



Revista Hambatu Science

Ambato – Ecuador / ISSN 3151-815X (en línea) / julio - septiembre 2026

Volumen 1, Número 3

<https://doi.org/10.63862/rhs-v1n3-97-116-2026>

Ciencias Ómicas Aplicadas a la Cúrcuma longa para el desarrollo de Nutracéuticos Inteligentes (Primera Parte.- Metabolómica de la Cúrcuma)

*Omics Sciences Applied to Curcuma longa for the development
of Intelligent Nutraceuticals. (1st part.- Turmeric
metabolomics)*

Victor Alfonso Abuadili Garza
Universidad Nacional Autónoma De México (UNAM)

Leticia Del Rocío Castellanos Gordillo
Universidad Salazar Narvaez, Instituto de Estudios Superiores de
Chiapas



DOI: <https://doi.org/10.63862/rhs-v1n3-97-116-2026>

Ciencias Ómicas Aplicadas a la Cúrcuma longa para el desarrollo de Nutracéuticos Inteligentes (Primera Parte.- Metabolómica de la Cúrcuma)

Victor Alfonso Abuadili Garza

Universidad Nacional Autónoma De México
(UNAM)

abuadili@yahoo.com.mx

<https://orcid.org/0009-0004-5466-1880>

México

Leticia Del Rocío Castellanos Gordillo

Universidad Salazar Narvaez, Instituto de
Estudios Superiores de Chiapas

leticia.castellanos.gordillo@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-6277-3016>

México

Recibido: 2026-06-22

Aceptado: 2026-06-26

Publicado: 2026-07-06

Resumen

El creciente uso de suplementos alimenticios y nutraceuticos refleja una transición hacia modelos de salud más preventivos e integrales. Aunque ambos pueden compartir ingredientes, difieren en su intención terapéutica y en los efectos biológicos esperados. Entre los compuestos de mayor interés destaca la curcumina, principal metabolito bioactivo de *Curcuma longa*, reconocida por sus propiedades antiinflamatorias, antioxidantes y moduladoras del metabolismo. Sin embargo, su limitada biodisponibilidad ha impulsado numerosas investigaciones orientadas a optimizar su aprovechamiento en la salud humana. El objetivo de este estudio fue realizar una revisión sistemática de las ciencias ómicas aplicadas a *Curcuma longa* y a la curcumina para el desarrollo de nutraceuticos. Se desarrolló un análisis mecanicista, integrador e in silico sobre el tautomerismo de la curcumina y su posible interacción transcriptómica y epigenética con el ADN humano. Mediante biosemiómica clínica aplicada y la metodología iterativa del Sistema ATDM, se evaluaron las formas ceto, enólica y quinoide de la curcumina en diferentes microambientes fisiológicos, incluyendo condiciones gastrointestinales ácidas, estados cardiometabólicos neutros o alcalinos y procesos oxidativos asociados con inflamación y estrés redox. Los resultados sugieren que la curcumina actúa como modulador epigenético y transcriptómico, influyendo en vías como NF- κ B, Nrf2/HO-1, citocinas inflamatorias, metabolismo mitocondrial y homeostasis energética. Asimismo, los distintos tautomerismos podrían favorecer aplicaciones nutraceuticas específicas para enfermedades neurodegenerativas, cardiometabólicas, inmunológicas y gastrointestinales. Se concluye que la interacción entre metabolitos vegetales y la regulación genética humana podría constituir un mecanismo adaptativo con potencial terapéutico, aunque se requieren estudios transcriptómicos, epigenómicos y clínicos que validen estas hipótesis.

Palabras clave: Ciencias ómicas aplicadas; curcumina; tautomería; metabolómica; transcriptómica; Biosemiómica Clínica Aplicada; Sistema ATDM.

Omics Sciences Applied to *Curcuma longa* for the development of Intelligent Nutraceuticals. (1st part.- Turmeric metabolomics)

Abstract

The increasing use of dietary supplements and nutraceuticals reflects a shift toward more preventive and integrative healthcare models. Although both categories may share ingredients, they differ in their therapeutic purpose and expected biological effects. Among the most studied compounds is curcumin, the main bioactive metabolite of *Curcuma longa*, recognized for its anti-inflammatory, antioxidant, and metabolic regulatory properties. However, its low bioavailability has driven extensive research aimed at enhancing its health benefits. The objective of this study was to conduct a systematic review of omics sciences applied to *Curcuma longa* and curcumin for nutraceutical development. A mechanistic, integrative, and in silico analysis was performed to evaluate curcumin tautomerism and its potential transcriptomic and epigenetic interactions with human DNA. Using applied clinical biosemiomics and the iterative ATDM System methodology, the keto, enolic, and quinonoid forms of curcumin were assessed under different physiological microenvironments, including acidic gastrointestinal conditions, neutral-to-alkaline cardiometabolic states, and oxidative processes associated with inflammation and redox stress. The findings suggest that curcumin acts as an epigenetic and transcriptomic modulator, influencing pathways such as NF- κ B, Nrf2/HO-1, inflammatory cytokines, mitochondrial metabolism, and energy homeostasis. Furthermore, its different tautomeric forms may support targeted nutraceutical applications for neurodegenerative, cardiometabolic, immunological, and gastrointestinal disorders. It is concluded that the interaction between plant-derived metabolites and human genetic regulation may constitute an adaptive homeostatic mechanism with therapeutic potential, although high-resolution transcriptomic, epigenomic, and clinical studies are required to validate these hypotheses.

Keywords: Applied omics sciences; curcumin; tautomerism; metabolomics; transcriptomics; Applied Clinical Biosemiomics; ATDM System.

