

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, NATURALES Y AMBIENTALES

CARRERA DE MICROBIOLOGÍA

**Efectos de la microbiota intestinal en la función cerebral y su importancia dentro del
contexto académico universitario**

Monografía previa a la obtención del título de Licenciado en Microbiología

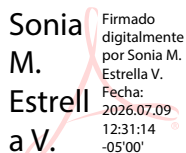
Nicolay Alejandro Santorum Franco

Quito, 2026

CERTIFICACIÓN

Certifico que la Monografía previa a la obtención del título de Licenciado en Microbiología del Sr. Nicolay Alejandro Santorum Franco ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Sonia
M.
Estrella
a V.



Firmado
digitalmente
por Sonia M.
Estrella V.
Fecha:
2026.07.09
12:31:14
-05'00'

Firma del tutor de la monografía
Mgr. Sonia Margarita Estrella Vásquez
Quito, 9 de julio de 2026

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a mi familia, que me apoyó dándome la oportunidad de experimentar la educación superior, me dio el sustento para concentrarme plenamente en mi desarrollo académico y me ayudó a despertarme todas las mañanas en las que el cansancio me dejaba inconsciente.

A mis profesores por todo el tiempo que dedicaron a conferirme la información y herramientas que utilizaré en mi vida laboral, por tenerme tanta paciencia y por mostrarme amabilidad todas aquellas ocasiones en las que mi esfuerzo no fue suficiente.

A mis amigos, quienes trabajaron a mi lado a pesar de todas mis carencias, me apoyaron en mis momentos más duros y me brindaron tantas memorias que atesoraré por el resto de mi vida.

Al club de teatro de la PUCE, por permitirme experimentar la dicha del arte y formar parte de una comunidad.

Y en específico, le dedico mi esfuerzo a Katherine y a Amy por ser las dos personas que mayor impacto han tenido sobre mi vida durante estos cuatro años de carrera.

Agradezco a todas estas personas por ser parte de mi camino en una etapa tan significativa de mi vida y por haber influenciado tanto la persona que me he vuelto.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
OBJETIVOS.....	10
OBJETIVO GENERAL	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
MARCO TEÓRICO	11
LA MICROBIOTA INTESTINAL: GENERALIDADES.....	11
PRODUCTOS DE LOS PROCESOS METABÓLICOS DE LA MICROBIOTA INTESTINAL	11
RELACIÓN EJE INTESTINO-CEREBRO-MICROBIOTA	15
MODULACIÓN DE LA MICROBIOTA INTESTINAL COMO ESTRATEGIA TERAPEUTICA	18
ESTRATEGIAS DE MEJORA COGNITIVA: CONTEXTO UNIVERSITARIO	21
CONCLUSIONES	26
REFERENCIAS	27
ANEXOS.....	33

RESUMEN

Los estudiantes universitarios en Ecuador son propensos a sufrir trastornos psicológicos como ansiedad y depresión debido a la complejidad y responsabilidades propias del contexto universitario. Esto reduce su desempeño y puede afectar su futuro profesional, por esta razón existe una necesidad de encontrar nuevos enfoques terapéuticos, entre los cuales surge la modulación de la microbiota intestinal. Este enfoque se basa en la interacción de la microbiota con el cerebro por medio del eje intestino-cerebro y la producción de metabolitos neuro activos como neurotransmisores (GABA, serotonina, dopamina), ácidos grasos de cadena corta (butirato, acetato, propionato) y ácidos biliares. Estos metabolitos funcionan como señales para el sistema nervioso que pueden promover y regular la actividad de partes específicas del cerebro, así como otros procesos relacionados a la respuesta inmune y la inflamación. En base a esta interacción, múltiples estudios demuestran un efector reductor de los síntomas de varios trastornos psicológicos por el consumo de probióticos, lo cual, demuestra un valor de esta estrategia como alternativa terapéutica. Sin embargo, la compra de suplementos probióticos puede no ser viable en la realidad del estudiante común por lo que se propuso el cambio de dieta por alimentos fermentados y ricos en fibras y consumo de otros prebióticos, así como actividad física regular, como estrategia factible para que los estudiantes puedan aplicarla durante su etapa académica para mejorar su desempeño y prevenir o reducir los efectos de trastornos psicológicos.

Palabras clave: depresión, dieta, eje intestino-cerebro, microbiota, neurotransmisores

ABSTRACT

Ecuadorian university students tend to suffer from psychological disorders such as anxiety and depression due to the inherent complexity and responsibilities from a university academic context. This lowers their performance and could negatively affect their future as professionals. For this reason, there is a need to find new therapeutic approaches, from which emerges the modulation of the gut microbiota. This approach is based on the interaction between the gut microbiota and the brain through the brain-gut axis and the production of neuroactive metabolites such as neurotransmitters (GABA, serotonin, dopamine), short chain fatty acids (butyrate, acetate, propionate) and bile acids. These metabolites function as signals to the central nervous system that can promote and regulate the activity of specific parts of the brain and other processes related to immune response and inflammation. Based on this interaction, multiple studies have demonstrated a mitigating effect on the symptoms of various psychological disorders by the consumption of probiotics, which demonstrates the value of this strategy as a therapeutic alternative. Nevertheless, the purchase of probiotic supplements may not be viable considering the reality of the average student and because of it, this work presents the integration of fermented foods on the diet and the consumption of prebiotics and high-fiber foods as a more plausible strategy that students could apply through their academic journey to better their performance and prevent or reduce the effects of psychological disorders.

Keywords: depression, diet, gut-brain axis, microbiota, neurotransmitters

INTRODUCCIÓN

La vida universitaria implica una combinación de exigencias académicas, sociales y personales que pueden comprometer el equilibrio físico y mental de los estudiantes. Entre los factores que influyen en este proceso se encuentran los hábitos alimenticios, los cuales desempeñan un papel determinante en la composición y funcionalidad de la microbiota intestinal, entendida como el conjunto dinámico de comunidades microbianas que habitan el tracto gastrointestinal (Martin et al., 2018; Mansour et al., 2021; Merlo et al., 2024). Alteraciones sostenidas en estos hábitos pueden inducir cambios en la diversidad y abundancia microbiana, con potenciales repercusiones sistémicas que trascienden el ámbito digestivo.

Diversas investigaciones han demostrado que la alteración de la microbiota intestinal, conocida como disbiosis, puede modificar la comunicación bidireccional entre el intestino y el sistema nervioso central a través del denominado eje intestino-cerebro (Merlo et al., 2024). Este eje integra señales neuronales, inmunológicas y metabólicas que influyen en funciones cognitivas y emocionales como la memoria, la atención y la regulación del estado de ánimo (Hameed et al., 2024; Liu et al., 2023). En el contexto universitario, estas alteraciones podrían manifestarse como dificultades de aprendizaje, disminución del rendimiento académico y mayor vulnerabilidad a trastornos como la ansiedad y la depresión.

A pesar de la creciente evidencia sobre la relación entre microbiota intestinal y función cerebral. Su análisis aplicado específicamente a poblaciones universitarias sigue siendo limitado. Esto plantea un problema relevante, dado que los estudiantes se encuentran en una etapa de alta demanda cognitiva y emocional, susceptible a factores moduladores como la dieta, la edad y el estilo de vida. En este contexto, surge la necesidad de analizar de manera integrada cómo las alteraciones en la microbiota intestinal pueden influir en la función cerebral

y, potencialmente, en el desempeño académico y el bienestar mental de los estudiantes universitarios.

El estudio del eje intestino-cerebro ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos años, con investigaciones centradas en comprender su papel en el funcionamiento cerebral y en la fisiopatología de trastornos mentales como ansiedad y la depresión (Xiong et al., 2023). Estos estudios han abordado la temática desde distintos enfoques, incluyendo el análisis de la composición microbiana, la identificación de metabolitos bioactivos y la evaluación de intervenciones dietéticas y terapéuticas orientadas a modular la microbiota intestinal (Chakrabarti et al., 2022; Merlo et al., 2024).

