## Glosario

*Farmacología de redes*: Enfoque que estudia cómo una molécula puede afectar múltiples procesos del cuerpo al mismo tiempo,

al interactuar con varias partes interconectadas (redes biológicas), en lugar de actuar sobre una sola diana farmacológica específica.

*Diana farmacológica*: Biomolécula del cuerpo (generalmente una proteína) con la que interactúa una molécula o fármaco para producir un efecto. Es el “sitio de acción” donde ocurre la respuesta biológica.

### *Vías de señalización celular*

Conjunto de procesos mediante los cuales las células reciben y responden a señales externas. Funcionan como cadenas de comunicación internas que permiten a la célula tomar decisiones, como activarse, dividirse o defenderse.

*Microbiota intestinal*: Conjunto de microorganismos (principalmente bacterias) que habitan en el intestino. Estas comunidades influyen en la digestión, el sistema inmunológico y el metabolismo.

*Nodos biológicos*: Elementos individuales dentro de una red biológica, como genes, proteínas o metabolitos, que interactúan entre sí para llevar a cabo funciones en el organismo.

*Interacciones intermoleculares*: Relaciones entre moléculas (como proteínas, lípidos o carbohidratos) que permiten que ocurran procesos biológicos, como la activación de una célula o la transmisión de señales.

## Referencias

- [1] De Graaff, P., Govers, C., Wichers, H. J., & Debets, R. (2018). Consumption of  $\beta$ -glucans to spice up T cell treatment of tumors: a review. *Expert Opinion on Biological Therapy*, 18(10), 1023–1040. <https://doi.org/10.1080/14712598.2018.1523392>
- [2] Sarkar, N., Mahajan, A. A., Pathak, S., Seth, P., Chowdhury, A., Ghose, I., Das, S., Chowdhury, R., Bera, A., Dey, A., Dutta, A., Majumder, I., Ghosh, S., Rajendran, R. L., & Gangadaran, P. (2025). Beta-Glucans in

Biotechnology: A Holistic Review with a Special Focus on Yeast. *Bioengineering*, 12(4), 365. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12040365>

[3] Du, B., Meenu, M., Liu, H., & Xu, B. (2019). A Concise Review on the Molecular Structure and Function Relationship of  $\beta$ -Glucan. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(16), 4032. <https://doi.org/10.3390/ijms20164032>

[4] Merez-Sadowska, A., Sadowski, A., Zielińska-Bliźniewska, H., Zajdel, K., & Zajdel, R. (2025). Network Pharmacology as a Tool to Investigate the Antioxidant and Anti-Inflammatory Potential of Plant Secondary Metabolites—A Review and Perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(14), 6678. <https://doi.org/10.3390/ijms26146678>

[5] Bhoite, R., Satyavrat, V., & Premasudha Sadananda, M. (2022). Clinical benefits of  $\beta$ -glucan supplementation in children: A review. *Discover Food*, 2(1), 37. <https://doi.org/10.1007/s44187-022-00038-0>

[6] Ciecierska, A., Drywień, M.E., Hamułka, J., & Sadowski, T. (2019). Nutraceutical functions of beta-glucans in human nutrition. *Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny*, 70 4, 315-324. <https://doi.org/10.32394/rpzh.2019.0082>

[7] Lante, A., Canazza, E., & Tessari, P. (2023). Beta-Glucans of Cereals: Functional and Technological Properties. *Nutrients*, 15(9), 2124. <https://doi.org/10.3390/nu15092124>