Introducción

Durante muchos años, los productos naturales han sido una valiosa fuente de nuevos fármacos. Sin embargo, en los últimos años, esta tendencia ha disminuido.(Newman, D.J., Cragg, G.M., 2020) El uso de productos naturales para curar enfermedades ha cobrado aún más importancia, ya que el coste del desarrollo de nuevos fármacos se ha vuelto enorme y, por lo tanto, prohibitivo para el desarrollo de fármacos para tratar enfermedades raras. Los productos naturales se utilizan ampliamente en la medicina popular. Muchos de ellos, también se utilizan como componentes básicos, al estudiar su estructura molecular, para la síntesis de fármacos.(Cheuka, D.A.,Urban, S., Roessner, U., 2012)

La ciencia de la nutrición ha alcanzado cada vez más nuevos horizontes, desde la anticipación de las deficiencias nutricionales hasta su importancia para la salud humana y la prevención y el tratamiento de enfermedades crónicas. Los términos "nutracéuticos", "suplementos alimenticios" y "suplementos dietéticos" han evolucionado desde que el Dr. De Felice los creó. (Puri, V., Nagpal, M., e.t. A.l., 2022)

Los nutracéuticos son componentes nutricionales (una combinación de nutrición y fármacos) biológicamente activos que mantienen una salud óptima y aportan beneficios. Estos productos desempeñan un papel fundamental en el cuidado de la salud humana y su sostenibilidad, lo que es fundamental para el desarrollo terapéutico futuro. Han recibido reconocimiento por sus beneficios nutricionales, sus efectos terapéuticos y su perfil de seguridad. (Mortada E. M., 2024)

Los nutracéuticos son terapias biológicas que se utilizan para promover el bienestar, prevenir procesos malignos y controlar los síntomas. El uso de nutracéuticos complementarios y alternativos aumentó drásticamente en la última década y principalmente tras la pandemia de Covid-19. Las motivaciones para el uso de estos productos incluyen cambios en los hábitos alimentarios, cambios en el estilo de vida, la preocupación por la disponibilidad de alimentos suficientes para el consumidor, y las interacciones con profesionales de la salud convencionales, percibidas como insensibles, demasiado breves o indiferentes.

Las necesidades científicas de los nutraceuticos exigen la estandarización de los componentes y el desarrollo cauteloso de protocolos e implementar estudios clínicos que formarán la base para la salud del consumidor y el impacto en las empresas nutraceuticas. (Ward WE, Chilibeck PD, e.t. A.l., 2019; Puri, V., Nagpal, M., e.t. A.l., 2022)

“TODO NUTRACÉUTICO PUEDE CONSIDERARSE UN SUPLEMENTO, PERO NO
TODO SUPLEMENTO, ES CONSIDERADO UN NUTRACÉUTICO”.

Reconocer esta distinción desde una perspectiva causa-efecto permite proteger al paciente, fortalecer la ética profesional de las personas que los recomiendan, de los profesionales de la salud, de las empresas que los comercializan y empresas o laboratorios que los producen, y optimizar el uso de estrategias de salud en materia de prevención y el manejo de enfermedades, bajo una visión de medicina basada en evidencias.

Las moléculas son los componentes genéticos del mundo material, los reguladores clave de los procesos vitales y representantes típicos de los sistemas cuánticos estables, y su naturaleza reviste una profunda importancia científica. La esencia de la forma en que las reacciones químicas producen moléculas reside en la ruptura de los antiguos enlaces químicos entre átomos y la formación de nuevos. (Gao, C., Gao, Q., e.t. A.l., 2024)

Las reacciones químicas monomoleculares se centran en el estudio de moléculas individuales. Bajo la influencia de factores externos como la luz, la electricidad, el magnetismo y la fuerza, incluso los cambios sutiles en moléculas o átomos individuales pueden observarse directamente, lo que permite el monitoreo en tiempo real e in situ de la dinámica de las reacciones químicas monomoleculares, una tarea difícil de lograr con el promedio de conjuntos.(Chen P, Zhou X, Shen H., et al.,2010) Al investigar las características internas de las moléculas individuales, como las estructuras de los niveles de energía, los estados excitados y los modos vibracionales,(Wang W., 2018) se puede explorar la esencia de las interacciones moleculares y la transferencia de energía,(Eivgi O, Blum SA., 2022) revelando nuevos comportamientos, mecanismos y procesos cuánticos que podrían quedar ocultos por los efectos del promedio de conjuntos.(Cordes T, Blum SA., 2013)

La química monomolecular se centra en el seguimiento de las reacciones químicas a nivel de cada molécula, en particular la cinética de reacción, que no puede sustituirse por otros métodos de caracterización. Con las técnicas de caracterización multidimensional monomolecular desarrolladas, las vías de reacción de cada molécula pueden mapearse con precisión. El análisis de la cinética de reacción a nivel de cada molécula ofrece un medio eficaz para explorar las verdaderas vías y principios de las reacciones moleculares. (Gao, C., Gao, Q., e.t. A.I., 2024).

Metodología

Se realizó un estudio mecanicista integrativo con enfoque exploratorio, descriptivo y analítico basado en revisión sistemática narrativa, modelado bioquímico conceptual y análisis transcriptómico-epigenético hipotético de la *Curcuma longa* y sus metabolitos bioactivos. El estudio fue desarrollado bajo los principios metodológicos de la Biosemiómica Clínica Aplicada, orientados al análisis de interacciones dinámicas entre metabolitos vegetales, regulación genética humana y mecanismos adaptativos celulares. Para lo cual, se establecen tres etapas en el desarrollo de la investigación:

Parte 1: Análisis metabolómico y tautomería de la curcumina

Se evaluaron las principales formas tautómeras de la curcumina:

- Curcumina ceto (β -dicetona)
- Curcumina enólica
- Curcumina quinoide oxidada

Cada tautómero fue analizado conforme a:

1. Estabilidad química dependiente del pH.
2. Reactividad frente a especies reactivas de oxígeno (ROS) y nitrógeno (RNS).
3. Potencial antioxidante y antiinflamatorio.
4. Interacción teórica con vías transcriptómicas y epigenéticas humanas.