No obstante, persisten vacíos de conocimiento que justifican la continuidad de la investigación en este campo. Entre ellos se destacan la limitada caracterización de los mecanismos moleculares y metabólicos mediante los cuales la microbiota influye en la función cerebral, la identificación incompleta de géneros microbianos con efectos beneficiosos específicos y la escasez de estudios que evalúen los efectos a largo plazo de estrategias de modulación microbiana (Bastiaanssen et al., 2020; Chakrabarti et al., 2022; Cox & Weiner, 2018). Adicionalmente, muchos trabajos se basan en poblaciones reducidas o poco diversas, lo que restringe la extrapolación de sus resultados.

La Organización Mundial de la Salud (2025) define la salud mental como un estado de bienestar que permite a las personas afrontar el estrés cotidiano, desarrollar sus capacidades y contribuir a su comunidad, el cual está influenciado por factores sociales, psicológicos y ambientales. En Ecuador, diversos estudios han evidenciado una alta prevalencia de ansiedad, depresión y estrés en estudiantes universitarios, con un incremento significativo posterior a la pandemia de COVID-19 (Moreta-Herrera et al., 2021; Cedeño et al., 2024). Estas condiciones impactan de manera directa en el rendimiento académico y en

la calidad de vida (Cedeño et al., 2024; Jaica et al., 2023), lo que refuerza la necesidad de explorar enfoques integradores basados en evidencia científica.

En este sentido, profundizar en la relación entre la microbiota intestinal y la función cerebral podría aportar una perspectiva complementaria para comprender los desafíos de la salud mental en el ámbito universitario. El análisis de esta relación no sólo tiene implicaciones científicas, sino también un componente de responsabilidad social, al abrir la posibilidad de desarrollar estrategias preventivas y de apoyo basadas en la promoción de hábitos alimentarios y estilo de vida saludables (Cryan et al., 2019; Morais et al., 2021).

Por lo tanto, la presente monografía tiene como objetivo analizar los efectos de la microbiota intestinal sobre la función cerebral y su relevancia en el contexto universitario, a partir de la revisión y síntesis crítica de literatura científica reciente. En particular, se busca responder a las siguientes preguntas de investigación: ¿Cómo se relaciona la composición de la microbiota intestinal con la función cerebral y el bienestar mental en estudiantes universitarios? ¿Qué mecanismos y metabolitos microbianos han sido implicados en esta interacción? Y ¿Qué estrategias de modulación de la microbiota han mostrado evidencia de beneficio en el ámbito de la salud mental?

Se espera que esta investigación aporte una revisión clara, actualizada y contextualizada sobre el papel de la microbiota intestinal en la función cerebral, con énfasis en su importancia para la población universitaria. Los resultados podrán servir como base para futuras líneas de investigación, así como para el diseño de estrategias académicas y de bienestar que consideren la modulación de la microbiota como una herramienta complementaria para promover la salud mental y el rendimiento académico.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar, mediante revisión bibliográfica, cómo los mecanismos de interacción entre la microbiota intestinal y el eje intestino-cerebro influyen en la función cognitiva y la salud mental de estudiantes universitarios.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar las rutas, moléculas y procesos involucrados en la interacción entre la microbiota intestinal y el eje intestino-cerebro y su influencia en la modulación de funciones cognitivas.

Analizar los factores que favorecen la disbiosis intestinal y las consecuencias que pueden generar sobre el comportamiento y las capacidades cognitivas en estudiantes universitarios.

Proponer estrategias basadas en la modulación de la microbiota intestinal que contribuyan a mejorar la función cognitiva y el bienestar mental, en beneficio del rendimiento académico universitario.

MARCO TEÓRICO

LA MICROBIOTA INTESTINAL: GENERALIDADES

PRODUCTOS DE LOS PROCESOS METABÓLICOS DE LA MICROBIOTA INTESTINAL

La microbiota intestinal es una comunidad dinámica constituida por un amplio rango de géneros y especies con diversas capacidades metabólicas, lo que genera un extenso y diverso conjunto de metabolitos llamado metaboloma (Vernocchi et al., 2020; Marc et al., 2022). Se clasifican principalmente en metabolitos primarios, productos involucrados en procesos esenciales para el funcionamiento celular, y secundarios, productos no esenciales que proveen una ventaja para la supervivencia (Vernocchi et al., 2020). La producción de ciertos metabolitos puede depender de sustratos específicos proporcionados por la dieta, otros resultan de la modificación de moléculas y compuestos generados por el hospedero y otros son generados *de novo*, es decir, son resultado de la síntesis de moléculas complejas a partir de otras más simples (J. Liu et al., 2022).

Entre los principales metabolitos encontrados están ácidos grasos de cadena corta, ácidos biliares, vitaminas, neurotransmisores, metabolitos de colina, derivados de triptófano e indol, gases como CH₄ y CO₂, y compuestos inhibidores como antibióticos y bacteriocinas (J. Liu et al., 2022).

Los ácidos grasos de cadena corta, como el acetato, butirato y propionato, son comúnmente generados a partir de la fermentación de carbohidratos y aminoácidos por diversas poblaciones presentes en el intestino (J. Liu et al., 2022); un ejemplo es *Faecalibacterium prausnitzii* que principalmente produce butirato (Tarracchini et al., 2024). Los ácidos biliares son producto de los esteroides hidroxilados generados por las células

del hígado o hepatocitos y su biosíntesis es realizada por géneros como *Bacteroides*, *Lactobacillus*, *Listeria*, *Clostridium* y *Bifidobacterium* (Wise & Cummings, 2023).

El triptófano es un aminoácido esencial que se obtiene enteramente de la dieta a partir del metabolismo de proteínas y péptidos (Li et al., 2021). Si bien los microorganismos como *E. coli* pueden producir triptófano, la biosíntesis de este aminoácido por actividad microbiana representa un porcentaje mínimo del triptófano total dentro del hospedador (Lukić et al., 2022). En este sentido, el valor de la microbiota no recae en la producción de este aminoácido sino en el uso de este como sustrato para producir otros metabolitos, entre ellos el indol y sus derivados (Lukić et al., 2022). El indol es producido gracias a la acción de la enzima triptofanasa que es producida por especies como *E. coli*, mientras que otros derivados como indol-3-piruvato (IPyA), indol-3-lactato (ILA), indol-3-acrilato (IA) e indol-3-propionato (IPA), son producidos por *Bifidobacterium* spp. (ILA) *Lactobacillus* spp. (ILA) *Clostridium* spp. (ILA, IA, IPA) *Peptostreptococcus* spp. (IA, IPA) y *Lechevalieria aerocolonigenes* (IPA) (Li et al., 2021). Algunas de las enzimas que participan en estos procesos son la aminoácido-aromático aminotransferasa que transforma triptófano en IPyA, fenillactato deshidrogenasa que reduce IPyA a ILA, fenillactato deshidratasa que deshidrata ILA en IA y acil-CoA deshidrogenasa que convierte IA en IPA (Li et al., 2021), pero pueden observarse otras rutas metabólicas que siguen otros patrones enzimáticos. A partir del metabolismo de triptófano y otros aminoácidos, también se pueden generar neurotransmisores o sus precursores, por ejemplo, dopamina a partir de tirosina, serotonina a partir de triptófano y ácido γ -aminobutírico (GABA) a partir de glutamato, el cual, es por si mismo otro neurotransmisor (J. Liu et al., 2022). Los neurotransmisores son moléculas químicas producidas por las neuronas o la microbiota que son capaces de transmitir señales por lo que tienen un rol fundamental en el control y regulación de funciones como la memoria, el movimiento, etc (Chen et al., 2021). Algunos ejemplos de la producción de neurotransmisores se observa en géneros como *Lactobacillus*, *Bacteroides* y *Bifidobacterium*, con capacidad de producir GABA; *Bacillus* y *Serratia* que

producen dopamina; especies como *Corynebacterium glutamicum*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus paracasei*, *Brevibacterium avium*, *Mycobacterium smegmatis*, *Bacillus subtilis* y *Brevibacterium lactofermentum* capaces de producir D-glutamato; y géneros como *Escherichia*, *Hafnia*, *Bacteroides*, *Streptococcus*, *Bifidobacterium*, *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Morganella*, *Klebsiella*, *Propionibacterium*, *Eubacterium*, *Roseburia*, *Prevotella* y *Candida* que producen serotonina, cuya producción microbiana en los intestinos representa cerca del 90% de su cantidad total en el cuerpo (L. Liu et al., 2022; Dicks, 2022).

Ciertos gases como hidrógeno, metano, dióxido de carbono y óxido nítrico son naturalmente producidos por el metabolismo de la mayoría de poblaciones microbianas del intestino, siendo las principales productoras aquellas pertenecientes a los filos Bacteroidota y Bacillota, que producen cerca del 90 % de gases presentes (Mutuyemungu et al., 2023). Los gases más producidos son hidrógeno y dióxido de carbono por medio de glucólisis y fermentación; los géneros productores más abundantes son *Bacteroides*, *Ruminococcus* y *Roseburia* (Mutuyemungu et al., 2023). Existen además poblaciones, como aquellas pertenecientes a los géneros *Bacteroides*, *Bifidobacterium* e incluso ciertas cepas de *Escherichia coli*, que son además capaces de sintetizar vitaminas *de novo*, principalmente aquellas pertenecientes al grupo B (Tarracchini et al., 2024).

Los metabolitos interactúan de diversas formas tanto con las células del hospedero como con la propia comunidad microbiana (J. Liu et al., 2022). Estas interacciones pueden influenciar significativamente los distintos procesos vitales de las poblaciones presentes, lo que implica una estrecha relación entre el metaboloma y la composición de la microbiota intestinal (J. Liu et al., 2022). Compuestos como los derivados de indol pueden funcionar como señalizadores que regulan procesos celulares del hospedero o de las propias poblaciones de la microbiota. Por ejemplo, derivados como el ácido indol-3-láctico, producto del metabolismo de triptófano por *Lactobacillus* spp.,

pueden inducir el receptor celular AhR, lo cual, aumenta la expresión de genes relacionados a la respuesta inmune e integridad de la barrera intestinal (Zhou et al., 2025). Uno de estos genes es el productor de IL-22, citocina involucrada en la regulación de la integridad epitelial del intestino y la inflamación (Zhou et al., 2025). En cuanto al efecto sobre poblaciones microbianas, estas moléculas pueden influir en procesos como la formación de esporas y *biofilms*, la estabilidad de plásmidos, motilidad, virulencia y resistencia antibiótica (Li et al., 2021). Un ejemplo es la reducción de la expresión de genes de virulencia de la isla de patogenicidad LEE de especies como *E. coli* cuando existen altas concentraciones de indol, debido a la interacción de esta molécula con la cinasa sensora CpxA presente en la membrana celular (Li et al., 2021).

La comunidad microbiana del intestino es capaz de producir compuestos inhibitorios como antibióticos y bacteriocinas a manera de competencia, lo cual, previene la colonización de patógenos y regula la composición de la microbiota, manteniendo así el equilibrio de la comunidad. Estas bacteriocinas tienen una alta especificidad por lo que son efectivas contra especies patógenas, pero no afectan significativamente al resto de poblaciones que forman parte de la comunidad establecida de los intestinos, por ejemplo, turicina CD que es efectiva contra a *Clostridioides difficile* (Zhang et al., 2025). Además, estas moléculas pueden tener otros efectos además de la inhibición, como es el caso de plantaricina EF, la cual, se ha observado que puede incrementar la producción de proteínas que fortalecen y preservan la integridad del epitelio intestinal (Zhang et al., 2025). Dentro de los géneros observados con mayor capacidad para producir bacteriocinas se encuentran *Streptococcus*, *Prevotella*, *Faecalibacterium*, y *Bacteroides* (Zhang et al., 2025). Los ácidos grasos de cadena corta pueden promover la producción de anticuerpos específicos como sIgA que neutralizan patógenos invasivos como *Salmonella enterica* o *Clostridioides difficile* (J. Liu et al., 2022). Finalmente, los ácidos biliares, además de tener propiedades detergentes, también interactúan con receptores específicos del hospedero como GPBAR1, FXR, PXR, S1P y S1PR2, los cuales se

encuentran en células de órganos como el hígado y los intestinos (Lin et al., 2023). Gracias a esta interacción, los ácidos biliares son capaces de regular procesos como la regeneración del epitelio intestinal, el metabolismo de lípidos y glucosa, la protección contra toxicidad en el hígado y la regeneración de células madre (Lin et al., 2023). Adicionalmente, esta interacción con receptores puede inducir la transcripción de moléculas involucradas en la respuesta inmune, como es el caso cuando hay interacción con el receptor FXR, donde se induce la producción de la óxido nítrico sintasa, la cual, sintetiza óxido nítrico, un neurotransmisor involucrado en la respuesta inflamatoria (J. Liu et al., 2022).

La interacción de este metaboloma con el hospedero influencia múltiples procesos en el organismo, entre los que se encuentran las funciones cognitivas. Este efecto se da gracias a la relación existente entre la microbiota intestinal y el eje intestino-cerebro por medio de mecanismos como el transporte de metabolitos intestinales, principalmente neurotransmisores, al cerebro a través de la barrera hematoencefálica (Chen et al., 2021).

RELACIÓN EJE INTESTINO-CEREBRO-MICROBIOTA

El eje intestino-cerebro es la vía de comunicación bidireccional entre el intestino y el cerebro. Este está conformado por el sistema nervioso central, el sistema nervioso entérico, el sistema nervioso autónomo y el eje hipotalámico-hipofisario-suprarrenal (Chakrabarti et al., 2022). Las distintas partes de este eje se ven detalladas en los esquemas publicados en el trabajo de Dicks (2022) sobre la microbiota y los neurotransmisores que se adjuntan en los anexos de este trabajo como la Figura 1 y 2.

El sistema nervioso central es un sistema complejo de neuronas, células capaces de transmitir señales eléctricas y químicas, y células gliales, células no neuronales del

sistema nervioso con distintas funciones como proteger, sostener y nutrir a las neuronas. Dentro de este sistema se encuentra el cerebro.

El sistema nervioso autónomo o extrínseco se encarga de regular procesos fisiológicos involuntarios como la presión arterial o la respiración y entra en contacto con el intestino por medio del nervio vago. Este nervio se extiende del cerebro al abdomen, se encuentra debajo del epitelio intestinal y se encarga de regular el funcionamiento de los órganos internos por lo que está implicado en la digestión, respiración y ritmo cardíaco (Chakrabarti et al., 2022). Su funcionamiento es mediado por nervios aferentes, nervios que envían señales desde receptores sensoriales al sistema nervioso central, y eferentes, nervios que envían señales desde el sistema nervioso central a los órganos. Gracias a esta interacción, distintos estímulos presentes en el intestino pueden influenciar la regulación de la respuesta inmune, el estado de ánimo y la digestión (Chakrabarti et al., 2022). Esto lo convierte en la principal vía de interacción entre la microbiota intestinal y el cerebro.

El sistema nervioso entérico es parte del sistema nervioso autónomo, se extiende por el tracto intestinal y su función es controlarlo. Frecuentemente se refiere a este como el “segundo cerebro” debido a alta concentración de neuronas y células gliales que lo conforman (Crocetta et al., 2024).