Los microambientes fisiológicos fueron clasificados en:

- Ambiente ácido gastrointestinal ($\text{pH} < 7$)
- Ambiente neutro/alcalino sistémico ($\text{pH} > 7$)
- Entorno oxidativo/nitrosilado asociado con inflamación y daño celular.

Parte 2: Evaluación transcriptómica y epigenética

Se integró información derivada de estudios experimentales y revisiones científicas indexadas relacionadas con:

- Activación e inhibición de NF- κ B
- Regulación Nrf2/HO-1
- Modulación de citocinas inflamatorias (TNF- α , IL-1 β , IL-6)
- Regulación de DNMTs, HDACs y HATs
- Modulación de microARNs
- Respuesta mitocondrial y metabolismo energético

Con base en estos datos, se propuso el concepto operativo de “disonancia genética funcional”, definido como la divergencia adaptativa entre señales transcriptómicas inducidas por metabolitos vegetales y mecanismos homeostáticos humanos.

Parte 3:

Parte 4: Integración nutracéutica

Los resultados de los tres artículos anteriores, se organizan para el desarrollo conceptual y mecanicista para la formulación de nutracéuticos dirigidos según el entorno metabólico predominante:

- Fórmulas gastrointestinales basadas en curcumina cetona.
- Fórmulas cardiometabólicas y neuroprotectoras basadas en curcumina enólica.
- Fórmulas inmunomoduladoras basadas en curcumina quinoide.

Finalmente, se correlacionaron los mecanismos moleculares con aplicaciones potenciales en enfermedades inflamatorias, metabólicas, autoinmunes, neurodegenerativas y cardiovasculares.

Resultados

Esta primera parte de la revisión, se describen los métodos para investigar la estructura de productos naturales, con énfasis en los enlaces de hidrógeno intramoleculares, la tautomería y las estructuras iónicas; centrándonos en los desplazamientos químicos del hidrógeno, los efectos isotópicos sobre los desplazamientos químicos. (Newman, DJ; Cragg, GM., 2020) Específicamente nos centramos en hacer una revisión sistemática con un enfoque mecanicista sobre el uso de la *Cúrcuma longa* para el desarrollo de formulaciones nutracéuticas, en específico sobre su metabolito “Curcumina”.

Metabolómica de la *curcuma longa*:

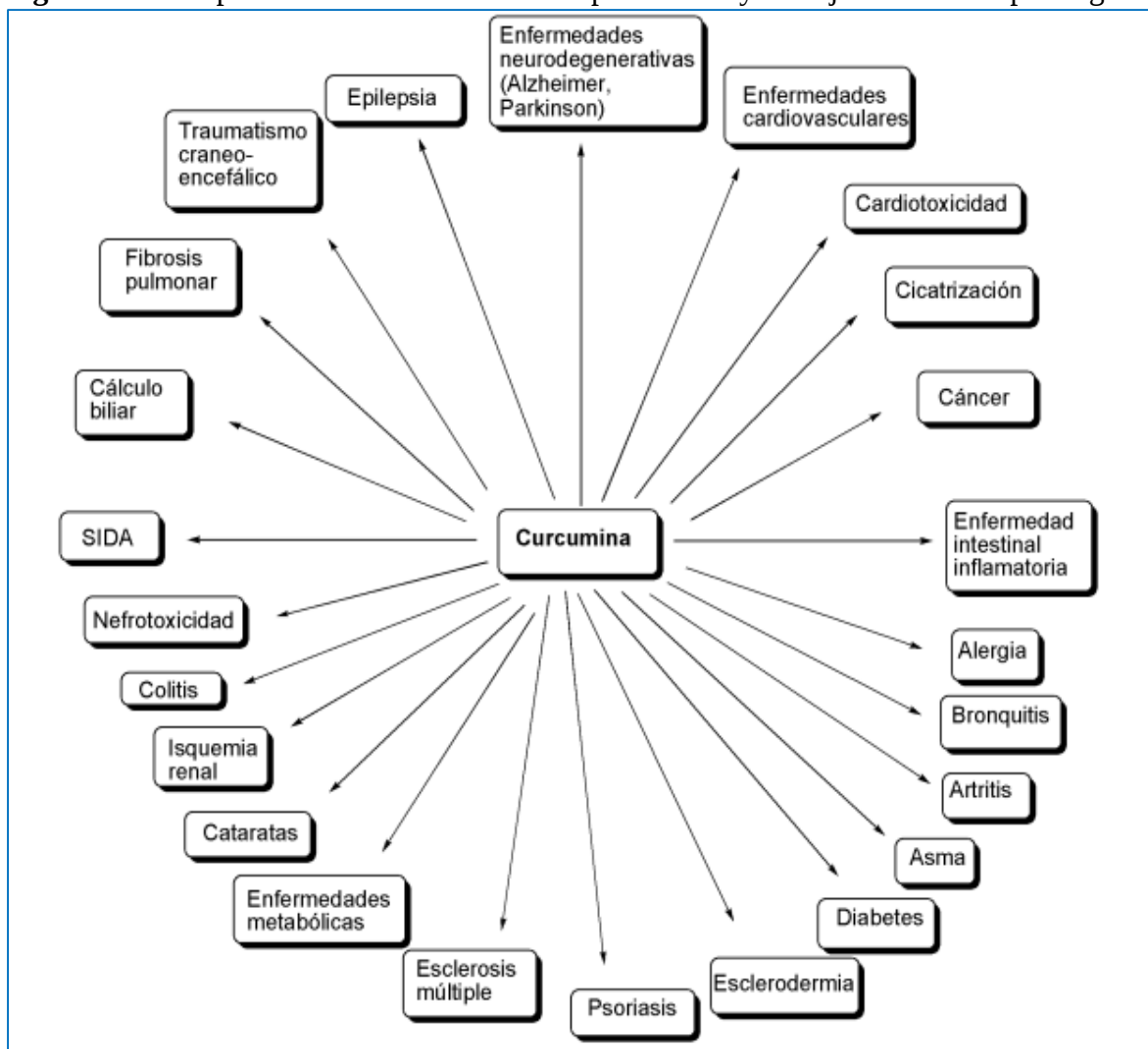
La curcumina, es el principal polifenol bioactivo de *Curcuma longa*, ha sido ampliamente estudiada por sus múltiples efectos biológicos y terapéuticos. Entre sus beneficios más destacados se encuentran sus propiedades antiinflamatorias, antioxidantes y moduladoras del sistema inmunológico. A nivel molecular, la curcumina es capaz de regular diversas vías de señalización celular, incluyendo NF- κ B, Nrf2, MAPK y COX-2, lo que contribuye a la reducción de procesos inflamatorios crónicos y del estrés oxidativo. Asimismo, su capacidad antioxidante permite neutralizar especies reactivas de oxígeno (ROS) y nitrógeno (RNS), protegiendo a las células frente al daño oxidativo asociado con enfermedades metabólicas, cardiovasculares y neurodegenerativas. (Urošević, M., Nikolić, L., Gajić, I., Nikolić, V., Dinić, A. y Miljković, V., 2022)

Además, la curcumina ha demostrado efectos metabólicos, hepatoprotectores, neuroprotectores y anticancerígenos potenciales. En el metabolismo energético puede mejorar la sensibilidad a la insulina, modular el metabolismo lipídico y reducir marcadores de inflamación metabólica. En el sistema nervioso, se ha asociado con efectos neuroprotectores al modular procesos inflamatorios y oxidativos relacionados con trastornos neurodegenerativos. (Kabeer, A., Muhammad Mailafiya, M., e.t. A.I., 2019) También se han descrito efectos antitumorales en estudios experimentales, donde la curcumina puede influir en la proliferación celular, la apoptosis y la angiogénesis. (Malik, P., Mukherjee & Tapan K., 2014)

Respecto de su actividad como metabolito, la curcumina participa como antioxidante y antinitrosilante, ya que inhibe especies reactivas tanto de oxígeno como de nitrógeno, participa

en diversos procesos homeostáticos, principalmente en la desintoxicación hepática y principalmente por sus efectos antiinflamatorios, ampliamente conocidos y utilizados en suplementos alimenticios, y recientemente en fármacos, para el manejo de patologías como las que se describen en la figura 1.

Figura 1. Participación de la Curcumina en la prevención y manejo de diversas patologías.



El aspecto pleiotrópico de la curcumina, el curcuminóide predominante de *Curcuma longa*, se abstrae por las relaciones vinculadas entre ella y las enfermedades inflamatorias, metabólicas, neurodegenerativas, cardiovasculares, gastrointestinales, renales, respiratorias, dermatológicas y neoplásicas. Metabolismo: La cúrcuma puede conceptualizarse no como una molécula única, sino como una matriz fitoquímicamente ordenada compuesta por curcuminoides (curcumina, demetoxicurcumina y bisdemetoxicurcumina), metabolitos reducidos (tetrahidrocurcumina,

hexahidrocurcumina y octahidrocurcumina) y conjugados de fase II (glucurónidos y sulfatos). (Anand et al., 2007), y esta biotransformación explica algunos de sus efectos sistémicos al tiempo que revela su principal obstáculo farmacológico: baja biodisponibilidad oral, rápida conjugación intestinal-hepática y eliminación acelerada. (Vareed et al., 2008)

Bioquímicamente, la curcumina actúa como modulador redox, antiinflamatorio e inmunometabólico. Sus principales acciones incluyen la inhibición de NF- κ B, COX-2, LOX, TNF- α , IL-1 β , IL-6 y STAT3; la activación de rutas antioxidantes como Nrf2/HO-1; la reducción de especies reactivas de oxígeno; y la regulación de vías vinculadas con apoptosis, proliferación celular, angiogénesis, fibrosis y señalización insulínica. (Hewlings & Kalman, 2017)

Por ello, su utilidad potencial se ha estudiado en cáncer, diabetes, síndrome metabólico, artritis, psoriasis, enfermedad intestinal inflamatoria, asma, bronquitis, alergia, enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y procesos de daño renal o hepático. Sin embargo, en un artículo científico debe plantearse como coadyuvante preventivo o modulador biológico, no como tratamiento curativo autónomo. (Kunnumakkara et al., 2017)

Bioquímicamente, la curcumina actúa como un modulador redox, antiinflamatorio y agente inmunometabólico. Sus principales acciones incluyen la inhibición de NF- κ B, COX-2, LOX, TNF- α , IL-1 β , IL-6 y STAT3; la activación de vías antioxidantes como Nrf2/HO-1; la reducción de especies reactivas de oxígeno; y la regulación de vías vinculadas a la apoptosis, proliferación celular, angiogénesis, fibrosis y señalización de insulina. (Hewlings & Kalman, 2017)