Y por último, el eje hipotalámico-hipofisario-suprarrenal es un sistema neuroendocrino que regula la respuesta al estrés, la digestión, el estado de ánimo y la respuesta inmune, por medio de señales químicas que se transportan por el tracto sanguíneo llamadas hormonas. Este es parte del eje intestino-cerebro debido a que uno de los mecanismos de interacción entre el sistema nervioso central y el intestino es la producción y regulación de hormonas, tanto por la actividad de la comunidad microbiana como por los procesos del cuerpo del hospedador.

Una vez explicados los componentes del eje intestino-cerebro, se puede discutir las interacciones de este con la microbiota intestinal las cuales, se dan principalmente por los productos metabólicos de la comunidad microbiana.

Comenzando por los neurotransmisores, estos son capaces de entrar al sistema circulatorio, mientras que sus precursores pueden cruzar la barrera hematoencefálica que protege al sistema nervioso central, llegar al cerebro y ser transformados en su respectivo neurotransmisor (Chen et al., 2021). Los ejemplos principales son el GABA, la dopamina, serotonina y el glutamato.

El GABA está involucrado en el comportamiento, cognición y respuestas de estrés, ansiedad y miedo, por lo que niveles bajos de este pueden asociarse con trastornos como la esquizofrenia, el autismo y la depresión (Chakrabarti et al., 2022). La dopamina es el principal neurotransmisor involucrado en el sistema de recompensa por lo que está relacionado a la reacción de alerta, la excitación, el comportamiento y la cognición (Chakrabarti et al., 2022). La serotonina regula el apetito, el estado de ánimo, la cognición la motilidad del intestino y los patrones de sueño, y algunos autores estiman que el 80 % de esta es producida por la microbiota intestinal, específicamente por géneros como *Propionibacterium*, *Bacteroides*, *Roseburia*, *Streptococcus*, *Bifidobacterium*, *Hafnia*, *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Morganella*, *Klebsiella*, *Eubacterium*, *Prevotella* y especies como *E. coli* (Dicks, 2022). El glutamato es un componente crucial en la memoria que forma parte de la estructura de la pared celular bacteriana y a partir de este se obtiene el GABA por medio de la enzima glutamato descarboxilasa que producen especies como *Corynebacterium glutamicum*, *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactococcus lactis*, *Bacillus subtilis*, etc (Dicks, 2022).

Otros metabolitos importantes son los ácidos grasos de cadena corta, a los cuales se los asocia con procesos fisiológicos como el ritmo circadiano, la regulación de la presión arterial y maduración de células inmunes en el cerebro, además de ser importantes fuentes de energía (O’Riordan et al., 2022). Estas moléculas son capaces de entrar al torrente sanguíneo y atravesar la barrera hematoencefálica, y han mostrado tener la capacidad de atenuar la respuesta de cortisol masculina tras momentos de estrés psicosocial y de aumentar la secreción de serotonina por medio de la estimulación del colon (O’Riordan et al., 2022). Se ha visto que niveles alterados de estos pueden estar relacionados con desórdenes y condiciones como Alzheimer y estrés crónico (O’Riordan et al., 2022).

Es gracias a estos metabolitos que existe una influencia significativa de la microbiota intestinal sobre el sistema nervioso central, lo cual, se puede aprovechar como un nuevo enfoque para tratar déficits o trastornos cognitivos a través de la modulación de esta microbiota. En el siguiente apartado se presenta algunos de los resultados observados al implementar este enfoque terapéutico.

MODULACIÓN DE LA MICROBIOTA INTESTINAL COMO ESTRATEGIA TERAPÉUTICA

Debido a la relación previamente discutida entre la homeostasis de la microbiota intestinal y la salud del hospedador, se abre la posibilidad de usar la modulación de la comunidad microbiana como una estrategia terapéutica para distintos trastornos psicológicos e incluso para la mejora de procesos cognitivos. Por ejemplo, se ha visto que el consumo de probióticos tiene la capacidad de reducir respuestas de estrés, así como síntomas de ansiedad y depresión, en modelos animales y humanos (Crocetta et al., 2024).

Muchos estudios ponen a prueba los efectos del consumo de ciertos probióticos comerciales sobre la actividad cerebral y como resultado se pueden establecer relaciones entre ciertas especies microbianas y ciertos beneficios cognitivos. En el trabajo de revisión de Crocetta et al. (2024), se observaron múltiples estudios que demuestran una relación entre el consumo de productos probióticos lácticos y la reducción de la actividad de regiones del cerebro involucradas en el procesamiento de emociones, lo que puede resultar en una mejor toma de decisiones y regulación de emociones. Estos productos suelen contener especies probióticas como *Bifidobacterium animalis* subsp *lactis*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactococcus lactis* subsp *lactis*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Bifidobacterium longum* o *Lactiplantibacillus plantarum*. Otros efectos vistos son la disminución de actividad en áreas relacionadas a los pensamientos autoreferenciales y el estrés, lo que se traduce a un aumento de la concentración en actividades externas y una mayor productividad; también ocurre una disminución de la sensibilidad a estímulos negativos gracias a la reducción de conectividad de ciertas regiones del cerebro, lo que mitiga los efectos de la ansiedad y depresión (Crocetta et al., 2024; Xiong et al., 2023). Además, existe un aumento de actividad en el proceso e integración de la memoria, así como en la capacidad de reconocer información o estímulos previos (Cox & Weiner, 2018; Crocetta et al., 2024).

Los efectos de los probióticos comerciales se han estudiado en pruebas clínicas en los años recientes. En el estudio de Rode et al. (2022) se observó que el producto comercial Puraflor compuesto por las cepas *Bifidobacterium longum* R0175, *Lactobacillus helveticus* R0052 y *Lactiplantibacillus plantarum* R1012 influyó en la modulación de respuestas a estrés. Además, se observó que los cambios generados en la actividad cerebral podrían indicar una mejora en la memoria, en el pensamiento autoreferencial, en funciones relacionadas a la comunicación y procesamiento visual, y en la optimización de la actividad cerebral, lo cual, se puede traducir en una mejor regulación emocional y cognitiva (Crocetta et al., 2024). En otro estudio se puso a prueba el producto

Ecologic®Barrier que contiene las cepas *B. bifidum* W23, *B. lactis* W52, *L. acidophilus* W37, *L. brevis* W63, *L. casei* W56, *L. salivarius* W24, *Lc. lactis* W19, *Lc. Lactis* W58 y se vio que tiene la capacidad de amortiguar el impacto del estrés agudo sobre la memoria, lo que podría mejorar el desempeño cognitivo durante situaciones de estrés (Papalini et al., 2018).

Los trabajos antes mencionados se centraron en poblaciones de estudio normales, pero también se ha evaluado los efectos de probióticos en personas con trastornos psicológicos como lo expuesto por Schaub et al. (2022), que muestran que el consumo de Vivomixx® con las cepas *Streptococcus thermophilus* NCIMB 30438, *Bifidobacterium breve* NCIMB 30441, *Bifidobacterium longum* NCIMB 30435, *Bifidobacterium infantis* NCIMB 30436, *Lactobacillus acidophilus* NCIMB 30442, *Lactiplantibacillus plantarum* NCIMB 30437, *Lactobacillus paracasei* NCIMB 30439, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* NCIMB 30440, reducen la actividad del putamen, región involucrada en el procesamiento de emociones y el sistema de recompensa al que se relaciona el sentimiento de placer. En trastornos como la depresión, también existe una actividad irregular del putamen, (Jeong et al., 2025). Esto causa respuestas más intensas a estímulos negativos y menos intensas a estímulos neutrales y positivos, lo que resulta en un sesgo emocional negativo (Jeong et al., 2025), es decir, las emociones negativas influyen significativamente la toma de decisiones, por lo que los efectos de Vivomixx® sobre el putamen podrían ser reflejo de la reducción de los efectos de la depresión.

Los resultados de estos estudios demuestran un mejoramiento del desempeño cognitivo bajo estrés, estabilidad cognitiva y emocional, regulación de ánimo, normalización de sistemas neuronales, reducción de inflamación en el cerebro, ralentización de procesos neurodegenerativos y estimulación de la neuroplasticidad, como efecto del consumo de probióticos (Crocetta et al., 2024; Xiong et al., 2023). Sin embargo, existen muchos factores que pueden afectar la microbiota intestinal y varios de

estos estudios tienen limitaciones en cuanto a las variables que fueron capaces de analizar, por lo que los beneficios observados pueden haber sido causados en parte por otros factores como la dieta de cada individuo o el uso de medicación (Crocetta et al., 2024). Aun así, la información obtenida sobre sus efectos permite diseñar estrategias con potencial benéfico para el desempeño cognitivo, las cuales, se presentan en el siguiente capítulo.

ESTRATEGIAS DE MEJORA COGNITIVA: CONTEXTO UNIVERSITARIO

Entre los principales trastornos del estado de ánimo y trastornos emocionales que podrían afectar a los estudiantes universitarios están el estrés, la ansiedad y la depresión (Jalca et al., 2023). Estos trastornos son resultado de las responsabilidades y dificultades que trae consigo la educación superior, lo cual, puede llevar al descuido de la salud por acciones como saltarse comidas, dormir poco o consumir una dieta desbalanceada.

El estudiante debe dedicar tiempo al estudio y al cumplimiento de trabajos, y en muchos casos incluso, a un empleo. Esto limita la energía y tiempo que dispone para otras actividades, lo cual puede llevar a la omisión de estas. El ejemplo más claro es la reducción de las horas de sueño. Si bien se conocen los beneficios de tener un horario de descanso adecuado, los estudiantes se pueden ver obligados a sacrificar horas de este para poder completar con sus responsabilidades. La concentración en el trabajo académico puede reducir el apetito y llevar a un menor consumo de alimentos o a la completa omisión de estos. Sin embargo, es incluso más común que los estudiantes lleven una dieta basada en productos de bajo valor nutricional, esto en parte a la conveniencia de no tener que preparar comida y la rapidez para servirse estos alimentos; el dinero también suele ser un factor limitante a la hora de la alimentación.

Muchos estudiantes universitarios pueden presentar limitaciones a nivel económico por lo que la obtención de suplementos probióticos o tratamientos como la transferencia de materia fecal (Fond et al., 2020), no se podrían considerar como estrategias viables para la realidad del estudiante promedio y sería necesario adaptarlas a acciones simples y convenientes que no representen un sacrificio.

Una consideración importante es el buscar métodos que eviten o reviertan la disbiosis de la microbiota intestinal, esto debido a que se ha visto que individuos con trastornos psicológicos presentan alteraciones en su comunidad microbiana y la regulación de esta ha tenido efectos prometedores en la disminución de síntomas y en el proceso de su recuperación (Barandouzi et al., 2020).

Una opción viable es la modificación de la dieta por alimentos que promuevan la presencia de microorganismos productores de neurotransmisores y ácidos grasos de cadena corta. Algunos géneros deseados son *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Leuconostoc*, *Bifidobacterium*, *Saccharomyces*, *Streptococcus*, *Pediococcus* y *Enterococcus* (Yoo et al., 2024). En base a esto, una dieta basada en productos fermentados puede llegar a mantener un equilibrio y promover la presencia de poblaciones benéficas en el intestino. Los ácidos grasos de cadena corta son producidos a base de la fermentación de polisacáridos complejos por lo que el consumo de fibra a forma de prebiótico puede fomentar la producción de estos metabolitos. Otros prebióticos que benefician la biodiversidad de la microbiota intestinal, son los oligómeros de fructosa, que se encuentran en tomates, plátanos, cebollas y trigo (Yoo et al., 2024).

De manera más directa, en productos lácteos se suelen encontrar altas concentraciones de ácidos grasos de cadena corta. Un ejemplo claro es el kéfir de leche, que tiene el potencial de no solo proporcionar estos metabolitos, sino también especies probióticas, principalmente del género *Lactobacillus*, pero también otras bacterias ácido

lácticas, ácido acéticas y levaduras. El kéfir vendido comercialmente puede llegar a ser caro, pero la producción de kéfir casero es mucho más asequible por lo que puede llegar a ser una estrategia efectiva. Además del kéfir de leche, también existe el kéfir de agua, pero a comparación del primero, en la literatura existe una menor cantidad de trabajos dedicados a su estudio, por lo que, si bien se conoce que la composición microbiana de ambos es distinta y que a pesar de esto sus efectos llegan a ser similares, se carece de suficiente evidencia para poder hacer una comparativa entre ambos que determine que uno sea mejor que otro (Guzel-Seydim et al., 2021). Dicho esto, la elección de kéfir de agua puede ser una opción más viable para personas veganas o que presentan alergias a alimentos lácteos, debido a que se mantienen muchos de los efectos observados en el kéfir de leche, entre los que se tiene efectos protectores para el hígado y el sistema gastrointestinal, inmunológicos, antiinflamatorios, antioxidantes y antimicrobianos (Guzel-Seydim et al., 2021). Estos efectos son en parte resultado de la presencia de compuestos bioactivos como el kefirano, exopolisacárido con efectos antioxidantes e inmunomoduladores que puede fomentar la secreción de IgA y la activación de macrófagos (Milanda et al., 2026). Otros compuestos bioactivos son vitaminas, neurotransmisores, bacteriocinas, ácidos orgánicos y péptidos bioactivos (Milanda et al., 2026). Gracias a esto, el consumo de kéfir mantiene la salud del sistema gastrointestinal y tiene un potencial regulatorio de la respuesta inmune que reduce la probabilidad de una disbiosis en la microbiota. En cuanto a la composición de ambos kéfirs, en base a la información detallada en el trabajo de Guzel-Seydim et al. (2021) en el kéfir de leche se observa un 50 % *Lactobacillus* sp., 20 % *Leuconostoc* sp., 10 % *Streptococcus* sp., 8 % *Pediococcus* sp., 7 % *Lactococcus* sp. y 5 % otros géneros bacterianos como *Lentilactobacillus*, *Acetobacter*, *Saccharomyces* y *Kluyveromyces* (da Anunciação et al., 2024). Algunas especies características son *Lactobacillus kefir*, *Lactobacillus kefirianofaciens*, *Lactobacillus kefirgranum* y *Lactobacillus parakefiri* (Guzel-Seydim et al., 2021). Mientras que en kéfir de agua se ve 70 % *Lactobacillus* sp., 10 % *Leuconostoc* sp., 10 % *Acetobacter* sp., 5 % *Bifidobacterium* sp., y 5 % otros géneros bacterianos (Athira

et al., 2026). Este kéfir presenta como principales especies a *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus hilgardii*, *Lactobacillus nagelii* y *Saccharomyces cerevisiae* y en general presenta mayor cantidad de levaduras entre las que están los géneros *Hanseniaspora*, *Kloeckera* y *Guehomyces* (Guzel-Seydim et al., 2021). *Lactobacillus rhamnosus* es de especial interés debido a que ha presentado evidencia de tener un efecto reductor de comportamientos relativos a la ansiedad y depresión en modelos animales; se lo encuentra en kéfir de leche (Athira et al., 2026; Cox & Weiner, 2018).

Cabe mencionar que existen varias limitaciones en cuanto al consumo de kéfir como alternativa terapéutica. En primer lugar, a pesar de que existen numerosos estudios que evidencian las propiedades del kéfir a nivel clínico y pre-clínico, los resultados observados en humanos suelen ser limitados y pueden ser inconsistentes debido a factores como la variabilidad de la composición microbiana en el producto, la variabilidad en la composición de la microbiota de los sujetos y falta de estandarización de métodos (Athira et al., 2026). También, al tratarse de kéfir artesanal y tener un bajo control de las cepas presentes en este, existe un mayor riesgo de contaminación y posible toxicidad en el caso de realizar un inadecuado proceso de preparación. Aun así, debido a que su consumo no representa una inversión económica ni de tiempo significativa, este alimento continúa siendo una fuente recomendable de probióticos y metabolitos neuroactivos que pueden ayudar a estudiantes de recursos limitados o que prefieren evitar un alto consumo de suplementos y medicamentos.