Por lo tanto, su potencial utilidad ha sido estudiada en cáncer, diabetes, síndrome metabólico, artritis, psoriasis, enfermedad inflamatoria intestinal, asma, bronquitis, alergia, enfermedades cardiovasculares, enfermedades neurodegenerativas y procesos de daño renal o hepático. Sin embargo, en un artículo científico, debería proponerse como un adyuvante preventivo o modulador biológico, no como un tratamiento curativo autónomo. (Kunnumakkara, et. A.l., 2017)

En cuanto a las neurodegeneraciones como el Alzheimer y la enfermedad de Parkinson, su importancia está relacionada con la reducción de la neuroinflamación, el estrés oxidativo, la

agregación de proteínas y la disfunción mitocondrial. La curcumina tiene el potencial de mejorar la inflamación endotelial, la peroxidación lipídica, la fibrosis y el daño oxidativo miocárdico en enfermedades cardiovasculares y cardiotoxicidad. (Gupta et al., 2013)

Su influencia en el cáncer se ha observado a través de la regulación de la apoptosis, el ciclo celular, la angiogénesis, la invasión tumoral y la señalización inflamatoria crónica. En la diabetes y las enfermedades metabólicas puede ayudar en la optimización de la sensibilidad a la insulina, el perfil inflamatorio y la homeostasis redox. En la enfermedad inflamatoria intestinal, la colitis, la alergia, el asma y la bronquitis, su función puede atribuirse a la modulación de la barrera epitelial, la respuesta inmune mucosa y los mediadores inflamatorios. (Aggarwal & Harikumar, 2009)

Discusión

La cúrcuma es una especia originaria de la India que ha despertado gran interés en las últimas décadas por su contenido de curcuminoides bioactivos (curcumina, demetoxicurcumina y bisdemetoxicurcumina). La curcumina (1,7-bis-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-hepta-1,6-dieno-3,5-diona), un polifenol lipofílico, podría actuar como agente anticancerígeno, antibiótico, antiinflamatorio y antienvjecimiento, según lo sugieren diversos estudios in vitro e in vivo, así como ensayos clínicos. Sin embargo, su baja solubilidad en agua, biodisponibilidad y perfil farmacocinético limitan su uso terapéutico. (Kotha, RR y Luthria, DL., 2019)

La cúrcuma, una especia de curry derivada de plantas, ha sido reconocida por sus propiedades medicinales.(Hewlings, S.; Kalman, D., 2017) Debido a estas ventajas, varios suplementos dietéticos de cúrcuma están disponibles en el mercado global con diferentes formulaciones y afirmaciones de salud (apoyando la comodidad de las articulaciones, promoviendo la movilidad y la flexibilidad, mejorando el funcionamiento cognitivo y proporcionando beneficios para la salud cardiovascular) (Santini, A.; Tenore, GC; Novellino, E., 2017; Amalraj, A.; Pius, A.; Gopi, S.; Gopi, S., 2017)

El principal metabolito de la cúrcuma, es la curcumina, una molécula excepcionalmente valiosa que la naturaleza nos brinda para proteger a los seres humanos de problemas de salud crónicos. Al observar su estructura química, podríamos suponer que su química es muy simple. Sin

embargo, con el avance de la investigación científica, la curcumina se revela como una estructura más compleja, única y difícil de comprender. Es una molécula simétrica que se encuentra en abundancia en la cúrcuma y que presenta una estabilidad relativamente alta en su forma natural. (Rege, S., Arya, M. & Momin, S., 2019)

Su uso en suplementos dietéticos, alimentos funcionales y nutraceuticos, ha ganado popularidad significativa a nivel mundial en las últimas décadas debido al creciente interés en los productos naturales y sus posibles beneficios para la salud. (Kunnumakkara, AB., e.t. A.I., 2018; Das, L.; Bhaumik, E.; Raychaudhuri, U.; Chakraborty, R., 2012) Además, los productos naturales a menudo se perciben como menos tóxicos en comparación con los productos derivados sintéticamente. (Goel, A.; Kunnumakkara, AB; Aggarwal, BB., 2008)

Los hallazgos combinados en la revisión actual indican que el desarrollo de la curcumina, de un fitocompuesto típico a una plataforma de nutraceuticos inteligentes, depende de la integración de la metabolómica, la epigenética, la nanotecnología y la medicina de precisión.

Esta visión corresponde con la evidencia científica de la curcumina como un modulador pleiotrópico que puede ejercer intervención sobre la inflamación, el estrés oxidativo, el metabolismo energético y la señalización celular, convirtiéndola en una de las moléculas nutraceuticas más versátiles reportadas hasta la fecha. (Pulido-Moran, M., Moreno-Fernaández, J., e.t. A.I., 2016)

De manera similar, tales resultados sugieren que la principal limitación histórica de la curcumina es su baja biodisponibilidad, lo que impulsó la progresiva aparición de sistemas de nanotransporte más avanzados y complejos que en una siguiente entrega explicaremos a detalle, mismos que van desde liposomas, micelas y niosomas hasta los micesomas de cuarta generación y los exosomas de quinta generación.

En la literatura clínica reciente; las formulaciones de curcumina bio-optimizadas producen resultados más consistentes en el síndrome metabólico, la osteoartritis, los trastornos inflamatorios y las enfermedades gastrointestinales que las formulaciones convencionales, apoyando aún más la idea de la integración de estrategias nanotecnológicas en el diseño nutraceutico moderno.

En biología molecular, muchos compuestos vegetales no actúan a través de una afinidad estructural directa con el genoma humano, sino más bien a través de la producción precisa de señales de adaptación metabólica que activan las vías de supervivencia, reparación y resiliencia celular. Aquí, la curcumina podría servir como un modulador epigenético eficiente con "disonancia" que puede activar mecanismos antioxidantes, antiinflamatorios y citoprotectores compensatorios al influir en las vías NF- κ B y Nrf2/HO-1 responsables de la homeostasis redox y la respuesta inflamatoria celular. (Li et al., 2016)

Esto podría justificar potencialmente los beneficios observados en enfermedades cardiometabólicas, resistencia a la insulina, neuroinflamación y cambios mitocondriales. Desde este punto de vista, la curcumina no sería un mero "supresor de la inflamación", sino un regulador bioenergético que se impulsa para forzar a la célula a regresar a su homeostasis redox. En condiciones experimentales, se ha demostrado que la curcumina reduce el edema cerebral, la apoptosis y el deterioro neurológico mediante la regulación cruzada de NF- κ B/Nrf2 junto con la expresión de HO-1. (Jin, et al., 2021)

Desde el campo del desarrollo nutracéutico, los hallazgos son de gran importancia ya que permiten el desarrollo de formulaciones específicas que abordan el microambiente de interés. Así, los nutracéuticos podrían desarrollarse principalmente sobre la base de:

1. Curcumina cetónica para la salud gastrointestinal y la microbiota.
2. Curcumina enólica para la regulación cardiometabólica y la neuroprotección.
3. Curcumina quinoide para la inmunomodulación y el control oxidativo especializado.

Es así como tautomerismo de la curcumina se convierte en un instrumento para la metabolómica de precisión y la epigenómica. En lugar de buscar una "integración" idealizada del ADN humano, el enfoque nutracéutico podría explotar esta disonancia funcional regulada para establecer vías adaptativas, aumentando la resiliencia celular, la flexibilidad metabólica y el control inflamatorio sistémico. (Surh, 2008)

No obstante, estas hipótesis necesitan ser validadas con transcriptómica comparativa, metabolómica funcional y ensayos clínicos reproducibles para realizar aplicaciones terapéuticas finales. Investigaciones recientes continúan confirmando que la curcumina y algunos otros

fitoquímicos son moduladores duales de las vías NF- κ B y Nrf2, que actualmente se consideran objetivos centrales para la citoprotección, la regulación inflamatoria y la quimioprevención. (Krajka-Kuźniak et al., 2021)

Finalmente, las ideas nutrigenómicas y epigenéticas proporcionan una nueva generación de nutraceuticos inteligentes que pueden trabajar con mecanismos de impresión metabólica, regulación de microARN, remodelación epigenética y plasticidad transcriptómica. Según esta perspectiva, la "disonancia genética funcional" podría tomarse como una señal adaptativa hormética que desencadena respuestas compensatorias favorables para la homeostasis celular, promoviendo la resiliencia metabólica, la regulación inflamatoria y la protección contra el exposoma. (Zafar, A., Lahori, D., et al., 2025) De esta manera, la curcumina ya no se ve como un mero agente antioxidante o antiinflamatorio, sino que se convierte en una plataforma molecular programable, capaz de ser diseñada a través de la metabolómica, la nanotecnología y la biología de sistemas. (Pagano Ester, Romano Barbara, Izzo Angelo A. & Borrelli Francesca, 2018)

Por lo que de acuerdo con el enfoque propuesto en por este autor en la revista IECC México, (Abuadili Garza V.A., 2026) el futuro desarrollo de nutraceuticos inteligentes probablemente se centrará en sistemas bioadaptativos capaces de responder a las características metabólicas individuales del paciente, integrando precisión molecular, transporte selectivo y regulación epigenética personalizada, basada en la metodología iterativa del Sistema ATDM desde la perspectiva causa – efecto (Abuadili Garza V.A. 2019, 2025a, 2025b) y de la Biosemiómica Clínica Aplicada. (Abuadili Garza V.A., 2025d, 2025e).

Conclusiones

Curcuma longa y su principal metabolito bioactivo, la curcumina, se encuentran entre los modelos fitoquímicos más relevantes en nutraceuticos moleculares debido a su capacidad para modular procesos inflamatorios, oxidativos, metabólicos y epigenéticos. Este trabajo realizó un estudio mecanicista integrador sobre el tautomerismo de la curcumina y su potencial interacción transcriptómica y epigenética con el ADN humano, formando finalmente el modelo de "disonancia genética funcional" como una respuesta bioquímica adaptativa capaz de inducir mecanismos celulares de resiliencia metabólica.

Utilizando biosemiómica clínica aplicada, se investigaron los aspectos tautómeros ceto, enólico y quinonoide de la curcumina con respecto a microambientes fisiológicos, como condiciones gastrointestinales ácidas, condiciones cardiometabólicas neutras/alcalinas y procesos oxidados relacionados con la inflamación y el estrés redox. Esta información indica que la curcumina es un modulador epigenético y transcriptómico que afecta las vías NF- κ B, Nrf2/HO-1, citocinas inflamatorias, estrés oxidativo, metabolismo mitocondrial y expresión génica relacionada con la inflamación silenciosa y la homeostasis energética.

Además, los beneficios de la curcumina podrían ser útiles para nutracéuticos dirigidos a diversos entornos biológicos y estados patológicos complejos, como enfermedades neurodegenerativas, cardiometabólicas, inmunológicas y gastrointestinales. Finalmente, los hallazgos indican que la interacción no completamente armoniosa entre los metabolitos vegetales y la regulación genética humana puede formar un mecanismo hormético adaptativo con potencial terapéutico, aunque se necesitan estudios transcriptómicos, epigenómicos y clínicos de alta resolución para estas hipótesis.