Además de la dieta, se ha visto que el ejercicio físico tiene un potencial regulatorio para la microbiota intestinal ya que se ha observado que adultos físicamente activos presentan una mayor diversidad en la microbiota (Dmytriv et al., 2024). Algunas bacterias cuya abundancia aumenta tras el ejercicio son *Roseburia hominis*, *Bifidobacterium* spp., *Akkermansia muciniphila*, *Faecalibacterium prausnitzii* y *Coriobacteriaceae* spp. (Bonomini-Gnutzmann et al., 2022). Sin embargo, no se debe descartar que esto se deba

a una correlación de factores, donde aquellos individuos que hacen ejercicio suelen presentar otras conductas saludables como dietas balanceadas, que también tienen efecto en la microbiota. Además, estos beneficios solo se observan en ejercicio de baja o moderada intensidad, debido a que actividades más intensas causan estrés que puede llevar a mayor inflamación, lo cual, se correlaciona con una mayor presencia de bacterias con actividad proinflamatoria como *Haemophilus* spp., *Rothia* spp., *Mucispirillum* spp. y *Ruminococcus gnavus* (Bonomini-Gnutzmann et al., 2022). El ejercicio presenta ciertos efectos que podrían explicar su influencia sobre la microbiota como la capacidad para reducir la permeabilidad del intestino, lo que reduce el potencial de colonización patógena del epitelio intestinal y confiere un efecto antiinflamatorio (Dmytriv et al., 2024). No obstante, aún se desconocen los mecanismos exactos y se recomienda realizar más estudios.

CONCLUSIONES

1. La microbiota interactúa con el cerebro por medio de la producción de metabolitos como neurotransmisores, ácidos grasos de cadena corta y ácidos biliares, los cuales, interactúan con el sistema nervioso a manera de señales por medio de receptores para regular procesos cognitivos, hormonales e inmunológicos.

2. Factores como la dieta, la falta de sueño, el uso de medicamentos, el ejercicio o la edad pueden afectar el equilibrio de la comunidad microbiana, lo cual, afecta el eje intestino-cerebro-microbiota y puede fomentar el deterioro cognitivo y el desarrollo de trastornos como la depresión y la ansiedad. Por esta razón, estudiantes universitarios son propensos a presentar estas complicaciones, lo cual, afecta significativamente su rendimiento académico y salud mental.

3. Gracias a la influencia que tiene la microbiota sobre el cerebro, se pueden implementar cambios en la dieta y promoción del consumo de probióticos por medio de alimentos fermentados, así como actividad física regular, como una alternativa asequible para reducir el impacto de los trastornos psicológicos y mejorar el desempeño de los estudiantes.

REFERENCIAS

- Athira, M. K., Singh, B. P., Sarkar, P., Hassan, M. Z., Abidi, K. H., Kovaleva, E. G., ... & Hati, S. (2026). A comprehensive review on kefir: composition, microbial diversities, meta-analysis and biological significances on human health. *Food Production, Processing and Nutrition*, 8(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s43014-025-00351-y>
- Barandouzi, Z. A., Starkweather, A. R., Henderson, W. A., Gyamfi, A., & Cong, X. S. (2020). Altered composition of gut microbiota in depression: a systematic review. *Frontiers in psychiatry*, 11, 536093. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2020.00541>
- Bastiaanssen, T. F. S., Cowan, C. S. M., Claesson, M. J., Dinan, T. G., & Cryan, J. F. (2019). Making sense of ... the microbiome in Psychiatry. *International Journal of Neuropsychopharmacology*, 22(1), 37–52. doi: 10.1093/ijnp/pyy067
- Bonomini-Gnutzmann, R., Plaza-Díaz, J., Jorquera-Aguilera, C., Rodríguez-Rodríguez, A., & Rodríguez-Rodríguez, F. (2022). Effect of Intensity and Duration of Exercise on Gut Microbiota in Humans: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15), 9518. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159518>
- Cedeño, E. M. C., Mendoza, J. H. P., & Peña, D. C. (2024). Revisión sistemática sobre salud mental y rendimiento académico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 1833-1851. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10623
- Chakrabarti, A., Geurts, L., Hoyles, L., Iozzo, P., Kraneveld, A. D., La Fata, G., ... & Vauzour, D. (2022). The microbiota–gut–brain axis: pathways to better brain health. Perspectives on what we know, what we need to investigate and how to put knowledge into practice. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 79(2), 80. <https://doi.org/10.1007/s00018-021-04060-w>
- Chen, Y., Xu, J., & Chen, Y. (2021). Regulation of neurotransmitters by the gut microbiota and effects on cognition in neurological disorders. *Nutrients*, 13(6), 2099. <https://doi.org/10.3390/nu13062099>

- Cox, L. M. & Weiner, H. L. (2018). Microbiota signaling pathways that influence neurologic disease. *Neurotherapeutics*, 15(1): 135-145. <https://doi.org/10.1007/s13311-017-0598-8>
- Crocetta, A., Liloia, D., Costa, T., Duca, S., Cauda, F., & Manuello, J. (2024). From gut to brain: unveiling probiotic effects through a neuroimaging perspective—A systematic review of randomized controlled trials. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1446854. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1446854>
- Cryan, J. F., O'Riordan, K. J., Cowan, C. S. M., Sandhu, K. V., Bastiaansen, T. F. S., Boehme, M., ... Dinan, T. (2019). The microbiota-gut-brain axis. *Physiological Reviews*, 99(4), 1877-2013. doi: 10.1152/physrev.00018.2018
- da Anunciação, T. A., Guedes, J. D. S., Tavares, P. P. L. G., de Melo Borges, F. E., Ferreira, D. D., Costa, J. A. V., Umsza-Guez, M. A., & Magalhães-Guedes, K. T. (2024). Biological Significance of Probiotic Microorganisms from Kefir and Kombucha: A Review. *Microorganisms*, 12(6), 1127. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12061127>
- Demarquoy, J. (2024). Revisiting the Role of Carnitine in Heart Disease Through the Lens of the Gut Microbiota. *Nutrients*, 16(23), 4244. <https://doi.org/10.3390/nu16234244>
- Dicks, L. M. T. (2022). Gut Bacteria and Neurotransmitters. *Microorganisms*, 10(9), 1838. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091838>
- Dmytriv, T. R., Storey, K. B., & Lushchak, V. I. (2024). Intestinal barrier permeability: the influence of gut microbiota, nutrition, and exercise. *Frontiers in Physiology*, 15, 1380713. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1380713>
- Fond, G. B., Lagier, J. C., Honore, S., Lancon, C., Korchia, T., Verville, P. L. S. D., ... & Boyer, L. (2020). Microbiota-orientated treatments for major depression and schizophrenia. *Nutrients*, 12(4), 1024. <https://doi.org/10.3390/nu12041024>
- Guzel-Seydim, Z. B., Gökırmaklı, Ç., & Greene, A. K. (2021). A comparison of milk kefir and water kefir: Physical, chemical, microbiological and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 42-53. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.041>