Referencias bibliográficas

- Ababei-Bobu, A., Profire, B.-Ş., Iacob, A.-T., Chirliu, O.-M., Lupaşcu, F. G., & Profire, L. (2025). Niosomes as Vesicular Carriers: From Formulation Strategies to Stimuli-Responsive Innovative Modulations for Targeted Drug Delivery. *Pharmaceutics*, 17(11), 1473. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17111473>
- Abuadili Garza V.A. (2025)a Entendiendo las Diez Causas que Originan Todas las Enfermedades. (2025). *IECCMEXICO*, 3(1). <https://doi.org/10.64784/080>
- Abuadili Garza V.A. (2025)b The Prevalence of the Causes of Diseases, under a Cause – Effect Approach. *Journal of Medical Science and Innovation*, 4(2), 127-135. DOI: <https://doi.org/10.54536/ajmsi.v4i2.6119>
- Abuadili Garza, V.A. (2025)c Biosemiómica Clínica Aplicada; Una Nueva Metodología de Investigación que Revoluciona la Medicina Actual. *Journal of Multidisciplinary Novel Journeys & Explorations*. Vol 3, No 1 DOI: <https://doi.org/10.63688/faryz258>

-
- Abuadili Garza V.A. (2025)d. Biosemiomics, the New Research Technique from the Cause-Effect Perspective. International Science Journal, 2(2). DOI: <https://doi.org/10.65784/068>
- Abuadili Garza, V. A. (2025)e. Definición / Herramienta / Metodología de la Biosemiómica y el Sistema ATDM como la Nueva forma de Investigar la Medicina Basada en Evidencias. ASCE MAGAZINE, 4(4), 2992–3021. <https://doi.org/10.70577/asce.v4i4.559>
- Abuadili Garza, V.A. (2026) Diferencias entre Suplemento Alimenticio y Nutracéutico desde una Perspectiva Causa–Efecto. IECCMEXICO, 4(3). <https://doi.org/10.64784/095>
- Abuadili Garza V.A. & García Súchil, M. (2026) Bioética en la Recomendación de Suplementos Alimenticios y Nutracéuticos. Innovación Integral, 3(1), 21-50. <https://doi.org/10.70577/2ttd6110>
- Aggarwal B.B. & Harikumar Kuzhuvelil B., (2009). Potential therapeutic effects of curcumin, the anti-inflammatory agent, against neurodegenerative, cardiovascular, pulmonary, metabolic, autoimmune and neoplastic diseases, The International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 41(1), 40-59, ISSN 1357-2725, <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2008.06.010>.
- Amalraj, A.; Pius, A.; Gopi, S.; Gopi, S. (2017). Actividades biológicas de los curcuminoides, otras biomoléculas de la cúrcuma y sus derivados: Una revisión. J. Tradit. Complement. Med., 7, 205–233. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.05.005>.
- Anand P., Kunnumakkara A.B., Newman R.A., & Aggarwal B., (2007). Bioavailability of Curcumin: Problems and Promises. Molecular Pharmaceutics. 4 (6), 807-818. <https://doi.org/10.1021/mp700113r>
- Chen P, Zhou X, Shen H., et al. (2010), Imágenes de fluorescencia de moléculas individuales de procesos nanocatalíticos. Chem Soc Rev; 39: 4560–70. <https://doi.org/10.1039/b909052p>

-
- Boyanapalli, S.S.S., Kong, A.N., (2015). “Curcumin, the King of Spices”: Epigenetic Regulatory Mechanisms in the Prevention of Cancer, Neurological, and Inflammatory Diseases. *Curr Pharmacol Rep* 1, 129–139. <https://doi.org/10.1007/s40495-015-0018-x>
- Cordes T, Blum SA. (2013) Oportunidades y desafíos en la microscopía de fluorescencia de moléculas y partículas individuales para estudios mecanísticos de reacciones químicas. *Nat Chem* 2013; 5: 993–9. 10.1038/nchem.1800
- Cheuka Dias A, Urban S, Roessner U. (2012). A historical overview of natural products in drug discovery. *Metabolites*; 2(2):303-336. <https://doi.org/10.3390/metabo2020303>. PMID: 24957513; PMCID: PMC3901206.
- Das, L., Bhaumik, E., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2012). Role of nutraceuticals in human health. *Journal of food science and technology*, 49(2), 173–183. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0269-4>
- Davery A., Agrawal S.K., e.t. A.I., (2020). Curcumin Protects against White Matter Injury through NF- κ B and Nrf2 Cross Talk. *Journal of Neurotrauma*; 37(10), <https://doi.org/10.1089/neu.2019.6749>
- Eivgi O, Blum SA. (2022). Explorando la química con microscopía de fluorescencia de moléculas individuales y partículas. *Trends Chem* 2022; 4: 5–14. <https://doi.org/10.1016/j.trechm.2021.10.006>
- García Súchil, M., Cruz Monroy, V., & Castellanos Gordillo, L. D. R. (2026). Evolución Cronológica del Sistema ATDM y su Consolidación Científica en el Diagnóstico Preventivo - Predictivo: Análisis Integral 2008–2025. *Emergentes - Revista Científica*, 5(4), 1078–1112. <https://doi.org/10.60112/erc.v5.i4.649>
- Gao, C., Gao, Q., Zhao, C., Huo, Y., Zhang, Z., Yang, J., Jia, C., & Guo, X. (2024). Technologies for investigating single-molecule chemical reactions. *National science review*, 11(8), nwae236. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwae236>

-
- Goel A, Kunnumakkara AB, Aggarwal BB. (2008). Curcumin as "Curecumin": from kitchen to clinic. *Biochem Pharmacol.*;75(4):787-809. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2007.08.016>. Epub 2007 Aug 19. PMID: 17900536.
- Gupta, S.C., Patchva, S. & Aggarwal, B.B. (2013). Therapeutic Roles of Curcumin: Lessons Learned from Clinical Trials. *AAPS J* 15, 195–218. <https://doi.org/10.1208/s12248-012-9432-8>
- Hansen, PE (2021). RMN de productos naturales como fármacos potenciales. *Molecules*. 26 (12), 3763. <https://doi.org/10.3390/molecules26123763>
- Hewlings, S. J., & Kalman, D. S. (2017). Curcumin: A Review of Its Effects on Human Health. *Foods (Basel, Switzerland)*, 6(10), 92. <https://doi.org/10.3390/foods6100092>
- Jin W, Botchway BOA, Liu X. (2021). Curcumin Can Activate the Nrf2/HO-1 Signaling Pathway and Scavenge Free Radicals in Spinal Cord Injury Treatment. *Neurorehabilitation and Neural Repair.*;35(7):576-584. <https://doi.org/10.1177/15459683211011232>
- Kabeer, A., Muhammad Mailafiya, M., Danmaigoro, A., Abdul Rahim, E. y Bu Bakar, MZA (2019). Potencial terapéutico de la curcumina contra la toxicidad inducida por plomo: Una revisión. *Investigación Biomédica y Terapia*, 6 (3), 3053-3066. <https://doi.org/10.15419/bmrat.v6i3.528>
- Kunnumakkara, A. B., Bordoloi, D., Padmavathi, G., Monisha, J., Roy, N. K., Prasad, S., and Aggarwal, B. B. (2017) Curcumin, the golden nutraceutical: multitargeting for multiple chronic diseases. *British Journal of Pharmacology*, 174: 1325–1348. <https://doi.org/10.1111/bph.13621>
- Li Wei, Nijasri C. Suwanwela, Patumraj Suthiluk (2016). Curcumin by down-regulating NF-kB and elevating Nrf2, reduces brain edema and neurological dysfunction after cerebral I/R,

Microvascular Research; 106, 117-127. ISSN 0026-2862,
<https://doi.org/10.1016/j.mvr.2015.12.008>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026286215300467>)

Malik, Parth, Mukherjee, Tapan K. (2014). Elucidación de la estructura y función de las actividades antioxidantes y prooxidativas del compuesto polifenólico curcumina, Chinese Journal of Biology, 396708, 8 páginas, 2014.
<https://doi.org/10.1155/2014/396708>

Moballeghe Nasery, M., Abadi, B., Poormoghadam, D., Zarrabi, A., Keyhanvar, P., Khanbabaei, H., Ashrafizadeh, M., Mohammadinejad, R., Tavakol, S., & Sethi, G. (2020). Curcumin Delivery Mediated by Bio-Based Nanoparticles: A Review. *Molecules*, 25(3), 689.
<https://doi.org/10.3390/molecules25030689>

Mortada E. M. (2024). Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine in Current Medical Practice. *Cureus*, 16(1), e52041. <https://doi.org/10.7759/cureus.52041>

Pagano Ester, Romano Barbara, Izzo Angelo A. & Borrelli Francesca, (2018). The clinical efficacy of curcumin-containing nutraceuticals: An overview of systematic reviews, *Pharmacological Research*.; 134, 79-91, ISSN 1043-6618,
<https://doi.org/10.1016/j.phrs.2018.06.007>.

Puri, V., Nagpal, M., Singh, I., Singh, M., Dhingra, G. A., Huanbutta, K., Dheer, D., Sharma, A., & Sangnim, T. (2022). A Comprehensive Review on Nutraceuticals: Therapy Support and Formulation Challenges. *Nutrients*, 14(21), 4637.
<https://doi.org/10.3390/nu14214637>

Rege, Sameera & Arya, Megha & Momin, Shamim. (2019). Structure activity relationship of tautomers of curcumin: a review. *Ukrainian Food Journal*. 8. 45-60.
<https://doi.org/10.24263/2304-974X-2019-8-1-6>.

Santini A, Tenore GC, Novellino E. (2017). Nutraceuticals: A paradigm of proactive medicine. *Eur J Pharm Sci*.;96:53-61. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2016.09.003>. Epub 2016 Sep 7. PMID: 27613382.

- Urošević, M., Nikolić, L., Gajić, I., Nikolić, V., Dinić, A. y Miljković, V. (2022). Curcumina: actividades biológicas y formas farmacéuticas modernas. *Antibióticos*, 11 (2), 135. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11020135>
- Vareed, S. K., Kakarala, M., Ruffin, M. T., Crowell, J. A., Normolle, D. P., Djuric, Z., & Brenner, D. E. (2008). Pharmacokinetics of curcumin conjugate metabolites in healthy human subjects. *Cancer epidemiology, biomarkers & prevention : a publication of the American Association for Cancer Research, cosponsored by the American Society of Preventive Oncology*, 17(6), 1411–1417. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-07-2693>
- Wang W., (2018). Imagen de la actividad química de nanopartículas individuales mediante microscopía óptica. *Chem Soc Rev*; 47: 2485–508. <https://doi.org/10.1039/C7CS00451F>
- Ward WE, Chilibeck PD, Comelli EM, Duncan AM, Phillips SM, Robinson LE, Stellingwerff T. Investigación en suplementos nutricionales y nutraceuticos para la salud, la actividad física y el rendimiento: Avanzando. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2019;44:455–460. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0781>.
- Zafar, A., Lahori, D., Namit, A. F., Paxton, Z., Ratna, N., Thornton, D., & Ramana, K. V. (2025). Curcumin in Inflammatory Complications: Therapeutic Applications and Clinical Evidence. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(19), 9366. <https://doi.org/10.3390/ijms26199366>

Declaraciones finales

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento: No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento: N/A

Nota editorial: El artículo no es producto de una publicación anterior.