- Hameed, M., Noor, F., Hussain, H., Khan, R. G., Rashid, S. K. H. U., Rashid, S. H. U., ... & Abbasi, M. A. (2024). Gut-Brain Axis: Investigating the Effects of Gut Health on Cognitive Functioning in Adults. *Cureus*, 16(7). DOI 10.7759/cureus.64286
- Huffnagle, G. B. (2010) The Microbiota and Allergies/Asthma. *PLoS Pathog* 6(5): e1000549. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1000549>
- Jalca, A. D. C., Uloa, G. H. M., Pin, N. J. M., & Arauz, P. E. Z. (2023). Problemas emergentes de salud mental en adolescentes ecuatorianos: una revisión bibliográfica. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 8(9), 976-1020. DOI 10.23857/pc.v8i9.6064
- Jeong, W., Kommineni, A., Avramidis, K., McDaniel, C., Berry, D., Hughes, M., McGee, T., Kaiser, E., Byrd, D., Habibi, A., Cahn, B. R., Blank, I. A., Lerman, K., Pantazis, D., Kadiri, S. R., Medani, T., Narayanan, S., & Leahy, R. M. (2025). Decoding Neural Signatures of Semantic Evaluation in Depression and Suicidality. *ArXiv*, arXiv:2507.22313v1
- Lin, S.; Wang, S.; Wang, P.; Tang, C.; Wang, Z.; Chen, L.; Luo, G.; Chen, H.; Liu, Y.; Feng, B.; et al. Bile Acids and Their Receptors in Regulation of Gut Health and Diseases. *Prog. Lipid Res.* 2023, 89, 101210. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2022.101210>
- Liu, J., Tan, Y., Cheng, H., Zhang, D., Feng, W., & Peng, C. (2022). Functions of Gut Microbiota Metabolites, Current Status and Future Perspectives. *Aging and disease*, 13(4), 1106–1126. <https://doi.org/10.14336/AD.2022.0104>
- Liu, L., et al. (2022). Microbiota and the gut–brain-axis: Implications for new therapeutic opportunities. *eBioMedicine*, 77, 103908. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2022.103908>
- Liu, L., Wang, H., Chen, X., Zhang, Y., Zhang, H., & Xie, P. (2023). Gut microbiota and its metabolites in depression: from pathogenesis to treatment. *EBioMedicine*, 90. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2023.104527>
- Li X, Zhang B, Hu Y and Zhao Y (2021) New Insights Into Gut-Bacteria-Derived Indole and Its Derivatives in Intestinal and Liver Diseases. *Front. Pharmacol.* 12:769501. doi: 10.3389/fphar.2021.769501

- Lukić, I., Ivković, S., Mitić, M., & Adžić, M. (2022). Tryptophan metabolites in depression: modulation by gut microbiota. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 16, 987697. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2022.987697>
- Mansour, S. R., Moustafa, M. A. A., Saad, B. M., Hamed, R., & Moustafa, A. R. (2021). Impact of diet on human gut microbiome and disease risk. *New Microbes and New Infections*, 41, 100845. <https://doi.org/10.1016/j.nmni.2021.100845>
- Marć, M. A., Jastrzab, R., & Mytych, J. (2022). Does the Gut Microbial Metabolome Really Matter? The Connection between GUT Metabolome and Neurological Disorders. *Nutrients*, 14(19), 3967. <https://doi.org/10.3390/nu14193967>
- Martin, C. R., Osadchiy, V., Kalani, A., & Mayer, E. A. (2018). The brain-gut-microbiome axis. *Cellular and Molecular Gastroenterology and Hepatology*, 6(12), 133-148. doi: 10.1016/j.jcmgh.2018.04.003
- Martino, C., Dillmore, A. H., Burcham, Z. M., Metcalf, J. L., Jeste, D., & Knight, R. (2022). Microbiota succession throughout life from the cradle to the grave. *Nature reviews. Microbiology*, 20(12), 707–720. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00768-z>
- Merlo, G., Bachtel, G., & Sugden, S. G. (2024). Gut microbiota, nutrition, and mental health. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1337889. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1337889>
- Milanda, T., & Kusuma, S. A. F. (2026). Kefir as a functional probiotic: microbial composition and health effects. *Frontiers in Food Science and Technology*, 5, 1725280. <https://doi.org/10.3389/frfst.2025.1725280>
- Morais, L. H., Schreiber, H. L., & Mazmanian, S. K. (2021). The gut microbiota-brain axis in behaviour and brain disorders. *Nature Reviews Microbiology*, 19(4), 241–255. doi: 10.1038/s41579-020-00460-0
- Moreta-Herrera, R., Zambrano-Estrella, J., & Naranjo-Vaca, S. (2021). Salud mental en universitarios del Ecuador: síntomas relevantes, diferencias por género y prevalencia de casos. (2021). *Pensamiento Psicológico*, 19(1): doi: <https://doi.org/10.11144/Javerianacali.PPSI19.smue>

- Mutuyemungu, E., Singh, M., Liu, S., & Rose, D. J. (2023). Intestinal gas production by the gut microbiota: A review. *Journal of Functional Foods*, 100, 105367. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105367>
- Organización Mundial de la Salud. (8 de octubre de 2025). *Mental health*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mental-health-strengthening-our-response>
- O'Riordan, K. J., Collins, M. K., Moloney, G. M., Knox, E. G., Aburto, M. R., Fülling, C., Morley, S. J., Clarke, G., Schellekens, H., & Cryan, J. F. (2022). Short chain fatty acids: Microbial metabolites for gut-brain axis signalling. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 546, 111572. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2022.111572>
- Papalini, S., Michels, F., Kohn, N., Wegman, J., van Hemert, S., Roelofs, K., Arias-Vasquez, A., & Aarts, E. (2018). Stress matters: Randomized controlled trial on the effect of probiotics on neurocognition. *Neurobiology of stress*, 10, 100141. <https://doi.org/10.1016/j.ynstr.2018.100141>
- Rode, J., Edebol Carlman, H. M. T., König, J., Repsilber, D., Hutchinson, A. N., Thunberg, P., Andersson, P., Persson, J., Kiselev, A., Lathrop Stern, L., Salomon, B., Mohammed, A. A., Labus, J. S., & Brummer, R. J. (2022). Probiotic Mixture Containing *Lactobacillus helveticus*, *Bifidobacterium longum* and *Lactiplantibacillus plantarum* Affects Brain Responses Toward an Emotional Task in Healthy Subjects: A Randomized Clinical Trial. *Frontiers in nutrition*, 9, 827182. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.827182>
- Soldán, M., Argalášová, L., Hadvinová, L., Galileo, B., & Babjaková, J. (2024). The Effect of Dietary Types on Gut Microbiota Composition and Development of Non-Communicable Diseases: A Narrative Review. *Nutrients*, 16(18), 3134. <https://doi.org/10.3390/nu16183134>
- Schaub, A. C., Schneider, E., Vazquez-Castellanos, J. F., Schweinfurth, N., Kettelhack, C., Doll, J. P., ... & Lang, U. E. (2022). Clinical, gut microbial and neural effects of a probiotic add-on therapy in depressed patients: a randomized controlled trial. *Translational psychiatry*, 12(1), 227. <https://doi.org/10.1038/s41398-022-01977-z>

- Tarracchini C, Lugli GA, Mancabelli L, van Sinderen D, Turrone F, Ventura M, Milani C. (2024). Exploring the vitamin biosynthesis landscape of the human gut microbiota. <https://doi.org/10.1128/msystems.00929-24>
- Vernocchi, P., Del Chierico, F., & Putignani, L. (2020). Gut Microbiota Metabolism and Interaction with Food Components. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(10), 3688. <https://doi.org/10.3390/ijms21103688>
- Wise, J. L. & Cummings, B. P. (2023). The 7- α -dehydroxylation pathway: An integral component of gut bacterial bile acid metabolism and potential therapeutic target. *Front. Microbiol.* 13:1093420. doi: 10.3389/fmicb.2022.1093420
- Xiong, R. G., Li, J., Cheng, J., Zhou, D. D., Wu, S. X., Huang, S. Y., ... & Li, H. B. (2023). The role of gut microbiota in anxiety, depression, and other mental disorders as well as the protective effects of dietary components. *Nutrients*, 15(14), 3258. <https://doi.org/10.3390/nu15143258>
- Yoo, S., Jung, S.-C., Kwak, K., & Kim, J.-S. (2024). The Role of Prebiotics in Modulating Gut Microbiota: Implications for Human Health. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(9), 4834. <https://doi.org/10.3390/ijms25094834>
- Zhang, D., Zou, Y., Shi, Y., Zhang, J., Liu, J., Wu, G., Zhang, J., Gao, Y., Chen, M., and Li, Y.X. (2025). Systematically investigating and identifying bacteriocins in the human gut microbiome. *Cell Genomics* 5:, 100983. <https://doi.org/10.1016/j.xgen.2025.100983>
- Zhao, B., Sun, J., Xiang, L. & Su, Z. (2025). Exercise as a modulator of gut microbiota for improvement of sleep quality: a narrative review. *Front. Neurosci.* 19:1639099. doi: 10.3389/fnins.2025.1639099
- Zheng, B., Wang, L., Sun, S., Yuan, X., & Liang, Q. (2025). The molecular interplay between the gut microbiome and circadian rhythms: an integrated review. *Frontiers in Microbiology*, 16, 1712516. doi: 10.3389/fmicb.2025.1712516
- Zhou, Q., Yu, Y., Xie, Z., Zhou, Y., Li, Y., Li, P., ... & Gu, Q. (2025). In vitro and in vivo antibacterial effects of indole-3-lactic acid against *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *Food Bioscience*, 68, 106618. doi: 10.1016/j.fbio.2025.106618

ANEXOS

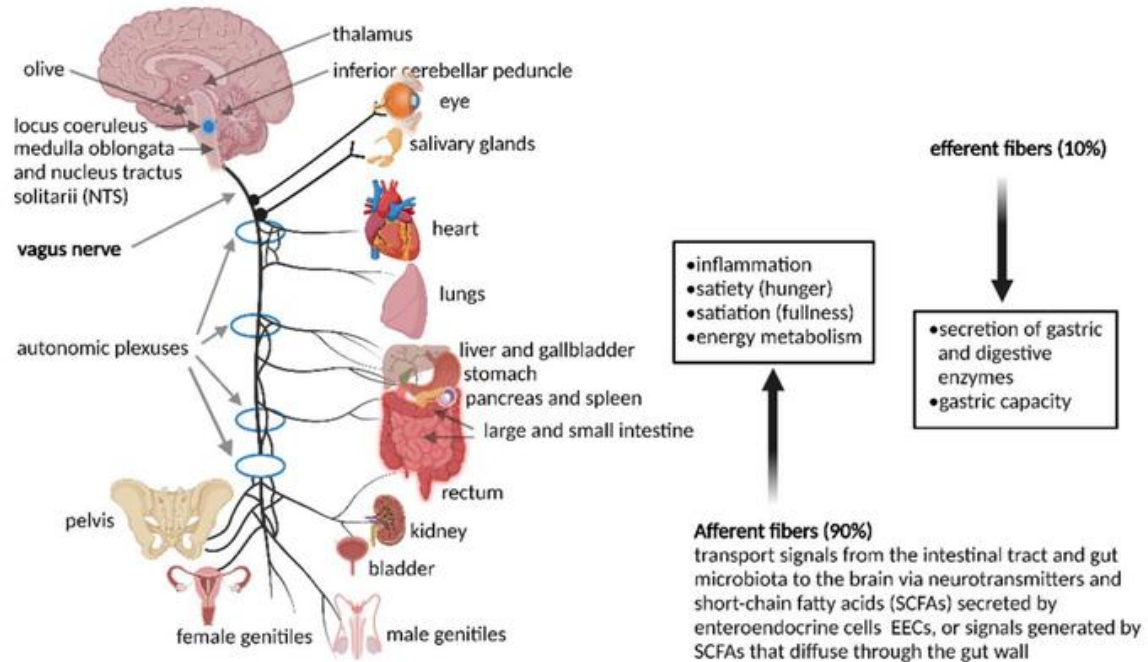


Figure 1. The vagus nerve (VN) connects the gastro-intestinal tract (GIT) with the central nervous system (CNS), but is also connected to various other organs. This illustration was constructed using BioRender (<https://biorender.com/>, assessed on 15 July 2022).

Figura 1. Esquema del nervio vago y el sistema nervioso central obtenido del trabajo " Gut Bacteria and Neurotransmitters" por Dicks (2022)

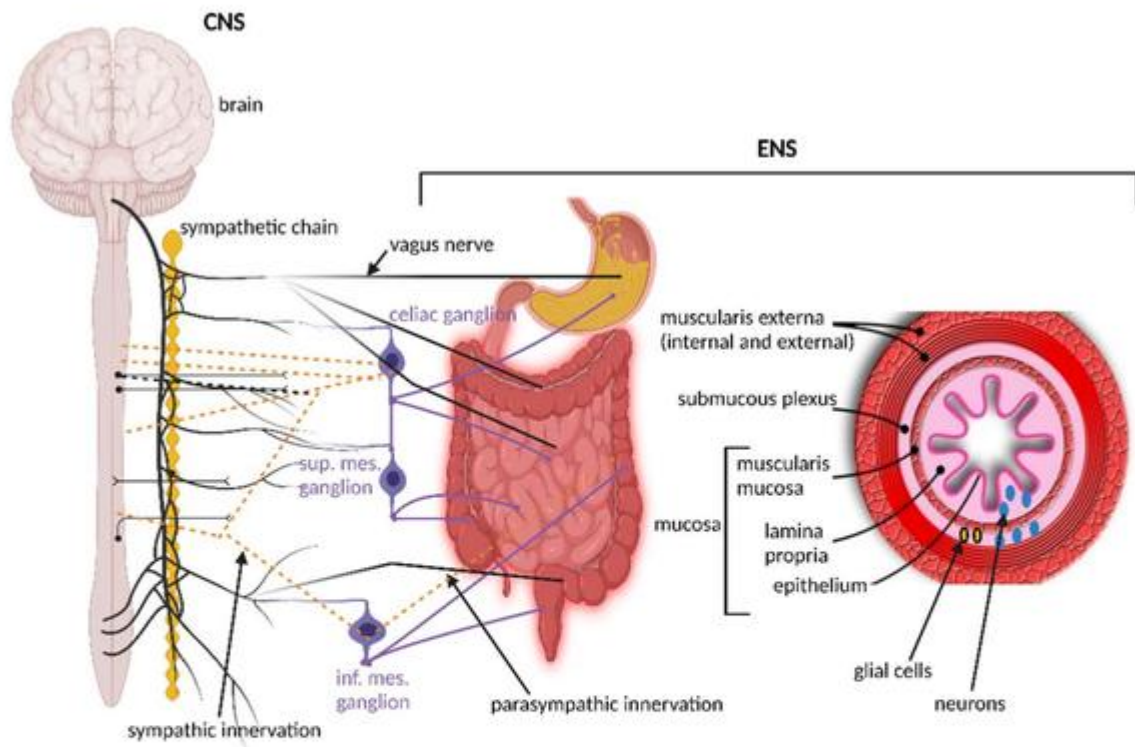


Figure 2. Although the vagus nerve (VN) is in contact with all layers of the gut wall, fibers do not cross the gut wall and are, thus, not in direct contact with gut microbiota. Signals reach the gut microbiota via 100 to 500 million neurons in the enteric nervous system (ENS) in the submucosa and myenteric plexi of the intestinal wall. The ENS in the small and large intestinal tract functions independently from the VN. This illustration was constructed using BioRender (<https://biorender.com/>, assessed on 15 July 2022).

Figura 2. Esquema del nervio vago y el sistema nervioso endócrino obtenido del trabajo “Gut Bacteria and Neurotransmitters” por Dicks (2022)